

Отримані результати дозволяють зробити стосовно досліджуваних трансформаторів наступні висновки:

1) зміна похибок при зміні потужності навантаження, коефіцієнта потужності і температури мають закономірний характер і їх можна описати функціями (3), (4);

2) вплив первинної напруги на похибку незначний, тому в інтервалі від $0,8U_{1ном}$ до $1,2U_{1ном}$ її можна не враховувати;

3) відхилення похибок від значень, що визначаються впливом номінальних факторів в умовах експлуатації можна розрахувати за допомогою автоматизованої системи обліку енергії на базі ПК, що фіксує зміну зовнішніх впливаючих факторів. Це дає можливість постійно контролювати дійсну похибку ТН і тим самим підвищити точність вимірювань напруги, а отже, і обліку електроенергії.

Література

1. Дымков А.М., Кибель В.М., Тишенин Ю.В. Трансформаторы напряжения. – М.: Энергия, 1975.
2. Чунихин А.А. Электрические машины. – М.: Энергия, 1967.
3. ГОСТ 3484– 77. Трансформаторы силовые. Методы испытаний.
4. ГОСТ 8,126– 76. ГСИ. Трансформаторы напряжения. Методы и средства поверки.
5. ГОСТ 1983– 77. Трансформаторы напряжения. Общие технические условия.

Надійшла 17.9.2009 р.

УДК 620.91:67.08

В.В. КАРМАНОВ, К.В. ЛУНЯКА, О.И. КЛЮЕВ

Херсонський національний технічний університет

ТЕПЛОМАССОБМЕННЫЙ И ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПРЕСС-ЭКСТРУДЕРА С РЕГУЛИРУЕМЫМ ВИНТОВЫМ РАБОЧИМ ОРГАНОМ

Рассмотрены вопросы связанные с процессами пресс-экструдирования профилей строительных деталей из композиционных материалов. Тепловые процессы при экструдировании с постоянной производительностью в установившемся температурном режиме рассматриваются как стационарные. Предложена методика теплотехнического расчета.

In article considered questions about details from composite materials. The analysis of processes developed in static and dynamic.

Ключові слова: екструдер, композиційні матеріали.

Введение. Процессы переработки композиционных материалов на основе высокомолекулярных соединений из вторичного сырья и отходов текстильной, перерабатывающей, легкой, лесной и других областей промышленности в пресс-экструдерах являются достаточно перспективными. С целью создания непрерывного и стабильного протекания основного технологического процесса приобретают большое значение расчеты термодинамических характеристик пресс-экструдирования. В связи с тем, что указанные вопросы применительно к процессам пресс-экструдирования профилей строительных деталей из композиционных материалов освещены недостаточно, актуальным становится получение зависимостей для теплотехнического расчета, что позволит обеспечить ресурсосбережение, экономию энергозатрат и оптимизировать необходимый технологический процесс.

Постановка проблемы. С целью обеспечения необходимых тепловых режимов экструдирования пластических материалов нашли широкое применение электрические нагреватели рабочего органа пресс-экструдера. Для их рационального использования необходимо определить тепловые потери, мощность нагревательных элементов, температуру цилиндра рабочего органа, фильеры, при которой масса достигает температуры переработки.

Изложение основного материала. Тепловые процессы при экструдировании с постоянной производительностью в установившемся температурном режиме можно рассматривать как стационарные. Это обусловлено тем, что температурное поле рабочего органа и перерабатываемой массы в любой момент времени остается постоянным несмотря на то, что температура массы при перемещении по рабочему органу изменяется во времени. Используются два метода расчета термодинамических характеристик пресс-экструдирования профилей строительных деталей из композиционных материалов. По первому методу с учетом тепломассообмена принимаем, что при движении по винту обрабатываемый продукт нагревается до необходимой температуры, определяемой теплом, которое выделяется за счет механической энергии привода (энергии диссипации) и подводимой от нагревателей.

Принимая обрабатываемый продукт несжимаемым и пренебрегая инерционными эффектами

уравнение баланса энергии в пресс-экструдере с винтовым рабочим органом имеет вид

$$q_{nep} + q_{nom} + G_m \cdot \Delta p \cdot V = q_n + q_M \quad (1)$$

где q_{nep} – энергия, необходимая для обработки продукта, Вт;
 q_{nom} – теплотери в окружающую среду, Вт;
 G_m – производительность установки, кг/с;
 Δp – разность давления на входе и выходе винтового потока, Па;
 V – удельный объем сырья, кг/м;
 q_n – энергия нагревателя, Вт;
 q_M – энергия, выделяющаяся за счет работы привода, Вт.

Если рассматривать баланс энергии винта, работающего в автогенном режиме, то член уравнения q_n исключается. Определим каждую составляющую уравнения, условно разделив рабочий орган на участки. Тепловые потери q_{nom} складываются из потерь в рабочем органе $q_{нк}$ и потерь в воздухе $q_{нв}$.

Потери в рабочем органе $q_{нк}$ происходят за счет теплопроводности цилиндра и винта к корпусу пресс-экструдера, которые согласно закону Фурье можно выразить

$$dq_{нк} = \left[\frac{\lambda_u \cdot F_u}{l'_u} (T_u - T_{вз}) + \frac{\lambda_b \cdot F_b}{l'_b} (T_b - T_{вз}) \right] \cdot d\tau, \quad (2)$$

где λ_u, λ_b – коэффициенты теплопроводности цилиндра и винта, Вт/м²·К;
 F_u, F_b – площадь поперечного сечения цилиндра и винта, м²;
 $T_u, T_{вз}, T_b$ – температура цилиндра, винта, воздуха, К;
 l'_u, l'_b – длины участков корпуса цилиндра, в которых не расположены нагревательные элементы, м;
 τ – время переработки, с.

При установившемся режиме температура цилиндра и винта практически одинакова, тогда

$$dq_{нк} = \left[\left(\frac{\lambda_u \cdot F_u}{l'_u} + \frac{\lambda_b \cdot F_b}{l'_b} \right) (T_{ннц} - T_{вз}) \right] \cdot d\tau, \quad (3)$$

Теплоотдача с поверхности рабочего органа в воздух происходит излучением и конвекцией. Согласно закону Ньютона количество теплоты, отданное воздуху с поверхностью за время переработки

$$dq_{нв} = \alpha_o \cdot F_{ннц} \cdot (T_u - T_{вз}) \cdot d\tau \quad (4)$$

где $\alpha_o = \alpha_u + \alpha_k; \alpha_o; \alpha_u; \alpha_k$ – коэффициенты теплоотдачи общей, излучением и конвекцией, Вт/м²·К;
 $F_{ннц}$ – площадь наружной поверхности цилиндра, м²;
 $T_{ннц}$ – температура наружной поверхности цилиндра, К;

Подставив в уравнение (4) значение коэффициента теплоотдачи d_o получим суммарные потери в воздух за время переработки

$$dq_{нв} = \pi \cdot d_{нц} \cdot l_u \cdot \left[\sigma_0 \cdot \varepsilon_n (T_{ннц}^4 - T_{вз}^4) + \frac{1,34 (T_{ннц} - T_{вз})^{1,25}}{d_{нц}^{0,25}} \right] \cdot d\tau, \quad (5)$$

где σ_0 – постоянная Стефана-Больцмана, Вт/м²·К⁴;
 ε_n – приведенная степень черноты поверхности рабочего органа;
 $d_{нц}$ – наружный диаметр цилиндра, м.

В общем случае энергия, необходимая для переработки массы, расходуется на нагревание $q_{наг}$ и на сжатие $q_{сж}$.

Энергия на нагревание равна

$$dq_{наг} = C_M \cdot m_M \cdot dT_M = m_M \cdot dh_p, \quad (6)$$

где C_M – теплоемкость перерабатываемого продукта, Дж/кг·К;
 m_M – масса продукта, кг;
 T_M – температура массы, К;
 h_p – энтальпия массы при постоянном давлении, Дж/кг.

Энергия затрачиваемая на сжатие равна

$$dq_{сж} = m_M \cdot \left[V_{My} - \left(\frac{\partial V_{My}}{\partial T_M} \right)_p \right] dP_M = m_M \cdot dh_T, \quad (7)$$

где V_{My} – удельный объем массы, м³/кг;

P_M – давление массы, Па;

h_T – энтальпия массы при постоянной температуре, Дж/кг.

Энергия, выделяющаяся в массе под действием сил вязкого трения при работе привода равна

$$dq_m = M_{кр} \cdot \omega_v \cdot d\tau, \quad (8)$$

или

$$dq_m = \mu \cdot j^2 \cdot V_M,$$

где $M_{кр}$ – крутящий момент на валу винта, Н м;

ω_v – частота вращения винта, с;

μ – вязкость продукта, Па·с;

j – скорость сдвига, с⁻¹;

V_m – объем массы, м³;

Из уравнения энергетического баланса определяем мощность внешнего источника тепла, необходимого для нагрева массы до требуемой температуры в расчетном участке рабочего органа

$$N_H = \frac{q_H}{\tau} = m_{м\tau} \cdot \Delta h_p + m_{м\tau} \cdot \Delta h_T + \left(\frac{\lambda_{ц} \cdot F_{ц}}{l'_{ц}} + \frac{\lambda_{в} \cdot F_{в}}{l'_{в}} \right) \cdot (T_{ц} - T_{вз}) + \pi \cdot d_{нц} \cdot l_{ц} \cdot \left[\sigma_0 \cdot \varepsilon_n \cdot (T_{нц}^4 - T_{вз}^4) \cdot \frac{1,34(T_{нц} - T_{вз})^{1,25}}{d_{нц}^{0,25}} \right] - M_{кр} \cdot \omega_v, \quad \text{Вт} \quad (9)$$

где $\Delta h_p; \Delta h_T$ энтальпия массы при постоянном давлении и постоянной температуре, Дж/кг;

$m_{м\tau}$ – массовый расход материала, кг/с.

Согласно уравнению Ньютона для теплообмена между цилиндрической стенкой и материалом энергия теплообмена равна

$$dq_H = \alpha_{цм} \cdot F_{нц} \cdot (T_{ц} - T_{мсп}), \quad (10)$$

где $\alpha_{цм}$ – коэффициент теплоотдачи от цилиндра к массе, Вт/м²·К;

$T_{мсп}$ – средняя температура массы, К.

Тогда из уравнений (9) и (10) получим среднюю температуру, которую должен иметь цилиндр, чтобы при заданной производительности масса нагрелась до температуры переработки

$$T_{ц} = \frac{m_{м\tau} \cdot \Delta h_p + m_{м\tau} \cdot \Delta h_T - M_{кр} \cdot \omega_v}{\alpha_{цм} \cdot F_{нц}} + T_{мсп}. \quad (11)$$

Коэффициент теплоотдачи $\alpha_{цм}$, входящий в выражение (11), можно определить по уравнению Ньютона

$$\alpha_{цм} = \frac{q'_H}{F_{нц} (T_{ц} - T_{мн})}, \quad (12)$$

где q'_H – количество теплоты, передаваемой массе стенкой, Дж/кг;

$T_{мн}$ – температура переработки массы, К.

Из уравнения (11) и (12) определим коэффициент теплоотдачи для отдельного участка при движении массы в винтовом рабочем органе.

$$\alpha_{цм} = \frac{m_{м\tau} \cdot \Delta h_p + m_{м\tau} \cdot \Delta h_T - M_{кр} \cdot \omega_v}{F_{нц} (T_{ц} - T_{мн})}. \quad (13)$$

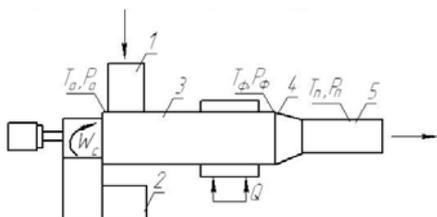


Рис.1.Схема энергетического и теплового баланса при установившемся процессе профилирования строительных деталей пресс-экструзией: 1-бункер; 2-привод; 3-винтовой пресс-экструдер с зоной пластификации; 4-формующая головка; 5-профилирующая головка; 6-пневмо- или гидроцилиндр для осевого перемещения вала штока.

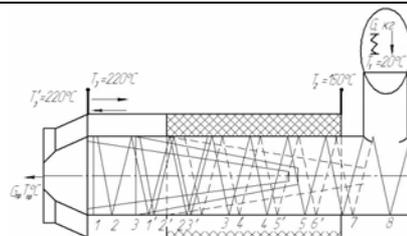


Рис.2. Схема регулируемого пресс-экструзионного процесса профилирования из композиционных материалов строительных деталей.

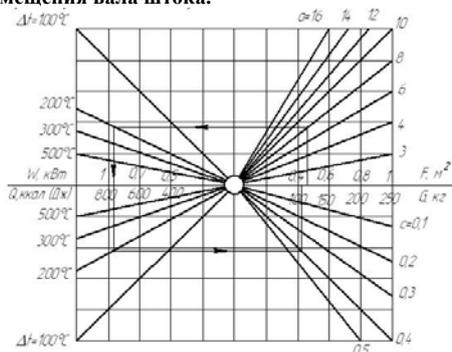


Рис.3. Номограмма для определения тепловых параметров пресс-экструдера профилирования строительных деталей.

Расчет позволяет установить основные параметры, необходимые для обеспечения требуемого теплового режима обработки.

Для изготовления профильных строительных изделий из композитных материалов и термопластических связующих путем гибкого процесса пресс-экструзии с применением винтового рабочего органа с регулируемыми параметрами согласно (рис 1.) и (рис.2) получена номограмма (рис.3.) для теплового расчета и подбора теплообменных устройств.

На номограмме (рис.3) отмечены следующие параметры

- G - производительность;
- W - мощность теплообменного устройства (нагревательных элементов);
- Q - количество теплоты на обработку;
- α - коэффициент лучеиспускания;
- F - площадь поверхности контакта теплообменного устройства с поверхностью пресс-экструдера;
- C - к.п.д. теплообменного устройства;
- Δt - разность температур начала и конца обработки

Расчеты и номограмма позволяют установить основные параметры, необходимые для обеспечения требуемого теплового режима, подобрать (рассчитать) теплообменные устройства, теплоизоляционные материалы.

По второму методу мощность каждого нагревателя определяется путем расчета мощности нагревательных элементов в зависимости от массы продукта обработки (ПО), поверхности головки экструдера (ГЭ) и от тепловых потерь в окружающую среду (ТПМ).

Изменение напряжение в сети во время работы пресс-экструдера приводит к перебоям в работе и вызывает образование дефектов в получаемых изделиях, в связи с чем рекомендуется расчетную величину мощности увеличивать на 15-20% для компенсации непредвиденных расходов тепла.

Продолжительность нагрева определится из соотношения тепла, необходимого для нагрева ГЭ, ТМП, и ПО, к теплу, выделяемому нагревательными приборами за единицу времени работы (1 час).

$$\tau = \frac{W \cdot n^{-1}}{W'_n} \cdot (\phi')^{-1}; \quad \tau = \frac{W_n}{W'_n \cdot \phi'} \quad (14)$$

где W_n – количество тепла, затрачиваемого на нагрев ГЭ, ТМП, ПО, Вт;
 W'_n – количество тепла, отдаваемого электронагревательными приборами в 1 ч, $W'_n=0,15...0,2$ кВт;
 ϕ' – поправочный коэффициент, $\phi'=1,8...2$

Если продолжительность нагрева сравнительно большая, то для сокращения расхода электроэнергии ее следует уменьшить некоторым увеличением мощности нагревателей.

Мощность нагревателя и количество выделяемого им тепла прямо пропорциональны сопротивлению проводника, в связи с чем подбору проводника необходимо уделять особое внимание.

Материал проводника должен обладать большим удельным сопротивлением, стойкостью к длительным воздействиям температуры и малым температурным коэффициентом. Свойства сплавов, наиболее часто применяемых в конструкциях нагревателей приведены в соответствующих справочниках

Количество тепла, передаваемого нагревательным прибором ГЭ, ТПМ, и ПО

$$W_n = \beta \cdot F_n \cdot \Delta t_{n2} \cdot \tau, \quad (15)$$

Δt_{n2} – разность температур поверхности нагревателя и ГЭ, К;

F_n – площадь поверхности нагревания, м²;

β – приведенный коэффициент теплоотдачи, равный сумме коэффициентов лучеиспускания и конвекции, $\beta = a_n + a_T$.

Коэффициент лучеиспускания

$$a_n = \frac{C_{1-2} \left(\frac{T_n}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_m}{100} \right)^4}{T_n - T_m}, \quad (16)$$

где T_n – абсолютная температура поверхности нагревателя, К;

T_m – Абсолютная температура поверхности ГЭ, ТПМ и ПО, К;

C_{1-2} – приведенный коэффициент лучеиспускания,

$$C_{1-2} = \frac{C_0}{\frac{1}{A_n} + \frac{F_n}{F_m} \left(\frac{1}{A_m} - 1 \right)} \quad (17)$$

где $C_0 = 4,9$ – коэффициент лучеиспускания абсолютного черного тела, Дж/м² · ч · К⁴;

$A_n = 0,9$ – степень черноты поверхности нагревателя;

$A_m = 0,9$ – степень черноты ГЭ;

F_m – площадь поверхности контактирующей с металлической частью корпуса, обращенной к ГЭ или к опоре пресс-экструдера, м².

Площадь поверхности нагревателя

$$F_n = \frac{1}{\left\{ \frac{1}{W_n} \left[\left(\frac{T_n}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_m}{100} \right)^4 \right] - \frac{1}{F_m} \left(\frac{1}{A_m} - 1 \right) \frac{1}{C_0} \right\} A_n \cdot C_0}, \text{ м}^2. \quad (18)$$

Диаметр проводника

$$d = 7,43 \sqrt[3]{\frac{F_n \cdot \rho \cdot W}{U^2}}, \text{ мм} \quad (19)$$

где ρ – удельное электросопротивление проводника, Ом м²/мм;

U – напряжение на концах проводника, Вт;

W – электрическая мощность нагревательного элемента (спирали), Вт;

Длина проводника одного нагревательного элемента

$$l = \frac{1000 \cdot F_n}{\pi \cdot d}, \text{ м}. \quad (20)$$

Проверочный расчет в рассматриваемых условиях осуществляет по формуле

$$T_n - T_m = \frac{0,860 \cdot U^2}{(a_n + a_T) F_n \cdot R}, \text{ К} \quad (21)$$

где сопротивление проводника, применяемого в нагревательных элементах,

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S_{np}}, \text{ Ом}, \quad (23)$$

где S_{np} – площадь поперечного сечения проводника, мм²;

l – длина проводника, м;

При разработке конструкции ГЭ и нагревательного прибора (НП) необходимо обеспечить однородное температурное поле с соблюдением выбранного температурного режима. Спирали и стержни рекомендуется располагать ближе к зоне нагрева. Минимальное расстояние от нагревателя до края ГЭ должно быть не менее 30мм. При уменьшении указанного расстояния КПД нагревателя несколько снижается.

Для снижения разности температур в частях ГЭ применяют изоляцию, которая уменьшает отдачу тепла в окружающую среду в местах соединения ГЭ с опорой или проводной ее частью. При применении изоляции температура на конце ГЭ повышается, а температура в ГЭ выравнивается. Нагреватели изолируют от ГЭ.

Выводы. Нагреватели должны быть жестко закреплены. При нагреве нагревательного прибора до 300°С и более в качестве изоляции возможно применять стекломиканит и асбестовый шнур. При более высокой температуре нагрева возможно использовать пластинчатую слюду, термоупорный миканит в виде шайб и втулок на жидком стекле. Токопроводящие медные стержни, которые состоят из 82 частей высокоглиноземистого шамота покрывают специально приготовленным составом

Рациональное использование энергосистемы пресс-экструдера согласно методике

теплотехнического расчета и энергетического баланса позволит обеспечить ресурсосбережение, экономия энергозатрат и оптимизировать необходимый технологический процесс.

Литература

1. Соколов Н. А. Литье в оболочковые формы. – М: Машиностроение, 1978. – 461с.
2. Карманов В. В. Теплотехнический расчет и энергетический баланс рабочего органа пресс-экструдера. Херсон, 1997.
3. Карманов В. В. Универсальные регулированные винтовые рабочие органы. Херсон: ХИИ, 1994 г. - 41 с.

Надійшла 21.9.2009 р.

УДК 621.382.2

А.О. СЕМЕНОВ, О.В. ОСАДЧУК, К.О. КОВАЛЬ
Вінницький національний технічний університет

КВАЗІЛІНІЙНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПОМНОЖУВАЧА ЧАСТОТИ НА ОСНОВІ БІПОЛЯРНОЇ ТРАНЗИСТОРНОЇ СТРУКТУРИ З ВІД'ЄМНИМ ОПОРОМ

В роботі запропоновано квазілінійну математичну модель помножувача частоти аналогових сигналів на основі біполярної транзисторної структури з від'ємним опором. Квазілінійна математична модель побудована на основі степеневої апроксимації вольт-амперних характеристик біполярної транзисторної структури та квазілінійної схеми-заміщення у режимах подвоєння та потроєння частоти.

In this work it is proposed a quasi-linear mathematical model of an analog signal frequency multiplier on a base of bipolar transistor structure with negative resistance. The quasi-linear mathematical model is developed on a base of power approximation of U/I characteristics of the bipolar transistor structure and a quasi-linear substitution circuit in frequency doubling and tripling modes.

Ключові слова: помножувач частоти аналогових сигналів, квазілінійна математична модель.

Вступ

Помножувачами частоти є радіотехнічні пристрої для створення дискретної множини частот, які широко використовуються як функціональні вузли радіовимірвальних приладів, систем діагностування і автоматичного керування, пристроїв формування і оброблення радіосигналів тощо [1]. Перспективним напрямком побудови помножувачів частоти ВЧ і НВЧ діапазонів є використання реактивних властивостей транзисторних структур з від'ємним опором [2-5]. Проведені дослідження у роботах [2,3] показали, що помножувачі частоти на основі транзисторних структур з від'ємним опором (ТСВО) діапазонів ВЧ і НВЧ у порівнянні з помножувачами частоти на основі генераторів зовнішнього збудження мають покращенні техніко-експлуатаційні характеристики. Проте, в порівнянні з останніми, для помножувачів частоти на основі ТСВО немає узагальноної методики теоретичних досліджень. У статті частково вирішена ця актуальна наукова задача і запропонована квазілінійна математична модель помножувача частоти на основі біполярної ТСВО, яка може бути покладена за основу для аналізу фізичних процесів у помножувачах частоти аналогових сигналів інших типів ТСВО.

Метою даної роботи є розробка квазілінійної моделі помножувача частоти аналогових сигналів на основі біполярної транзисторної структури з від'ємним опором.

Розробка квазілінійної математичної моделі помножувача частоти на основі біполярної ТСВО

На рис. 1 представлено електричну схему помножувача частоти ВЧ аналогових сигналів на біполярній ТСВО (рис. 1,а) [5]. Фотографію помножувача частоти, який складається із біполярних транзисторів BFT92 і BFR93 та виготовлений по гібридній технології, подано на рис. 1,б.

Помножувач частоти структурно складається з емітерного повторювача на біполярному транзисторі VT1 і резисторів R_1 , R_2 і R_3 , біполярної ТСВО на основі транзисторів VT2 і VT3, а також послідовного коливального контуру з котушки L_1 та реактивної складової повного опору ТСВО на електродах колектор-емітер VT3. Помножувач частоти на основі біполярної ТСВО працює таким чином [5]. Сигнал з частотою ω_1 надходить на вхід емітерного повторювача на біполярному транзисторі VT1. Опори подільника напруги R_1 і R_2 , а також R_3 вибираються з умови розташування робочої точки на лінійній ділянці вихідних статичних ВАХ біполярного транзистора VT1 та забезпечення половини напруги живлення на емітері VT1. Емітерний повторювач використовується для узгодження опорів попереднього каскаду з біполярною транзисторною структурою, повний опір якої складається з від'ємного опору активної складової і реактивної складової емнісного характеру. Коливальний контур помножувача налаштований на резонансну частоту $\omega_p = p\omega_1$, що дозволяє виділити n -ту гармонічну складову з суми гармонічних сигналів. За рахунок компенсації від'ємним опором біполярної ТСВО у паралельному коливальному контурі рівень вихідного сигналу є набагато більшим за рівень відповідної n -ої складової, що можна характеризувати еквівалентним коефіцієнтом