

Заключение. Таким образом, разработанная программа для создания QR-кодов является инструментом пользователя для работы с QR-кодами. Она может использоваться в качестве средства для создания визитных карточек, пригласительных билетов, SMS-сообщений и др.

Главным преимуществами приложения является то, что она обладает понятным интерфейсом, проста в использовании, имеет высокую скорость сканирования и распознавания, что делает удобным инструментом для пользователя для быстрого создания и распознавания QR-кода.

1. Ромат, Е.В. Реклама: учебник для вузов. 8-е изд. Стандарт третьего поколения [Текст] / Е.В. Ромат, Д.В. Сендеров. СПб.: Изд. дом «Питер», 2013 г. – 512 с.
2. Оксфордский словарь. [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <http://www.oxforddictionaries.com/ru/определение/английский/QR-code>. Дата доступа: 29.06.2017.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ С СВЧ-ПОЛЕМ СРЕДСТВАМИ CST MICROWAVE STUDIO

Кизина О.А.

*молодой ученый УО «ПГУ», г. Новополоцк, Республика Беларусь
Научный руководитель – Адамович А.Л., канд. техн. наук, доцент*

Эпоксидная смола используется в том числе, как средство пропитки армирующих нитей для стекловолокна. Сушка нитей и отверждение смолы осуществляется традиционным способом в сушильных камерах, характеризуется большой длительностью и высокой стоимостью. Эпоксидная смола способна поглощать энергию СВЧ- поля и нагреваться за счет диэлектрических потерь.

Целью работы было проверить возможность реализовать на практике способ отверждения пропитанной эпоксидной смолой армирующей нити под воздействием СВЧ- поля.

Материал и методы. В работе использовались два метода – трехмерное компьютерное моделирование как разновидность математического и эксперимент.

Компьютерное моделирование осуществлялось средствами специализированного пакета CST Studio Suite от компании CST (Computer Simulation Technologies), включающего 7 модулей: CST Microwave Studio для моделей в СВЧ-диапазоне, CST EM Studio для работы в НЧ-диапазоне, CST Particle Studio для моделирования заряженных частиц в трехмерном электромагнитном поле, CST Design Studio для моделирования работы электрических принципиальных схем, CST PCB Studio для работы с печатными платами, CST Cable Studio для исследования взаимодействия электромагнитного поля и кабельных структур и CST MPhysics Studio для проведения смешанного мультифизического моделирования. Непосредственно в работе использовался модуль CST Microwave Studio.

Модель содержит отрезок прямоугольного волновода для подвода поля от источника к материалу, источник СВЧ- поля с частотой 2,45 ГГц, материал с характеристиками жидкой эпоксидной смолы, дополнительное модельное пространство для повышения точности моделирования. Толщина стенки волновода 1мм, поперечное сечение стандартное 90Ч45 (мм), длина 160 мм, что соответствует длине волны в волноводе для частоты 2,45 ГГц. Использованная волна для модели – H₁₀.

Результаты моделирования оценивались количественно по показателю коэффициента отражения волновода S₁₁ и качественно по картине распределения СВЧ- поля в исследуемой зоне. Оба критерия оценивались на частотах 2,45, 2,4 и 2,5 ГГц.

Эксперименты проводились в лабораторной установке, содержащей магнетрон мощностью 0,9 кВт, Y-циркулятор, отрезок прямоугольного волновода и кювету с исследуемой смолой.

Результаты и их обсуждение. Предполагается протягивание пропитанной нити через волновод в процессе СВЧ- нагрева, поэтому при моделировании исследовалось распространение СВЧ- поля через модель волновода с отверстиями для протяжки и с цилиндрическими выступами длиной 40мм и внутренним диаметром 20мм. Принятое значение диаметра волноводных выступов выбрано произвольно. В таблице 1 отражены значения показателя S₁₁ и напряженности СВЧ- поля за пределами волновода.

Таблица 1 – Зависимость модельного коэффициента отражения S_{11} от частоты и конструкции модели

Вариант модели	Значение коэффициента S_{11} на частотах			Напряженность электрической компоненты СВЧ-поля за пределами волновода E , В/м		
	2,4ГГц	2,45ГГц	2,5ГГц	2,4ГГц	2,45ГГц	2,5ГГц
Волновод с отверстиями	0,99906	0,99902	0,99897	6,58	6,83	7,1
Волновод с выступами	0,99999	1,00000	0,99999	0,4	0,4	0,45

Очевидно, что коэффициент S_{11} практически не отличается для рассмотренных конструкций, т.к. при округлении даст 1, чему и должен быть равен в идеальном случае. По значению напряженности поля на границе модельного пространства предпочтительно использовать волновод с выступами – напряженность поля E ниже на порядок по сравнению с конструкцией с отверстиями. На рисунке 1 показана выбранная конструкция волновода для дальнейших исследований. Красным цветом отмечен порт-источник электрической компоненты СВЧ-поля E .

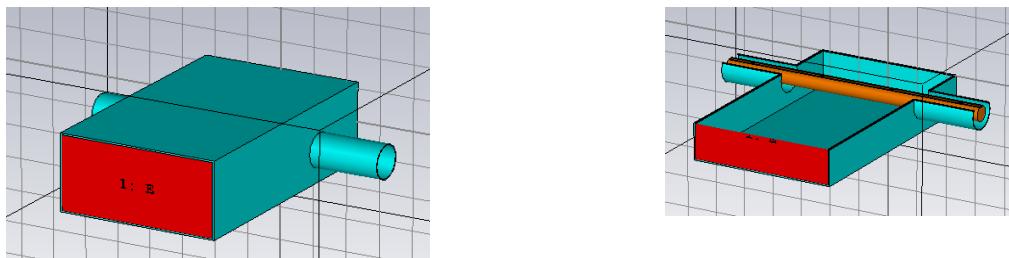


Рисунок 1 – Модель волновода для СВЧ-отверждения эпоксидной смолы целиком и в разрезе с вложенным материалом

На рисунке 2 показано распространение поля с вложенным в волновод стержнем материала диаметром 10мм и 20мм. Коэффициенты отражения для них равны 0,9809 и 0,7227 соответственно.



Рисунок 2 – Распределение СВЧ-поля в модели для разных диаметров стержней модельного материала: 10мм (а) и 20мм (б)

Из рисунка 2 видно, что значительных отличий в распространении СВЧ-поля в модели при изменении диаметра стержня не наблюдается. Напряженность E за пределами волновода для более тонкого стержня составляет 0,8 В/м, для стержня с диаметром 20 мм – 0,4 В/м, т.е. для повышения безопасности предпочтительно полностью заполнять волновод материалом, оставляя минимальный зазор. Результаты экспериментальных исследований показаны в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты экспериментов по отверждению эпоксидной смолы в СВЧ-поле

№ пп	Длительность 1 нагрева, с	Длительность паузы, с	Кол-во циклов нагрева	Общая длительность обработки, с	Температура после всех циклов, °C
1	3	11	5	70	165-180
2	3	20	5	115	156-170
3	3	30	7	231	151-180

Для реакции отверждения температура смолы должна быть не менее 130°C. Очевидно, что общего времени обработки в 70 секунд достаточно для достоверного превышения этого порога.

Заключение. Результаты работы показывают, что СВЧ-нагрев для отверждения эпоксидной смолы целесообразен и возможен, позволит многократно ускорить процесс отверждения и снизить финансовые затраты. В дальнейшем предстоит усовершенствовать модель под реальные характеристики армированного стекловолокна и разработать удобные режимы СВЧ-обработки.

1. CST STUDIO SUITE Начало работы [Электронный документ] / Сайт компании Eurointech.ru Современные решения для производства электроники. – Люберцы, 2017 – Режим доступа http://www.eurointech.ru/store/CST_STUDIO_SUITE_Geeting_Started_Rus.pdf. – Дата доступа: 18.09.2017

ГЛОБАЛЬНАЯ УПРАВЛЯЕМОСТЬ ВЕРХНЕГО ОСОБОГО ПОКАЗАТЕЛЯ БОЛЯ ТРЕХМЕРНЫХ ЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ С ЛОКАЛЬНО ИНТЕГРИРУЕМЫМИ КОЭФФИЦИЕНТАМИ И НАБЛЮДАТЕЛЕМ

Козлов А.А., Бурак А.Д.

УО «ПГУ», г. Новополоцк, Республика Беларусь

Пусть \mathbb{R}^n – векторное евклидово пространство размерности n с нормой $\|x\| = \sqrt{x^T x}$ для всякого $x \in \mathbb{R}^n$ (символ T означает операцию транспонирования); M_{mn} – пространство вещественных $(m \times n)$ -матриц со спектральной операторной нормой $\|A\| = \max_{x \neq 0} \|Ax\| / \|x\|$, т.е. нормой, индуцируемой евклидовыми нормами в пространствах \mathbb{R}^m и \mathbb{R}^n ; $M_n := M_{nn}$.

Рассмотрим линейную нестационарную управляемую систему

$$\dot{x} = A(t)x + B(t)u, \quad x \in \mathbb{R}^n, \quad u \in \mathbb{R}^m, \quad t \geq 0, \quad (1)$$

с наблюдателем

$$y = C^T(t)x, \quad y \in \mathbb{R}^n. \quad (2)$$

Будем считать, что матричные функции $A(\cdot)$, $B(\cdot)$ и $C(\cdot)$ принадлежат классу локально интегрируемых по Лебегу и интегрально ограниченных [1, с. 252] матричных функций, т.е. таких, что при всяком $t \geq 0$ справедливы соотношения

$$\int_t^{t+1} \|A(\tau)\| d\tau < +\infty, \quad \int_t^{t+1} \|B(\tau)\| d\tau < +\infty, \quad \int_t^{t+1} \|C(\tau)\| d\tau < +\infty$$

Предполагается, что система (1) обладает свойством равномерной полной управляемости.

Определение 1 [2]. Система (1) называется равномерно вполне управляемой, если существуют числа $\sigma > 0$ и $\gamma > 0$ такие, что для каждого $t_0 \geq 0$ и $x_0 \in \mathbb{R}^n$ найдется измеримое и ограниченное управление $u : [t_0, t_0 + \sigma] \rightarrow \mathbb{R}^m$ для всякого $t \in [t_0, t_0 + \sigma]$, удовлетворяющее неравенству $Pu(t)P \leq \gamma P x_0 P$ и переводящее вектор начального состояния $x(t_0) = x_0$ системы (1) в нуль на этом отрезке времени.

Будем также рассматривать систему (1) с наблюдателем (2) при $u \equiv 0$:

$$\dot{x} = A(t)x, \quad y = C^T(t)x, \quad x \in \mathbb{R}^n, \quad y \in \mathbb{R}^n, \quad t \geq 0, \quad (3)$$

считая, что она обладает свойством равномерной полной наблюдаемости.

Определение 2 [3, с. 304]. Система (3) называется равномерно вполне наблюдаемой, если существует число $\sigma > 0$ такое, что для всякого $t_0 \geq 0$ каждый вектор начального состояния $x(t_0) = x_0 \in \mathbb{R}^n$ может быть однозначно определен по наблюдению на отрезке времени $t \in [t_0, t_0 + \sigma]$.

Построим по системе (1), (2) и выходу y новую систему

$$\dot{\xi} = A(t)\xi + V(t)(y(t) - C^T(t)\xi) + B(t)u, \quad \xi \in \mathbb{R}^n, \quad (4)$$

где $\xi(t)$ – оценка состояния системы (1), (2). Система (4) называется системой асимптотической оценки состояния (асимптотический идентификатор). Возьмем управление u в системе (4) в виде линейной обратной связи

$$u = U(t)\xi \quad (5)$$