

Рис. 2. Система регулирования мощности с отдельным питанием

Вторая реализация – это использование обычного трехфазного инвертора с управлением по методу ШИМ и общим питанием. Для такой системы модули ФЭП соединяются последовательно, обеспечивая необходимое высокое напряжение и к ним подключается устройство ПТММ. Преимущество такого способа заключается в использовании значительно меньше различных элементов схемы, что с одной стороны делает дешевле и проще конструкцию, но с другой стороны удорожает за счет того, что приходится использовать мощные силовые полупроводниковые приборы и реализовывать высокую частоту несущего сигнала ШИМ. Еще немаловажным недостатком такой схемы является ПТММ для всех ячеек ФЭП, что снижает эффективность за счет возможного неравномерного распределения точки максимальной мощности на каждом ФЭП.

Экономический анализ рассмотренных двух реализаций показал, что при одинаковом выходном качестве преобразователя наиболее выгодно использовать реализацию с отдельным питанием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Таранов М.А., Корчагин П.Т., Гуляев П.В. Анализ работы H-мостового каскадного инвертора.
2. Шиняков Ю.А., Шурыгин Ю.А., Аржанов В.В. Автономная фотоэлектрическая энергетическая установка // Преобразование электрической энергии. – 2012.

СОВРЕМЕННЫЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫЕ ЭЛАСТОМЕРЫ ДЛЯ СУДОВЫХ КАБЕЛЕЙ

М.Д. Жульмина

Томский политехнический университет,
ОЭЭ, ИШЭ, гр. А2-27

Научный руководитель: А.П. Леонов, к.т.н., доцент ОЭЭ ИШЭ ТПУ

Судовые кабели – неотъемлемая составляющая системы передачи электрической энергии и сигналов на кораблях и относятся к специальным кабельным изделиям, которые эксплуатируются в жестких условиях. Таким образом, к судовым кабелям предъявляются ряд жестких требований: соответствие требованиям пожарной безопасности в соответствии с [1], не-

распространение горения в условиях прокладки в пучках по категории «А» по [2]; повышенную устойчивость к изгибам (для кабелей нестационарной прокладки); стойкость к воздействию разогретых масел или паров масел и дизельного топлива; стойкость к воздействию агрессивных сред; срок службы не менее 40 лет (равен межремонтному сроку службы корабля); повышенную стойкость к продольному гидростатическому давлению до 15 МПа и радиальному гидростатическому давлению до 120 МПа с сохранением работоспособности для специальных герметизированных кабелей.

Обеспечение вышеизложенных требований реализуются разработкой конструкторско-технологических решений и выбором соответствующих материалов. Основными неметаллическими элементами современных судовых кабелей являются изоляция и оболочка из полимерных безгалогенных материалов в основном зарубежного производства. На сегодняшний момент существует потребность в замене импортных материалов на отечественные с аналогичными характеристиками.

В [3] в ходе работы было апробировано более 20 рецептов безгалогенных материалов, в том числе для изоляции, внутреннего заполнения и оболочки кабелей. Однако, подобрать рецептуру материала, которая обеспечивала бы аналогично импортному соответствие всем современным требованиям до недавнего времени не удавалось.

В качестве эталона материала для оболочки кабеля был выбран импортный полимерный безгалогенный термопластичный компаунд с самыми высокими характеристиками из всей линейки несшиваемых безгалогенных термопластичных материалов. Материал имеет широкий диапазон рабочих температур (от -70 до 105 °С), оптимальные значения физико-механических характеристик, соответствует всем требованиям по пожарной безопасности [1], а также стойкий к маслам и дизельному топливу. Данный компаунд является улучшенным вариантом импортного безгалогенного негорючего компаунда, который успешно прошел все испытания на соответствие современным техническим требованиям в качестве оболочки судовых кабелей.

Для определения химического состава полимерного термопластичного компаунда методом инфракрасной спектроскопии (инфракрасный Фурье-спектрометр ФТ-801 с приставкой НПВО для исследования малых образцов, со встроенной библиотекой спектров) был получен спектр гранул образца импортного термопластичного компаунда (рис. 1). Установлено, что импортный термопластичный компаунд представляет собой композицию на основе сополимера этилена и винилацетата с различными добавками. После доработки рецептов новые материалы также подверглись исследованию методом инфракрасной спектроскопии. Инфракрасные спектры доработанных материалов представлены на рис. 2 образец 1 и на рис. 3 образец 2. Оба спектра оказались близки к спектру импортного образца. Материалы отличаются друг от друга содержанием винилацетата, типом и количеством различных добавок. Линия на 1104 см^{-1} обусловлена наличием в композиции полидиметилсилоксана [4] и присутствует как в импортном образце – так и в образце 2, но отсутствует в образце 1. Результаты оценки полученных спектров представлены в табл. 1.

Таблица 1. Волновые числа характерных линий поглощения исследуемых материалов

Образец	Материал основы	Волновые числа характерных линий поглощения, см^{-1}					
		3688	3616...3200	3000...2800	1600	1460	1104
Импортный образец	Поли(этилен-винилацетат)	+++	+	+++	-+	+	+++
Образец 1	Поли(этилен-винилацетат)	+++	-	+++	--	++	--
Образец 2	Поли(этилен-винилацетат)	+++	+	+++	++	+	+++

Примечание: -- линия отсутствует; + слабая; ++ средняя; +++ сильная.

Как видно из табл. 1, образцы представляют собой материал на основе сополимера этилена и винилацетата. Отличие заключается в количественном содержании винилацетата, типом и количеством добавок [4]. Инфракрасный спектр образца 2 наиболее близок к спектру импортного образца.

Помимо исследования физическими методами необходимо было оценить соответствие компаундов требованиям, предъявляемым к материалам оболочки. В связи с этим была проведена оценка физико-механических характеристик материалов в исходном состоянии, после воздействия, масел МВП, СЖР-2, СЖР-3, И-40А, дизельного топлива. Испытания проводили на лопатках из экструдированных лент. Результаты представлены в табл. 2–3.

Таблица 2. Результаты измерений физико-механических характеристик в исходном состоянии

Образец	Прочность при разрыве σ_{pp} , МПа	Относительное удлинение при разрыве ϵ_{pp} , %
Импортный образец	15,0	220
Образец 1	9,1	244
Образец 2	8,4	130

Таблица 3. Результаты измерений физико-механических характеристик после воздействия масел и дизельного топлива

Образец	Марка масла	Изменение прочности при разрыве σ_{pp} , %	Изменение относительного удлинение при разрыве ϵ_{pp} , %	Примечание
Импортный образец	IRM 902	-3,3	-16,8	после выдержки при температуре 100 °С в течении 24 часов (по данным data sheet)
	IRM 903	-10,0	-23,6	
	МВП	не нормируется	не нормируется	
	И-40А	не нормируется	не нормируется	
	Дизельное топливо	-31,3	-15,5	
Образец 1	*СЖР-2	0	0	после выдержки при температуре 100 °С в течении 24 часов
	**СЖР-3	0	0	
	МВП	-67,0	-57,3	
	И-40А	0	0	
	Дизельное топливо	0	0	
Образец 2	СЖР-2	-13,0	-7,6	после выдержки при температуре 100 °С в течении 24 часов
	СЖР-3	-34,5	+17,6	
	МВП	-27,3	+7,6	
	И-40А	-25,0	+5,3	
	Дизельное топливо	-46,4	+43,8	

* – отечественный аналог IRM 902; ** – отечественный аналог IRM 903



Рис. 1. Инфракрасный спектр импортного термопластичного компаунда (импортный образец)

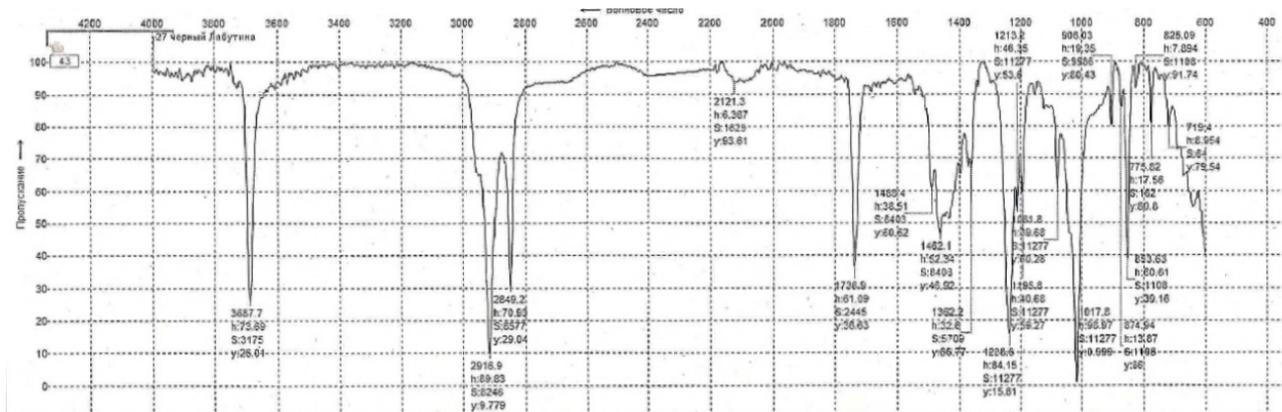


Рис. 2. Инфракрасный спектр отечественного термопластичного компаунда (Образец 1)

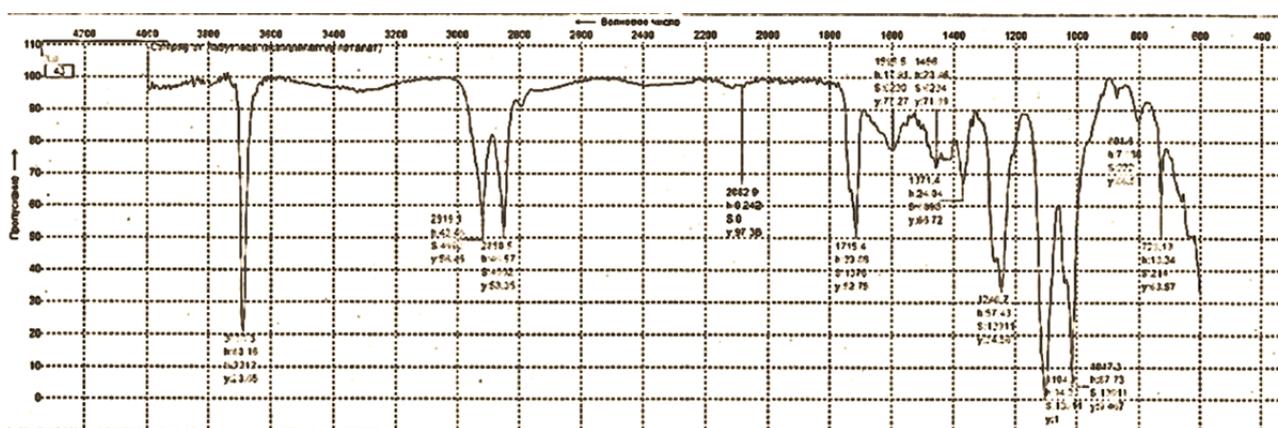


Рис. 3. Инфракрасный спектр отечественного термопластичного компаунда (Образец 2)

Материалы исследованных образцов оболочек в основном соответствует требованиям, предъявляемым к материалу оболочки для изготовления судовых кабелей. Образец 2 имеет наиболее близкий инфракрасный спектр к образцу импортного компаунда и хорошие показатели стойкости к маслам и дизельному топливу. В свою очередь, в исходном состоянии значения относительного удлинения при разрыве образца 1 значительно превышают значения относительного удлинения при разрыве образца 2, что говорит о способности материала выдерживать большое число изгибов при эксплуатации и прокладке кабеля, что важно в условиях ограниченного пространства кораблей.

Уровень и разброс полученных значений физико-механических характеристик отечественных термопластичных компаундов по сравнению с импортным свидетельствовал о необходимости проведения дальнейших работ по окончательной доработке рецептуры полимерных материалов.

В результате получены следующие итерации материалов, направленные на корректировку рецептуры для получения оптимальных физико-механических характеристик, стойкости к воздействию масел и дизельного топлива, негорючести материала. Испытания продолжаются.

Результаты проведенного специального анализа импортного безгалогенного термопластичного компаунда методом инфракрасной спектроскопии позволили наиболее достоверно определить рецептуру материала. Это дало возможность проводить работы для получения безгалогенного термопластичного компаунда на базе отечественного производства для дальнейшего применения материала в качестве оболочки судовых кабелей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 31565–2012. Кабельные изделия. Требования пожарной безопасности. – М.: Стандартинформ, 2014. – 8 с.
2. ГОСТ ИЕС 60332-3-22–2011. Испытания электрических и оптических кабелей в условиях воздействия пламени. Часть 3–22. Распространение пламени по вертикально расположенным пучкам проводов или кабелей. Категория А. – М.: Стандартинформ, 2014. – 6 с.
3. Жульмина М.Д., Душкин Ю.В., Невмывака А.Н. О возможности применения безгалогенных полимерных материалов отечественного производства для судовых герметизированных кабелей // Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения. – 2023. – № 5(9).
4. Купцов А.Х. Фурье-КР и Фурье-ИК спектры полимеров / А.Х. Купцов, Г.Н. Жижин. – Москва: Техносфера, 2013. – 696 с. ISBN 978-5-94836-360-8.
5. Руководство и инструкция по эксплуатации инфракрасного Фурье-спектрометра ФТ-801 с приставкой НПВО-для исследования малых образцов, со встроенной библиотекой спектров).

СВЯЗЬ МЕЖДУ ТОКОМ И НАПРЯЖЕНИЕМ В МАШИНАХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ НАГРУЗКИ

К.С. Боронова, С.В. Шутемов

*Забайкальский государственный университет,
Энергетический факультет, гр. ЭПм-22*

Научный руководитель: И.Ф. Суворов, доктор технических наук,
профессор энергетического факультета ЗГУ

В любой машине переменного тока её нагрузка в процессе преобразования энергии характеризуется напряжением \dot{U} основной электрической цепи и током \dot{I} этой цепи. Чаще всего машины работают в режиме $\dot{U} = \text{const}$. В этом случае при изменениях нагрузки машины меняются только действующее значение тока \dot{I} и его фаза по отношению к напряжению \dot{U} . Если этот процесс рассматривать графически в комплексной плоскости, то при $\dot{U} = \text{const}$ конец вектора тока \dot{I} при изменениях нагрузки машины будет передвигаться по некоторой кривой k , причем каждой точке этой кривой будет соответствовать вполне определенная нагрузка машины. В зависимости от типа машины ее нагрузка может характеризоваться различно. В асинхронных машинах нагрузку связывают со скольжением s ротора, в некоторых типах коллекторных машин – со скоростью вращения n , в синхронных машинах – с углом ϑ между осью ротора и осью вращения магнитного поля и т. п. В общем случае будем считать, что нагрузка машины характеризуется величиной p .

При этих условиях для $\dot{U} = \text{const}$

$$\dot{I} = \psi(p) \quad (1)$$

В комплексной плоскости этому равенству соответствует некоторая кривая k , которая обычно бывает замкнутой. В простейшем случае такой кривой может быть окружность.

Допустим, что сопротивление основной цепи машины равно $Z(p) = A + Bp$, где p – вещественная величина, а A и B – постоянные комплексные величины.

Ток в цепи машины будет равен

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{A+Bp}. \quad (2)$$

Как известно из истории электрических цепей [1], уравнение (2) в комплексной плоскости представляет собой окружность, проходящую через начало координат. На рис. 2 показана прямая $Z(p)$ и окружность $\dot{I}(p)$. Когда модуль сопротивления становится минимальным (Ob_1),