

Время работы двигателя в режиме втягивания в синхронизм, с увеличением начального значения напряжения, уменьшается, что частично компенсирует влияние увеличения времени работы в асинхронном режиме на общее время работы в несинхронном режиме. Таким образом, регулирование нижнего предела измерения по скорости, с помощью задания начального значения напряжения, зависит от возмущающего воздействия и является в общем случае малоэффективным. Кроме того, максимальное значение начального напряжения, рассчитанное исходя из номинального тока двигателя и активного сопротивления обмотки статора, составляет 35В, и не должно превышать этого значения, то есть возможность регулирования времени вхождения в синхронизм за счет этого параметра сильно ограничено допустимым режимом работы двигателя. Выбор начального значения напряжения и скорость его нарастания в момент пуска будет зависеть от характера нагрузки.

Наименьшее время вхождения в синхронизм обеспечивает пропорциональный закон управления вида $U = \sqrt{f} \text{const} + U_{\text{нач}}$. Здесь следует учитывать, что двигатель, при использовании данного закона движения, работает в самых неблагоприятных условиях, так как в обмотках имеют место наибольшие токи. Скорость вхождения в синхронизм при этом законе управления в реальных единицах составляет 1,58 об/мин (при $\text{const} = 1$ и времени разгона 2 мин.).

Наибольшее время вхождения в синхронизм показывает пропорциональный закон управления вида $U = f^2 \text{const} + U_{\text{нач}}$, двигатель при данном законе управления работает в наиболее благоприятных условиях. Скорость вхождения в синхронизм при этом законе управления, при прочих равных условиях, в реальных единицах составляет 1,9 об/мин, что на 17% больше чем при первом из описанных законов.

При уменьшении скорости нарастания частоты питающей сети время вхождения в синхронизм изменяется незначительно, однако за счет того, что частота вращения двигателя нарастает медленнее, скорость вхождения в синхронизм уменьшается (рис. 5).

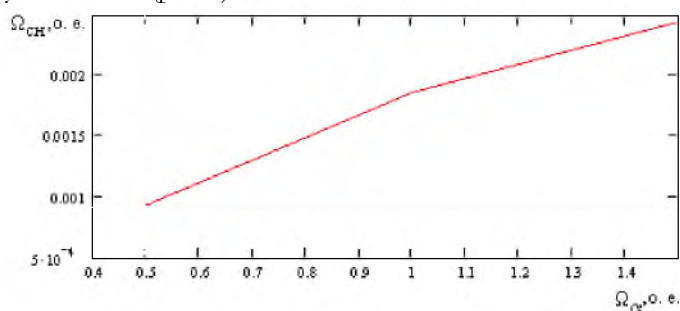


Рис. 5. Зависимость скорости вхождения в синхронизм от скорости нарастания частоты питающей сети

В свою очередь увеличивается и время проведения одного цикла измерений, которое согласно условиям измерений, составляет 4 мин. Таким образом, эти два условия являются взаимоисключающими. Можно предложить три пути разрешения этой задачи: 1) выбор компромиссных значений: времени проведения цикла измерений и скорости вхождения в синхронизм (нижнего предела измерения по скорости); 2) определение недостающих точек характеристики, на этапе математической обработки результатов путем аппроксимации; 3) комбинация двух первых путей.

Литература

1. Неньютоновские жидкости: Гидромеханика, перемешивание и теплообмен. Пер. с англ. / У.Л. Уилкинсон. – М.: Мир, 1964. – 216 с.
2. Шпаков В.И. Синхронные реактивные двигатели с улучшенными энергетическими и массогабаритными показателями: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: Спец. 05.09.01. / В. И. Шпаков; Томский политехнический институт; Науч. рук. Е.В. Кононенко. – Томск: Б.и., 1988. – 270 л.
3. Кононенко Е.В. Синхронные реактивные машины / Е.В. Кононенко. – М.: Энергия, 1970. – 208 с.

Применение операционного метода преобразования Лапласа для определения температуры клеевого слоя текстильных настенных покрытий при термообработке

Калиновская И.Н., аспирант
Витебский государственный технологический университет

На кафедре «Прядение натуральных и химических волокон» УО «Витебский государственный технологический университет» разработана технология получения текстильного настенного покрытия. Основным процессом при производстве текстильных настенных покрытий является процесс термообработки. По результатам исследований установлено, что специфические свойства текстильных настенных покрытий во многом зависят от условий проведения процесса термообработки. Определено, что наиболее важными задачами при изучении термообработки текстильных настенных покрытий является определение зависимости между температурой среды, продолжительностью процесса термообработки и термическими свойствами материалов.

Текстильное настенное покрытие состоит из двух слоев, отличающихся друг от друга теплопроводностью и толщиной (рис. 1), поэтому анализ процесса термообработки можно провести как анализ теплообмена в системе двух неограниченных пластин при нестационарных условиях.[1] Температуры наружных поверхностей покрытия равны $t_{ст1}$ $t_{ст2}$, причем $t_{ст1} > t_{ст2}$. Поэтому при установившемся процессе, количество тепла, подведенного к одной стороне покрытия и отведенного от другой стороны, равны между собой и не должны изменяться во времени, т.е. через каждый слой покрытия пройдет одно и то же количество тепла.

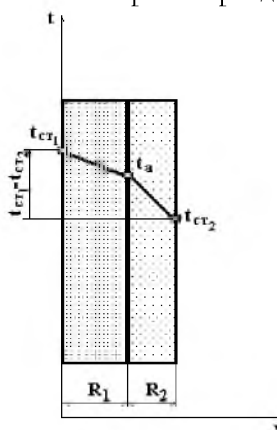


Рис. 1. Количество тепла, проходящее через слои настенного покрытия

Сформулируем постановку задачи процесса термообработки текстильных настенных покрытий в общем виде. Две неограниченные пластины толщиной R_1 (флизелиновое или бумажное полотно) и R_2 (текстильное полотно) с разными теплофизическими коэффициентами склеены между собой. Начальная температура их одинакова. В начальный момент времени поверхности мгновенно нагреваются до температуры T_c , которая поддерживается постоянной на протяжении всего процесса термообработки. Требуется найти распределение температуры по толщине системы из двух пластин.

Начало координат выберем в плоскости склеивания. Тогда краевые условия запишутся в следующем виде:

$$T_1(x, 0) = T_2(x, 0) = 0, \quad (2)$$

$$T_1(-R_1, \tau) = T_2(R_2, \tau) = T_c, \quad (3)$$

$$T_1(0, \tau) = T_2(0, \tau), \quad (4)$$

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} \cdot \frac{\partial T_1(0, \tau)}{\partial x} = \frac{\partial T_2(0, \tau)}{\partial x}, \quad (5)$$

где λ_1 и λ_2 – коэффициенты теплопроводности флизелина (бумаги) и текстильного полотна соответственно (Вт/м*град).

Решения находим операционным методом преобразования Лапласа. Дифференциальные уравнения теплопроводности для одномерного потока тепла в двухслойной пластине имеют вид:

$$\frac{\partial T_1(x, \tau)}{\partial \tau} = a_1 \frac{\partial^2 T_1(x, \tau)}{\partial x^2}, \quad (6)$$

$$\frac{\partial T_2(x, \tau)}{\partial \tau} = a_2 \frac{\partial^2 T_2(x, \tau)}{\partial x^2}, \quad (7)$$

где a_1 и a_2 – коэффициенты температуропроводности флизелина (бумаги) и текстильного полотна соответственно (m^2/c);

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} - \text{температурное поле.}$$

Применим преобразование Лапласа относительно переменной τ . Получим обыкновенные дифференциальные уравнения второго порядка с постоянными коэффициентами относительно изображения:

$$a_1 \frac{\partial^2 T_{L_1}(x, s)}{\partial x^2} - s T_{L_1}(x, s) + u(x) = 0 \quad (8)$$

$$a_2 \frac{\partial^2 T_{L_2}(x, s)}{\partial x^2} - s T_{L_2}(x, s) + u(x) = 0 \quad (9)$$

где $u(x)$ – функция, описывающая начальное распределение температуры;

s – оператор Лапласа в интегральном преобразовании функции $T(x, \tau)$;

$TL(x, s)$ – изображение функции $T(x, \tau)$ в интегральном преобразовании Лапласа.

В данной работе рассматривался случай, когда в начальный момент времени температура во всех точках двухслойной пластины была одинакова и равна нулю. Согласно свойствам преобразования Лапласа, изображение производной можно записать по формуле:

$$L[f^{(n)}(x)] = s^n F(s) - s^{n-1} f(0) - s^{n-2} f'(0) - \dots - f^{(n-1)}(0) \quad (10)$$

Отсюда полученные дифференциальные уравнения для изображений перепишем в следующем виде:

$$s^2 T_{L_1}(x, s) - A_1 s - D_1 - \frac{s}{a_1} T_{L_1}(x, s) = 0 \quad (11)$$

$$s^2 T_{L_2}(x, s) - A_2 s - D_2 - \frac{s}{a_2} T_{L_2}(x, s) = 0 \quad (12)$$

где A_1, A_2, D_1, D_2 – постоянные, определяемые из граничных условий.

Уравнения (11) и (12) являются простыми алгебраическими уравнениями относительно изображений.

Решаем их, считая s простым числом:

$$T_{L_1}(x, s) = \frac{A_1 s + D_1}{s^2 - \left(\frac{s}{a_1}\right)} = \frac{A_1 s + D_1}{s^2 - \left(\frac{s}{\sqrt{a_1}}\right)^2} = A_1 \frac{s}{s^2 - \left(\frac{s}{\sqrt{a_1}}\right)^2} + D_1 \frac{\left(\frac{s}{\sqrt{a_1}}\right)^2}{\left(\frac{s}{\sqrt{a_1}}\right)^2 \left(s^2 - \left(\frac{s}{\sqrt{a_1}}\right)^2\right)} \quad (13)$$

$$T_{L_2}(x, s) = \frac{A_2 s + D_2}{s^2 - \left(\frac{s}{a_2}\right)} = \frac{A_2 s + D_2}{s^2 - \left(\frac{s}{\sqrt{a_2}}\right)^2} = A_2 \frac{s}{s^2 - \left(\frac{s}{\sqrt{a_2}}\right)^2} + D_2 \frac{\left(\frac{s}{\sqrt{a_2}}\right)^2}{\left(\frac{s}{\sqrt{a_2}}\right)^2 \left(s^2 - \left(\frac{s}{\sqrt{a_2}}\right)^2\right)} \quad (14)$$

Согласно свойству линейности преобразования Лапласа:

$$T_{L_1}(x, s) = A_1 ch \sqrt{\frac{s}{a_1}} x + \frac{D_1}{\sqrt{\frac{s}{a_1}}} sh \sqrt{\frac{s}{a_1}} x \quad (15)$$

$$T_{L_2}(x, s) = A_2 ch \sqrt{\frac{s}{a_2}} x + \frac{D_2}{\sqrt{\frac{s}{a_2}}} sh \sqrt{\frac{s}{a_2}} x \quad (16)$$

$$\frac{D_1}{\sqrt{\frac{s}{a_1}}} = B_1 = const \quad \frac{D_2}{\sqrt{\frac{s}{a_2}}} = B_2 = const$$

Заменим $\frac{D_1}{\sqrt{\frac{s}{a_1}}}$ на B_1 и $\frac{D_2}{\sqrt{\frac{s}{a_2}}}$ на B_2 .
В итоге получим:

$$T_{L_1}(x, s) = A_1 ch \sqrt{\frac{s}{a_1}} x + B_1 sh \sqrt{\frac{s}{a_1}} x, \quad (17)$$

$$T_{L_2}(x, s) = A_2 ch \sqrt{\frac{s}{a_2}} x + B_2 sh \sqrt{\frac{s}{a_2}} x, \quad (18)$$

где A_1, A_2, B_1, B_2 – постоянные относительно x , зависящие от s величины и определяемые исходя из граничных условий.

Подставив граничные условия для изображений в уравнения (17) – (18), получим систему уравнений:

$$A_1 ch q_1 R_1 - B_1 sh q_1 R_1 = \frac{T_c}{s}, \quad (19)$$

$$A_2 ch q_2 R_2 + B_2 sh q_2 R_2 = \frac{T_c}{s}, \quad (20)$$

где $q_1 = \sqrt{\frac{s}{a_1}}; q_2 = \sqrt{\frac{s}{a_2}}.$

$$[A_1 ch q_1 x + B_1 sh q_1 x]_{x=0} = [A_2 ch q_2 x + B_2 sh q_2 x]_{x=0}, \quad (21a)$$

$$A_1 = A_2, \quad (21)$$

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} (q_1 A_1 sh(q_1 \cdot 0) + q_1 B_1 ch(q_1 \cdot 0)) = (q_2 A_2 sh(q_2 \cdot 0) + q_2 B_2 ch(q_2 \cdot 0)) \quad (22a)$$

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} q_1 B_1 = q_2 B_2 \quad (22)$$

Решая систему из уравнений (19) – (22) относительно A_1, A_2, B_1, B_2 , найдем корни, при подстановки которых в уравнения (17) – (18), получим решения дифференциальных уравнений для изображений.

Окончательно получим:

$$\frac{T_{L_1}}{T_c} = \frac{ch(q_1 x) \lambda_2 q_2 sh(q_1 R_1) + ch(q_1 x) \lambda_1 q_1 sh(q_2 R_2)}{s(ch(q_1 R_1) sh(q_2 R_2) \lambda_1 q_1 + q_2 \lambda_2 ch(q_2 R_2) sh(q_1 R_1))} - \frac{\lambda_2 q_2 sh(q_1 x) ch(q_1 R_1) - \lambda_2 q_2 sh(q_1 x) ch(q_2 R_2)}{s(ch(q_1 R_1) sh(q_2 R_2) \lambda_1 q_1 + q_2 \lambda_2 ch(q_2 R_2) sh(q_1 R_1))}, \quad (23)$$

$$\frac{T_{L_2}}{T_c} = \frac{ch(q_2 x) \lambda_2 q_2 sh(q_1 R_1) + ch(q_2 x) \lambda_1 q_1 sh(q_2 R_2)}{s(ch(q_1 R_1) sh(q_2 R_2) \lambda_1 q_1 + q_2 \lambda_2 ch(q_2 R_2) sh(q_1 R_1))} - \frac{\lambda_1 q_1 sh(q_2 x) ch(q_1 R_1) - \lambda_1 q_1 sh(q_2 x) ch(q_2 R_2)}{s(ch(q_1 R_1) sh(q_2 R_2) \lambda_1 q_1 + q_2 \lambda_2 ch(q_2 R_2) sh(q_1 R_1))}. \quad (24)$$

Из формул (23) и (24) можно получить формулу для изображения температуры клеевого слоя ($x = 0$) в заданный момент времени:

$$\frac{T_L}{T_c} = \frac{\lambda_2 q_2 sh(q_1 R_1) + \lambda_1 q_1 sh(q_2 R_2)}{s(ch(q_1 R_1) sh(q_2 R_2) \lambda_1 q_1 + q_2 \lambda_2 ch(q_2 R_2) sh(q_1 R_1))} \quad (25)$$

Приравняв знаменатель соотношения (25) нулю, получим характеристическое уравнение:

$$\sin \mu \cdot \cos K_a^{1/2} K_{R_1} \mu + K_\varepsilon \cdot \cos \mu \cdot \sin K_a^{1/2} K_{R_1} \mu = 0. \quad (26)$$

На основании соотношений (25) и (26) формулу для получения температуры клеевого слоя ($T_{ц}, x = 0$) можно записать следующим образом:

$$T_u = T_c - (T_c \times \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2(K_\varepsilon \cdot \sin K_a^{1/2} K_{R_1} \mu_n + \sin \mu_n)}{\mu_n \cdot [(K_\varepsilon + K_a^{1/2} \cdot K_{R_1}) \sin \mu_n \cdot \sin K_a^{1/2} K_{R_1} \mu_n - (1 + K_\varepsilon \cdot K_a^{1/2} \cdot K_{R_1}) \cos \mu_n \cdot \cos K_a^{1/2} K_{R_1} \mu_n]} \times e^{-\mu_n^2 \cdot F_0 t}) \quad (27)$$

где $K_\varepsilon = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}, K_a = \frac{a_1}{a_2}, K_{R_1} = \frac{R_1}{R_2}.$

Полученная формула дает возможность точного определения температуры клевого слоя в любой момент времени. Подстановка в полученную формулу значения температуры полимеризации клея, позволяет определить оптимальную продолжительность термообработки текстильных настенных покрытий.

Литература

Лыков, А. В. Теория теплопроводности / А. В. Лыков. – Москва: Издательство «Высшая школа», 1967. – 600 с.

Расчёт предпомпажных состояний газотурбинной установки

Михайлов А.Я., аспирант

Сургутский государственный университет Ханты-Мансийского автономного округа – Югры

Современная газотранспортная система представлена многочисленными нитками газопроводов, компрессорными станциями, узлами замера и редуцирования, газораспределительными станциями и прочими объектами. В процессе продвижения природного газа – метана его давление в трубопроводе падает. Поэтому для обеспечения поддержания давления приблизительно каждые 100 - 150 км построены компрессорные станции, состоящие, как правило, из нескольких цехов. К каждому из них подводится одна из ниток магистрального газопровода. В составе цеха имеются газоперекачивающие агрегаты номинальной мощностью от 10 до 20 МВт, состоящие непосредственно из двигателя, работающего на том же газе из трубопровода, и нагнетателя, предназначенного для увеличения давления в трубе. Давление в газопроводе до компрессорной станции падает до 50 – 56 кг/см², давление же выходе достигает 75 кг/см².

Газотурбинная установка (двигатель) состоит из двух основных машин (Рис.1):

1. Газогенератора, в котором для создания потока горячих газов высокого давления сжигается смесь из топлива и сжатого воздуха;
2. Силовой турбины, которая служит для преобразования потенциальной энергии газов в кинетическую энергию, используемую для приведения в действие различных внешних машин.

В свою очередь, газогенератор состоит из компрессора, который повышает давление забираемого воздуха, камеры сгорания, куда подаётся и где сжимается топливо, и турбины, которая отбирает энергию в количестве, достаточном для приведения в действие компрессора.

В газогенераторе двухвальной ГТУ используются односекционные компрессор и турбина. Скорость вращения соединительного вала называется скоростью вращения газогенератора ($V_{гг}$). В трёхвальной ГТУ компрессор и турбина газогенератора имеют по две ступени. Первая – ступень низкого давления компрессора. Она приводится в движение последней ступенью турбины, а скорость вращения вала, соединяющего их, называется скоростью вращения ротора ступени низкого давления ($V_{кнд}$). Аналогично скорость вращения вала, соединяющего вторую ступень компрессора, т.е. ступень высокого давления, с первой ступенью турбины, называется скоростью вращения ротора ступени высокого вращения ($V_{квд}$). [3, с. 17-18]

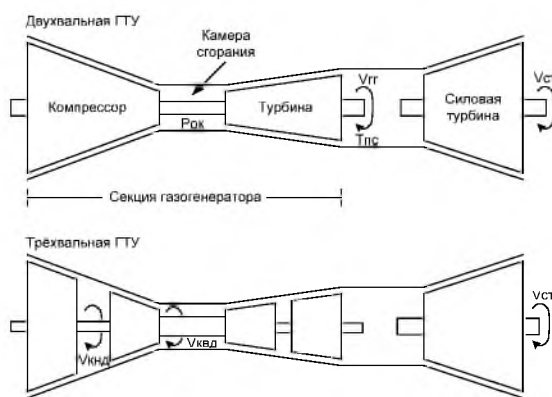


Рис.1. Многовальная газотурбинная установка (ГТУ)

Помимо указанных выше параметров важными для регулирования являются скорость вращения силовой турбины ($V_{ст}$), соединённой с ротором нагнетателя и, как следствие, изменяющей выходное давление перекачиваемого ГТУ природного газа, давление топливного газа за осевым компрессором ($P_{ок}$) и температура продуктов сгорания ($T_{пс}$).

Таким образом, современная система управления ГТУ должна выполнять следующие функции:

- недопущение вращения вала силовой турбины с критической или чрезмерно высокой скоростью, которая может стать причиной повреждения самой турбины или приводимых ею в движение машин;