

АВТОМАТИЗОВАНИЙ ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК СУШИЛЬНОЇ ЧАСТИНИ КАРТОНОРІБНИХ МАШИН З КЛЕЇЛЬНИМ ПРЕСОМ

Анотація. Наведений алгоритм розрахунку сушильної частини КРМ з клеїльним пресом, за яким розроблені відповідні пакети програм, що дозволяють на персональній ЕОМ визначати для діючих машин тиски гріючої пари по групах сушильних циліндрів та витрати свіжої пари на машину при різних швидкостях.

Аннотация. Приведен алгоритм расчета сушильной части КДМ с клеильным прессом, по которому разработаны соответствующие пакеты программ, позволяющие на персональной ЭВМ определять для действующих машин давления греющего пара по группам сушильных цилиндров и расходы свежего пара на машину при различных скоростях.

Summary. Drying machine with gluing machine computer model algorithm is developed. According to the algorithm a program package are developed. Program packages applying to PC allow to calculate steam pressure and working steam mass rate for drum series and machine as a whole under different speeds.

На підприємствах целюлозно-паперової промисловості при виробленні тарного картону і паперу з макулатури суттєвими є витрати гріючої пари на сушильну частину картоноробних машин (КРМ). Розробка і впровадження автоматизованого регулювання витрати пари на цих машинах дозволить зменшити питомі витрати свіжої пари. Це особливо стосується випадків, коли на одній і тій же КРМ в залежності від кон'юнктури споживачів здійснюється випуск і тарного картону і паперу. При цьому режими роботи КРМ будуть перемінними, тобто будуть характеризуватися різними швидкостями машини (різними витратами і параметрами гріючої пари).

Метою роботи є розробка практичної методики (пакета програм) з використанням персональних ЕОМ для теплового розрахунку сушильної частини наявних КРМ з клеїльним пресом, за допомогою якої в залежності від заданого виду продукції і графіка сушки (параметрах полотна у вузлових точках) можна оперативно визначати тиск і витрату гріючої пари на кожен групу сушильних циліндрів, а також сумарну витрату свіжої пари на машину.

Особливістю розробленого пакета програм є те, що розрахунки виконуються у діалоговому режимі, який дозволяє оперативно вносити відповідні корективи в базу даних.

За основу алгоритму був прийнятий метод теплотехнічного розрахунку сушильної частини паперо-, картоноробних і сушильних машин з використанням ЕОМ (ОСТ 26 – 08 – 2005 – 77), який рекомендований при конструкторському розрахунку сушильної частини КРМ з клеїльним пресом.

Головною відмінністю розробленої методики є те, що при відомій кількості сушильних циліндрів і місця розташування клеїльного пресу на наявній КРМ методом послідовних наближень для прийнятих параметрів гріючої пари визначаються теоретичні кількості циліндрів до і після клеїльного пресу, при цьому в кінцевому разі теоретичні і дійсні кількості циліндрів повинні співпадати.

Пакет програм складається з 4 підпрограм:

- 1 – перемінних вихідних даних, які вводяться під час розрахунків;
- 2 – постійних величин, які характеризують конкретну КРМ та матеріал паперу (картону);
- 3 – бази даних фізичних властивостей води, водяної пари і повітря;
- 4 – основний розрахунковий модуль.

Вихідні дані до розрахунку:

- питома маса паперу (картону) – g , г/м²;
- ширина полотна, м (обрізна – $B_{об}$, на накаті – B_n);
- робоча швидкість машини – V , м/хв;

- сухість полотна, % (перед сушильною частиною – T_n ; перед клеїльним пресом – T'_k ; після клеїльного пресу – $T_{кл}$; на накаті – T_k);
- температура полотна, °C (на вході в сушильну частину – t_0 , в кінці періоду прогріву – t_1 , в період постійної швидкості на циліндрах 2 групи – t_2 , в період постійної швидкості на циліндрах 1 групи – t_3 , перед клеїльним пресом – t_4 , після клеїльного пресу – $t_{кл}$, в кінці періоду прогріву після клеїльного пресу – t'_1 , після групи досушки – t'_4).

Постійні величини:

- по сушильному циліндру (діаметр – D_0 , м; довжина – L , м; товщина стінки – $\delta_{ст}$, м; теплопровідність матеріалу – λ , Вт/(м·К); частка обхвату циліндра полотном – φ_c ; доля теплоти, яка втрачається відкритою боковою поверхнею навколишньому повітрю – a_q);
- по конденсату грючої пари (теплопровідність – λ_k , Вт/(м·К); товщина кільця, що утворюється – δ_k , м);
- питома теплоємність абсолютно сухого волокна – $c_{вол}$, кДж/(кг·К);
- температурні перепади між паром і поверхнею циліндра (в групі прогріву – Δt_3 , в періоді постійної швидкості сушки – Δt_2 , в періоді падаючої швидкості сушки – Δt_1);
- критичний вологовміст полотна – $U_{кр1}$;
- коефіцієнти тепловіддачі на внутрішній поверхні циліндра, Вт/(м²·К) (в періоді прогріву – $\alpha_{1пр}$, в періодах постійної і падаючої швидкості сушки – α_1);
- коефіцієнти теплообміну на зовнішній поверхні циліндра, Вт/(м²·К) (в періоді прогріву – $\alpha_{2пр}$, в періодах постійної і падаючої швидкості сушки – α_2);
- коефіцієнти, які враховують погіршення умов сприйняття теплоти полотном (на циліндрах 1 групи в періоді падаючої швидкості сушки – z_1 ; на циліндрах досушуючої групи – z_d);
- кількість циліндрів в парових групах КРМ (III – $n_{3м}$; II – $n_{2м}$; I – $n_{1м}$; III – $n_{3Ам}$; II – $n_{2Ам}$; I – $n_{1Ам}$);
- кількість циліндрів в приводних групах КРМ (I_п – $n_{1п}$; II_п – $n_{2п}$; III_п – $n_{3п}$; IV_п – $n_{4п}$; V_п – $n_{5п}$; VI_п – $n_{6п}$; VII_п – $n_{7п}$; VIII_п – $n_{8п}$).

Опис блок-схеми алгоритму розрахункового модуля (рис.1)

Символ 2 - визначення ентальпії парів води та теплоти фазового переходу води.

- Ентальпії парів води, кДж/кг, при заданих температурах:

$$h''_{t_0} = f(t_0); \quad h''_{t_1} = f(t_1); \quad h''_{t_2} = f(t_2); \quad h''_{t_3} = f(t_3); \quad h''_{t_4} = f(t_4); \quad h''_{t'_1} = f(t'_1); \quad h''_{t_{кл}} = f(t_{кл}); \quad h''_{t'_4} = f(t'_4).$$

- Середні ентальпії парів води, що видаляється з полотна, кДж/кг, в наступні періоди:

- прогріву полотна - $h''_{пр} = 0,5(h''_{t_0} + h''_{t_1});$
- постійної швидкості сушки полотна на циліндрах 2 групи - $h''_{I,2} = 0,5(h''_{t_1} + h''_{t_2});$
- постійної швидкості сушки полотна на циліндрах 1 групи - $h''_{I,1} = 0,5(h''_{t_2} + h''_{t_3});$
- падаючої швидкості сушки - $h''_{II} = 0,5(h''_{t_3} + h''_{t_4});$
- прогріву полотна після клеїльного пресу - $h''_{пр,1} = 0,5(h''_{t'_1} + h''_{t_{кл}});$
- досушки полотна після клеїльного пресу - $h''_{II'} = 0,5(h''_{t'_4} + h''_{t'_1});$
- усереднена після клеїльного пресу - $h''_{кл} = 0,5(h''_{ткл} + h''_{t'_4}).$

• Теплота фазового переходу вологи, яка випаровується з полотна, кДж/кг, в наступні періоди:

- постійної швидкості сушки на циліндрах 2 групи - $r_{I,2} = h_{I,2}'' - 4,19t_1$;
- постійної швидкості сушки на циліндрах 1 групи - $r_{I,1} = h_{I,1}'' - 4,19t_2$;
- падаючої швидкості сушки - $r_{II} = h_{II}'' - 4,19t_3$;
- досушки після клеїльного пресу - $r_2 = h_{II}' - 4,19t_1'$.

Символ 3- визначення вологовмісту, коефіцієнтів теплопередачі та продуктивності машини.

• Вологовміст полотна, кг/кг:

- початковий - $U_H = (100 - T_H) / T_H$;
- кінцевий - $U_K = (100 - T_K) / T_K$;
- початковий перед клеїльним пресом - $U_K' = (100 - T_K') / T_K'$;
- кінцевий після клеїльного пресу - $U_{кл} = (100 - T_{кл}) / T_{кл}$;
- в кінці прогріву після клеїльного пресу - $U_I' = 0,9U_{кл}$.

• Коефіцієнти теплопередачі в сушильних циліндрах, Вт/(м²·К), які враховують нестационарність теплового режиму та наявність конденсатного кільця:

- в періоді прогріву полотна - $K_0 = \frac{(1-a_q)}{\varphi_{ц}} \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{1пр}} + \frac{\delta_{к}}{\lambda_{к}} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_{2пр}} \frac{(1-a_q)}{\varphi_{ц}}}$;
- в інших періодах сушки - $K = \frac{(1-a_q)}{\varphi_{ц}} \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{к}}{\lambda_{к}} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_2} \frac{(1-a_q)}{\varphi_{ц}}}$.

• Продуктивність машини, кг/год:

- загальна - $G_r = 6 \cdot 10^{-2} g B_H V$;
- за абсолютно сухою масою - $G_{ac} = G_r / (1 + U_k)$.

Символ 4 – вибір параметрів гріючої пари.

• З урахуванням практичних результатів беруть тиск насичення водяної пари по групах сушильних циліндрів P_{1i} , МПа, за якими визначаються відповідні температури насичення t_{hi} , °С, теплоти фазового переходу r_i , ентальпії пари h_i'' та конденсату h_i' .

Символ 5 - визначення густин теплового потоку, Вт/м², на активній поверхні нагріву сушильних циліндрів.

- 3 групи у періоді прогріву полотна - $q_{пр} = K_0 [t_{H3} - 0,5(t_0 + t_1)]$;
- 3 групи у періоді постійної швидкості сушки - $q_{I,3} = K [t_{H3} - 0,5(t_1 + t_2)]$;
- 2 групи у періоді постійної швидкості сушки - $q_{I,2} = K [t_{H2} - 0,5(t_1 + t_2)]$;
- 1 групи у періоді постійної швидкості сушки - $q_{I,1} = K [t_{H1} - 0,5(t_2 + t_3)]$;
- в періоді прогріву після клеїльного пресу - $q_{пр}' = K [t_{H4} - 0,5(t_{кл} + t_1')]$.

Символ 6 – підпрограма розрахунку коефіцієнтів збереження і використання теплоти.

• За розрахованими температурами гріючої пари в циліндрах відповідних груп визначаються середні температури циліндрів - $t_{гpi} = t_{hi} - \Delta t_i$.

- Визначаються температури торцевих поверхонь циліндрів відповідних груп - $t_{гp.ti} = t_{гpi} + 3$.

• Визначаються середні температури полотна на ділянках вільного пробігу в періоди постійної швидкості сушки на циліндрах 3 групи, в періоди постійної швидкості сушки на циліндрах 2 та 3 групи, в періоді постійної швидкості сушки на циліндрах 1 групи, в періоді

падаючої швидкості сушки, в періоді прогріву полотна після клеїльного пресу, в досушуючій групі після клеїльного пресу - $\overline{t_{впi}} = \overline{t_i} - 3$.

- Визначаються відносні величини відкритих бокових ($Y_{вб}$) і торцьових ($Y_{вт}$) поверхонь сушильних циліндрів, питома величина відкритої поверхні полотна ($Y_{вп}$), відносна величина променевипромінюючої поверхні циліндрів ($Y_{пц}$);

- Визначаються числа Рейнольдса і Нуссельта та коефіцієнти тепловіддачі на бокових та торцьових поверхнях сушильних циліндрів і на ділянках вільного пробігу полотна; конвективні густини теплового потоку передачі теплоти до повітря на відкритих поверхнях: полотна ($q_{пi}$), циліндра бокової поверхні ($q_{бi}$), циліндра торцьової поверхні ($q_{тi}$); густину променевого теплового потоку передачі теплоти від поверхонь торців циліндрів ($q_{птi}$);

- Визначаються коефіцієнти збереження теплоти - $\eta_{цi} = 1 - \frac{Y_{вб}q_{бi} + Y_{вт}q_{тi} + Y_{пц}q_{птi}}{q_i}$.

- Визначаються коефіцієнти використання теплоти - $\psi_i = 1 - \frac{Y_{вп}q_{пi}}{q_i}$.

Символ 7 – визначення потоків теплоти, що сприймаються полотном, та необхідної кількості сушильних циліндрів.

a). до клеїльного пресу

- Потік теплоти, що сприймається полотном, кВт:

- в періоді прогріву - $Q_{пр} = \frac{1}{\psi_{пр}} \frac{G_{ac}}{3600} [(c_{вол} + 4,19 \cdot 0,9U_H)(t_1 - t_o) + 0,1U_H(h''_{пр} - 4,19t_o)]$;

- в періоді постійної швидкості сушки -

$$Q_I = \frac{1}{\psi_I} \frac{G_{ac}}{3600} [(c_{вол} + 4,19U_{крI})(t_3 - t_1) + (0,9U_H - U_{крI})(h''_{I,1} - 4,19t_1)]$$

- в періоді падаючої швидкості сушки -

$$Q_{II} = \frac{1}{\psi_{II}} \frac{G_{ac}}{3600} [(c_{вол} + 4,19U'_K)(t_4 - t_3) + (U_{крI} - U'_K)(h''_{II} - 4,19t_3)]$$

- Кількість циліндрів в періоді прогріву полотна - $n_{пр} = Q_{пр} \cdot 10^3 / q_{пр} \pi DB_H \varphi_{ц}$.

- Кількість циліндрів 3 парової групи, на яких відбувається сушка з постійною швидкістю - $n_{1,3} = n_{3м} - n_{пр}$.

- Потік теплоти, що сприймається полотном в періоді постійної швидкості сушки на циліндрах 3 групи, кВт - $Q_{1,3} = q_{1,3} \pi DB_H \varphi_{ц} \cdot 10^3$.

- Потік теплоти, що сприймається полотном в періоді постійної швидкості сушки на циліндрах 2 групи, кВт - $Q_{1,2} = Q_I - Q_{1,3}$.

- Кількість циліндрів 2 групи, на яких відбувається сушка з постійною швидкістю - $n_{1,2} = Q_{1,2} \cdot 10^3 / q_{1,2} \pi DB_H \varphi_{ц}$.

- Кількість циліндрів 2 групи, на яких відбувається сушка з падаючою швидкістю - $n_{II,2} = n_{2м} - n_{1,2}$.

- Коефіцієнт, яким враховується збільшення питомої витрати теплоти на випаровування вологи в періоді падаючої швидкості сушки -

$$m_r = \frac{[r_{II} + \frac{(c_{вол} + 4,19U'_K)(t_4 - t_2)}{(U_{крI} - U'_K)}] \Psi_I}{r_{1,2} \Psi_{II}}$$

- Густина теплового потоку на циліндрах 1 групи в періоді падаючої швидкості сушки, Вт / м² - $q_{п,1} = q_{1,1} m_r z_1$.

- Загальна кількість циліндрів в 2 і 1 групах в періоді падаючої швидкості сушки - $n_{II} = Q_{II} / q_{п,1} \pi DB_H \varphi_{ц}$.

- Коефіцієнт, яким враховуються погіршення умов сприйняття теплоти в періоді падаючої швидкості сушки на циліндрах 2 групи - $z_2 = f(n_{II,2} / 2 n_{II})$.

- Густина теплового потоку на циліндрах 2 групи в періоді падаючої швидкості сушки, Вт / м² - $q_{II,2} = q_{I,2} m_r z_2.$

- Потік теплоти, що сприймається полотном на циліндрах 2 групи в періоді падаючої швидкості сушки, кВт - $Q_{II,2} = q_{II,2} n_{II,2} \pi DB_n \varphi_{II} \cdot 10^{-3}.$

- Кількість циліндрів 1 групи, на яких відбувається сушка з падаючою швидкістю - $n_{II,1} = n_{II} - n_{II,2}.$

- Потік теплоти, що сприймається полотном в періоді падаючої швидкості сушки на циліндрах 1 групи, кВт - $Q_{II,1} = Q_{II} - Q_{II,2}.$

- Теоретична кількість сушильних циліндрів до клеїльного пресу - $\Sigma n_T = n_{пр} + n_{I,3} + n_{I,2} + n_{II,2} + n_{I,1}.$

- Дійсна кількість сушильних циліндрів до клеїльного пресу - $\Sigma n_d = n_{3M} + n_{2M} + n_{1M}.$
б). після клеїльного пресу

- Потік теплоти, що сприймається полотном на сушильних циліндрах після клеїльного пресу - $Q_{кл} = \frac{2}{(\Psi_{IA} + \Psi_{IIA})} \frac{G_{ac}}{3600} [(c_{вол} + 4,19U_k)(t'_4 - t_{кл}) + (U_{кл} - U_k)(h''_{кл} - 4,19t_{кл})].$

- Потік теплоти, що сприймається полотном на сушильних циліндрах в періоді прогріву після клеїльного пресу - $Q'_{пр} = \frac{1}{\Psi_{IIA}} \frac{G_{ac}}{3600} [(c_{вол} + 4,19U'_I)(t'_1 - t_{кл}) + (U_{кл} - U'_I)(h''_{пр,1} - 4,19t_{кл})].$

- Коефіцієнт, яким враховується збільшення питомої витрати теплоти на випаровування вологи в періоді падаючої швидкості сушки в досушуючій групі -

$$m'_r = \frac{[r'_{II} + \frac{(c_{вол} + 4,19U_k)(t'_4 - t'_1)}{(U'_I - U_k)}] \Psi_I}{r_{I,1} \Psi_{II}}.$$

- Густина теплового потоку на активній поверхні циліндрів в досушуючій групі -

$$q_{дос} = K[0,5(t_{нIA} + t_{нIB}) - 0,5(t'_1 + t'_4)] m'_r z_d,$$

де $z_d = 0,3$ – коефіцієнт, що враховує погіршення умов срийняття теплоти полотном у досушуючій групі.

- Необхідна кількість сушильних циліндрів у групі прогріву після клеїльного пресу -

$$n'_{пр} = Q'_{пр} \cdot 10^3 / q'_{пр} \pi DB_n \varphi_{II}.$$

- Необхідна кількість сушильних циліндрів у досушуючій групі після клеїльного пресу -

$$n_{дос} = (Q_{кл} - Q'_{пр}) / q_{дос} \pi DB_n \varphi_{II}.$$

- Теоретична кількість сушильних циліндрів після клеїльного пресу - $\Sigma n'_T = n'_{пр} + n_{дос}.$

- Дійсна кількість сушильних циліндрів після клеїльного пресу -

$$\Sigma n'_d = n_{3AM} + n_{3BM} + n_{1AM} + n_{1BM}.$$

Символ δ – порівняння теоретичної та дійсної кількості сушильних циліндрів.

- Якщо $\Sigma n_T \neq \Sigma n_d$ і (або) $\Sigma n'_T \neq \Sigma n'_d$, то необхідно повернутися до символу 4, змінити параметри гріючої пари P_{1i} і розрахунки повторити.

Символ 9 – визначення витрат пари на сушку.

- Потік теплоти, кВт, що підводиться у 3-ю сушильну групу - $Q_3 = (Q_{пр} + Q_{I,3}) / \eta_3.$

- Потік теплоти, кВт, що підводиться у 2-у сушильну групу - $Q_2 = (Q_{I,2} + Q_{II,2}) / \eta_2.$

- Потік теплоти, кВт, що підводиться у 1-у сушильну групу - $Q_1 = Q_{II,1} / \eta_1.$

- Потік теплоти, кВт, що підводиться у групи прогріву після клеїльного пресу -

$$Q_{3AB} = Q'_{пр} / \eta_{3AB}.$$

- Потік теплоти, кВт, що підводиться у досушуючі групи після клеїльного пресу –

$$Q_{1AB} = (Q_{кл} - Q'_{пр}) / \eta_{1AB}.$$

- З урахуванням прийнятої частки пролітної пари x_i спочатку визначаються ентальпії пароконденсатної суміші для всіх груп сушильних циліндрів, кДж/кг - $h_{cmi} = h_i' + x_i r_i$, а потім - витрати пари на кожну групу, т/год - $D_i = 3,6Q_i(h_i'' - h_{cmi})$.

- Визначаються витрати пролітної пари по групах сушильних циліндрів, т/год -

$$D_{pri} = x_i D_{pi}.$$

- Визначається тиск у водовідділювачах груп сушильних циліндрів P_{2i} , який приймається на 0,05 МПа нижче від тиску гріючої пари на ці групи, а потім - ентальпії конденсату - $h_{1i}' = f(P_{1i})$ і $h_{2i}' = f(P_{2i})$ та теплота фазового переходу $r_{2i} = f(P_{2i})$.

- Визначаються витрати конденсату, що надходить у водовідділювачі груп, G_{ki} , т/год; витрати парів самокипіння у водовідділювачах груп, т/год - $D_{самі} = G_{ki}(h_{1i}' - h_{2i}') / r_{2i}$; витрати парів з сепараторів (водовідділювачів) - $D_{сепі} = D_{pri} + D_{самі}$; витрати свіжої гріючої пари з паропроводу на групи сушильних циліндрів $D_{сві}$, т/год, і сумарну витрату свіжої гріючої пари на машину, т/год - $D_{св} = \sum D_{сві}$.

Тестування розробленої методики було здійснено на одній з картоноробних машин Київського картонно-паперового комбінату, переведеної на виробництво гофрованого паперу, питомою масою полотна $g = 125 \text{ г / м}^2$ з його шириною на накаті $B_n = 4,25 \text{ м}$, при швидкостях машини 350, 370, 380, 390, 400 м / хв.

За основу розрахунків був взятий температурний графік сушки гофрованого паперу (рис. 2). Побудова графіка виконана за результатами експериментальних вимірів температур полотна на вході і виході кожного з 93 сушильних циліндрів за допомогою переносного оптичного пірметра «АГЕМА»

Отримані в результаті розрахунків тиски гріючої пари по групах сушильних циліндрів наведені в табл.1.

На рис. 3 наведені розрахункові витрати свіжої гріючої пари на сушку. Для можливості співставлення розрахункових даних з експериментальними, що отримані на КРМ при сушці паперу і картону, були визначені розрахункова і експериментальна продуктивності машини на абсолютно суху масу $G_{ас}$. З наведених даних видно, що результати розрахунків задовільно співпадають з експериментом. Наприклад, середня питома витрата пари на 1 т продукції за розрахунковими даними складає 2,06 т / т, а за експериментальними - біля 2,10 т / т.

Висновки

1. Виконані експериментальні виміри температур полотна паперу, за результатами яких побудований фактичний температурний графік сушки при швидкостях машини 318 – 350 м/хв.

2. Запропоновані для практичного використання при автоматизованому тепловому розрахунку сушильної частини картоноробних машин методика та пакет програм, що дозволяють при наявній кількості сушильних циліндрів визначати тиски та витрати гріючої пари у залежності від асортименту продукції та швидкості машини.

3. Для картоноробної машини з клеїльним пресом (93 сушильних циліндрів), переведеної на сушку гофрованого паперу, за розробленою методикою визначені тиски гріючої пари по групах сушильних циліндрів, а також витрати свіжої гріючої пари на машину. Розрахункові дані задовільно співпадають з результатами експериментальних досліджень.

Автори:

Панов Є.М.

Коваль С.М.

Боженко М.Ф.

Яковина О.П.

Овсянніков М.П.

Коржик М.В.

Виправлений текст статті переданий Діденку Є.І. 9.02.07 р.

