

УДК 62-97; 519.876.5

ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ БАРАБАННОЇ ТРУБИ ТА БАНДАЖУ ПРИ РОБОТІ СУШИЛЬНИХ АГРЕГАТІВ*Григорчук Г. В., Григорчук Л. І.**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна, 76019; тел. (03422)4-60-67*

Розглядається задача розрахунку оптимальної конструкції барабанної конвективної сушарки і бандажу, що дозволяє ефективно вирішувати проблему її комплексної роботи. Розв'язується задача підбору такої товщини шару бандажу, що дозволяє задовольняти певним міцнісним характеристикам, що є необхідними для уникнення руйнування шару бандажу, а також вибору матеріалу бандажу у стикі з трубою, який би дозволив компенсувати відповідні термічні напруження, що виникають в матеріалі труби в зонах значних температурних градієнтів.

Ключові слова: бандаж, напруження, температурні перепади, деформація, механічні характеристики матеріалу труби, агрегати, труба.

Рассматривается задача расчета оптимальной конструкции барабанной конвективной сушки и бандажа что позволяет эффективно решать проблему ее комплексной работы. Решается задача подбора такой толщины слоя бандажа которая позволяет удовлетворить определенные прочностные характеристики. Это необходимо для избежания разрушения бандажа и позволяет выбрать материал бандажа в стыке с трубой для компенсации соответствующих термических напряжений, возникающих в материале трубы в зонах значительных температурных градиентов.

Ключевые слова: бандаж, напряжения, температурные перепады, деформация, механические характеристики материала трубы, агрегаты, трубы.

The drum convective dryer and bandage optimal construction calculation problem is considered, which allows to receive the effective solution of one's combined work problem. The task of choosing the such value of bandage layer thickness is solved to satisfy the defined strength characteristics it allows to prevent the bandage layer destroying and to choose the bandage material for the compensation of thermal stresses, which appears in the pipe material in the great temperature gradients zones.

Key word: bandage, stresses, temperature gradients, deformation, pipe material mechanical characteristics, pipe, equipment.

Вступ. Теплове сушіння це процес видалення вологи з твердих матеріалів шляхом її випаровування та відводу парів які виникають. Типові апарати можна використовувати для сушіння різних продуктів, подібних за своїми структурно-механічним властивостями, але різняться хімічним складом, змістом вологи, її зв'язком із матеріалом, припустимою температурою нагріву і часом сушіння. Тому вибір сушильного апарату у кожному даному випадку визначається розрахунком.

Усередині барабана встановлюють насадки, конструкція яких залежить від властивостей висушуваного матеріалу. З боку завантажувальної камери багатозамочна гвинтова насадка, з числом спіральних лопатей від шести до шістнадцяти залежно від діаметру барабана. При сушці матеріалу з великою адгезією до поверхні на початковій ділянці

останнього закріплюють ланцюги, за допомогою яких руйнують камки і очищають стінки барабана. Для цієї ж мети можуть застосовувати ударні пристосування, розташовані із зовнішньої сторони барабана.

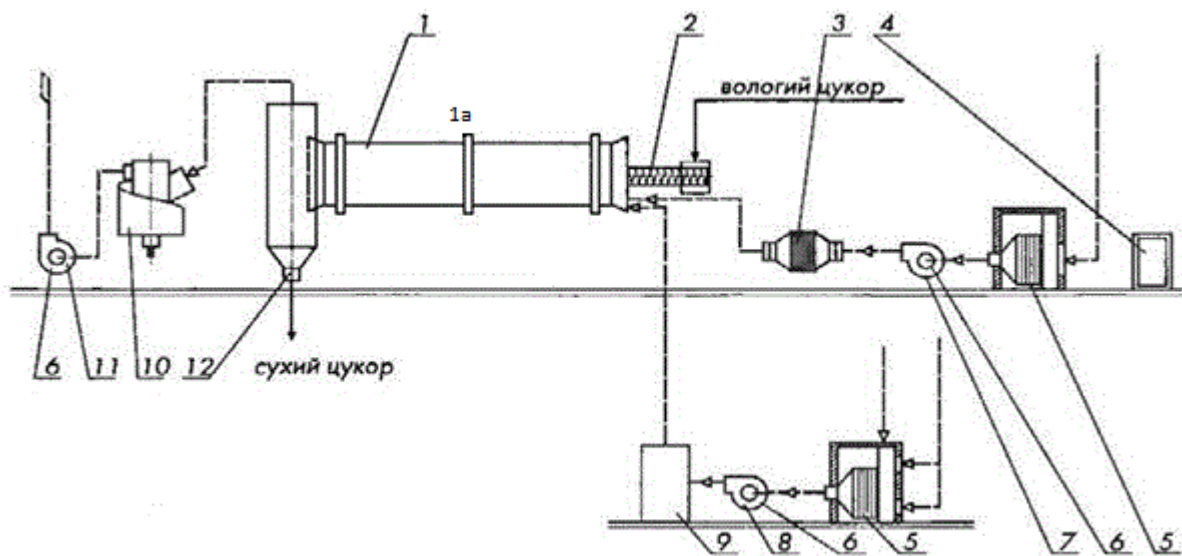
У сушарках діаметром 1000 – 1600 мм для матеріалу з хорошою сипучістю і середнім розміром частинок до 8 мм встановлюють секторну насадку. У тих же сушарках, для матеріалів, що володіють підвищеною адгезією або сипких матеріалів з середнім розміром частинок більше 8 мм встановлюють підйомний – лопатеві пристрої. У сушарках діаметром 1000 – 3500 мм для матеріалів схильних до налипання, але оновлюючих сипкі властивості в процесі сушки, спочатку встановлюють підйомний – лопатеві перевалочні пристрої, а потім секторні насадки.

Більшість цукрових заводів обладнано одно-барабанными сушильно-охолоджуючими

установками. Принципова схема одно-барабанної сушки для сушки цукру представлена на рис. 1,а для сушених цукру. Принцип роботи одно-барабанної сушки полягає в наступному. Вологий цукор подають в сушильний барабан, що опирається бандажами на дві пари роликів, нахилений під кутом до горизонту не більше ніж 4° за напрямом пересування цукру й обертається з частотою не більше ніж 4 оберти за хвилину. Вологий цукор сушать очищеним у фільтрі і нагрітим у калорифері повітрям, яке подається шнеком 2. В вихідному патрубку через вісь встановлюють заслінку з противагою. При виході цукру заслінка під його вагою відхиляється вниз і пропускає цукор. Під час

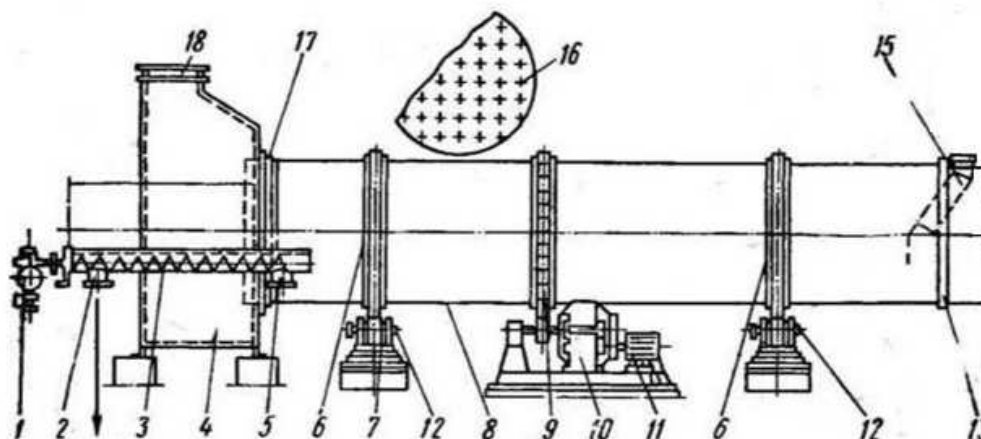
припинення виходу цукру заслінка під дією противаги закриває вихідний патрубок, попереджаючи засмоктування повітря в апарат. Висушений цукор з протилежного кінця надходить в охолоджувальний барабан.

Принцип роботи жомосушильного барабана зображеного на рис.2 наступний. Пресований жом по лотку надходить на гвинтовій лопаті і далі на систему насадок, де рівномірно розподіляється по полицях. При обертанні жом пересипається з однієї насадки на іншу просувається до розвантажувальної камери і висушується. З розвантажувальної камери сушений жом виводиться шнеком через патрубок [1-3].



1 - Сушильно-охолоджувальний барабан; 1а – бандаж; 2 – шнек завантаження вологого цукру; 3 – калорифери; 4 – система управління обладнанням; 5 – масляні самоочисні фільтри; 6 – напрямні апарати; 7 – вентилятор подачі гарячого повітря; 8 – вентилятор подачі холодного повітря; 9 – кондиціонер для охолодження повітря; 10 – вихровий уловлювач цукрового пилу; 11 – вентилятор затягування відпрацьованого повітря; 12 – вивантаження цукру.

Рисунок 1 – Одно-барабанна сушильно-охолоджуюча установка.



1 — привід шнека; 2 і 5 — патрубки; 3 — шнек; 4 — розвантажувальна камера; 6 — бандаж; 7 — опірний ролик; 8 — корпус; 9 — зубчастий вінець; 10 — редуктор; 11 — електродвигун; 12 — опірний ролик; 13 і 17 — ущільнення; 14 — вихідний отвір топки; 15 — лоток для завантаження; 16 — хрестоподібні насадки; 18 — штуцер.

Рисунок 2 – Барабанный жомосушительный аппарат.

Однією з основних вимог, що висуваються сушкам, є забезпечення повного збереження продукту, а в необхідних випадках і поліпшення якості продукту. У зв'язку з цим, конструкція сушки повинна, передусім, забезпечувати рівномірне нагрівання і сушіння матеріалу при надійному контролі температури і вологості їх у процесі сушіння. У цьому були б неможливими втрати речовини, пов'язані з його виносом і із відпрацьованим агентом сушіння. Реалізацію цих заходів можна здійснити за рахунок нових конструкційних рішень, автоматизованих методів розрахунку, перспективних матеріалів підвищеної міцності, нових економічних профілів прокату тощо. Поставимо завдання розрахунку оптимальної конструкції барабанної конвективної сушки (для сушіння цукрового піску і жому) і бандажу, що є одним з основних засобів довготривалої роботи механізмів і дозволяє ефективно вирішувати проблему її комплексної переробки. Бандажі служать передачі тиску ваги всіх обертових частин апарату на опорні ролики. Бандажі є кільця прямокутного перерізу. У барабанній сушці застосовується вільне кріплення бандажів через можливе значне теплове розширення барабана. Бандаж надрягається не на кожух барабана а безпосередньо на прокладку, а віддалі від однієї до трьох прокладок 10... 20 мм кожна, що утворюють кільця жорсткості, що не допускає пом'яття кожуха у місцях опори. Підбором товщини регулюючих прокладок досягається суміщення центрів барабана і бандажа [1,2].

Виникає задача підбору такої товщини шару бандажу, який з однієї сторони, дозволяє задовольняти певним міцністним характеристикам, що є необхідними для

уникнення руйнування шару бандажу, а також вибору матеріалу бандажа, який би дозволив компенсувати відповідні термічні напруження, що виникають в матеріалі труби в зонах значних температурних градієнтів.

Розглянемо трубу сушильного агрегату з внутрішнім радіусом $R_в = a$, та зовнішнім радіусом $R_з = b_1$, яка працює в умовах змішаних температурних режимів з метою компенсації температурних деформаційних ефектів при використанні бандажування зони значних температурних перепадів. На внутрішню трубу накладається бандаж деякої товщини - фактично і одержуємо зовнішню трубу, якою моделюється шар бандажу. Нехай внутрішній радіус цієї зовнішньої труби $R_в = a_2$, а зовнішній – відповідно b_2 . Виникає питання підбору такої товщини шару бандажу, який дозволяє задовольняти певним міцністним характеристикам зовнішньої та внутрішньої сторони сушильного агрегату, що є необхідними для уникнення руйнування шару бандажу, а також вибору матеріалу бандажа, який би дозволив компенсувати відповідні термічні напруження, що виникають в матеріалі труби в зонах значних температурних градієнтів. Для вирішення вказаної задачі, яка є актуальною для діючих агрегатів, на цукрових заводах використовується підхід, описаний в класичній монографії [4], при розгляді напружено-деформованого стану складеної труби - коли на трубу зовнішнім радіусом b_1 насаджується з використанням, наприклад, попереднього підігріву, труба з внутрішнім радіусом a_2 , причому $b_1 > a_2$. В такому випадку

утворюється система із суттєвими внутрішніми напруженнями.

Для опису напружень в такій складеній трубі: розглядається дві труби (зовнішня та внутрішня) окремо, а взаємний вплив цих труб одної на іншу описується дією деякого фіктивного тиску \mathcal{P} . При цьому для обох труб використовуються результати розв'язання класичної задачі Ламе.

Зокрема, в стінці внутрішньої труби $R_1 = a_1; R_2 = b_1; P_a = 0; P_{b_1} = \mathcal{P}$, і для кільцевих напружень справедлива формула

$$P_{\theta\theta} = -\mathcal{P} \frac{b_1^2}{b_1^2 - a_1^2} \left(1 + \frac{a_1^2}{r^2} \right) \quad (1)$$

а для стінки зовнішньої трубки $P_{a_2} = \mathcal{P}; P_{b_2} = 0$ формула (1) набуває вигляду

$$P_{\theta\theta} = -\mathcal{P} \frac{a_2^2}{b_2^2 - a_2^2} \left(1 + \frac{b_2^2}{r^2} \right) \quad (2)$$

Для визначення величини фіктивного тиску \mathcal{P} прирівнюємо зовнішній радіус першої труби (елементи конструкції сушильного агрегату) та

$$\mathcal{P} = \frac{b_1 - a_2}{\left[\frac{b_1^2}{2(b_1^2 - a_1^2)} \left(\frac{b_1^2}{\lambda + \mu} + \frac{a_1^2}{\mu} \right) + \frac{a_2^2}{2(b_2^2 - a_2^2)} \left(\frac{a_2^2}{\lambda_1 + \mu_1} + \frac{b_2^2}{\mu_1} \right) \right]} \quad (5)$$

Зрозуміло, що $b_1 > a_2$ величина \mathcal{P} є додатною. В іншому випадку

$$\begin{cases} b_1 = b_1^0 (1 + \alpha \Delta T) \\ a_2 = a_2^0 (1 + \alpha_1 \Delta T) \end{cases} \quad (6)$$

Де ΔT - температурний перепад, $b_1^0; a_2^0$ - початкові значення відповідних радіусів; α - коефіцієнт лінійного теплового розширення матеріалу труби; α_1 - коефіцієнт лінійного теплового розширення матеріалу бандажа. При різних значеннях α та α_1 ($\alpha > \alpha_1$) внутрішні напруження виникають навіть за умови $b_1^0 = a_2^0$, тобто коли зовнішній радіус труби і внутрішній радіус бандажу співпадають. Після знаходження величини тиску \mathcal{P} з урахуванням (6) компоненти напружень, що виникають на частинах труби під дією фіктивного тиску \mathcal{P} обчислюються за формулою:

$$P_{\theta\theta T} = -\frac{b_1^2 \mathcal{P}}{b_1^2 - a_1^2} \left(1 + \frac{a_1^2}{r^2} \right) \quad (7)$$

тобто, за наявності бандажу додаткові напруження $P_{\theta\theta T}$ є від'ємними, і наявність бандажу обумовлює послаблення напруженого

внутрішній радіус другої труби (шару бандажу) після деформації, внаслідок дії температурного перепаду. І отримуємо відповідну рівність:

$$b_1 + w_1(b_1) = a_2 + w_2(a_2) \quad (3)$$

Розглянемо випадок коли вказаний об'єкт (сама труба та шар бандажу) зроблені із різного матеріалу. З рівності (3) одержується рівняння для знаходження величини фіктивного тиску \mathcal{P} :

$$\begin{aligned} b_1 + \frac{-b_1^3 \mathcal{P}}{2(\lambda + \mu)(b_1^2 - a_1^2)} - \frac{\mathcal{P} a_1^2 b_1^2}{2\mu(b_1^2 - 4a_1^2)b_1} = \\ = a_2 + \frac{a_2^3 \mathcal{P}}{2(\lambda_1 + \mu_1)(b_2^2 - a_2^2)} - \frac{\mathcal{P} a_2^2 b_2^2}{2\mu_1(b_2^2 - a_2^2)a_2} \end{aligned} \quad (4)$$

Де $\lambda, \mu, \lambda_1, \mu_1$ - параметри Ламе для матеріалу труби та матеріалу бандажу (індекс "1") та для матеріалу бандажу (індекс "2"). Із залежності (4) одержуємо

стану основної труби внаслідок дії температурного градієнту, причому температурний перепад входить в (7) з урахуванням (6). Для визначення відповідного рівня товщини бандажу використовується наступний підхід: згідно з (5), (6) кільцеві напруження $P_{\theta\theta B}$ оцінюються згідно [4] за формулою:

$$P_{\theta\theta B} = \frac{a_2^2 \mathcal{P}}{b_2^2 - a_2^2} \left(1 + \frac{b_2^2}{r^2} \right) \quad (8)$$

де a_2 та b_2 - відповідно внутрішній та зовнішній радіус шару бандажу. Враховуючи те що $P_{\theta\theta B}$ мало змінюється по радіусу r . Проведемо осереднення $P_{\theta\theta B}$ по товщині стінки шару бандажу, використовуючи формулу з [5]:

$$f_c = \frac{1}{b-a} \int_a^b f(r) dr \quad (9)$$

де f_c - інтегроване середнє функції f по відрізьку $[a; b]$. Підставляючи залежність (8) в (9) одержуємо:

$$P_{\theta\theta}^c = \frac{1}{b_2 - a_2} \cdot \frac{a_2^2 \mathcal{P}}{b_2^2 - a_2^2} \int_{a_2}^{b_2} \left(1 + \frac{b_2^2}{r^2} \right) dr \quad (10)$$

Проводячи інтегрування (10) одержуємо :

$$\begin{aligned} P_{\theta\theta}^c &= \frac{a_2^2 \mathcal{P}}{b_2^2 - a_2^2} + \frac{a_2^2 \mathcal{P}}{b_2^2 - a_2^2} \cdot \frac{b_2}{a_2} = \\ &= \frac{a_2^2 \mathcal{P}}{b_2^2 - a_2^2} \cdot \left(1 + \frac{b_2}{a_2} \right) = \frac{a_2 \mathcal{P}}{b_2 - a_2} \end{aligned} \quad (11)$$

Таким чином, ми можемо сказати, що найбільш небезпечні кільцеві напруження які можуть обумовити розрив або тріщини в бандажі оцінюються за формулою:

$$P_{\theta\theta}^c = \frac{a_2 \mathcal{P}}{b_2 - a_2} \quad (12)$$

причому величина \mathcal{P} обчислюється за (5) з урахуванням R_M температурних перепадів (6), термічних напружень та властивостей матеріалів труби та шару бандажу. Всі ці параметри явно або неявно входять в (5) та (6). Залежність (12) за своєю структурою аналогічна котельній формулі [6] для розрахунку кільцевих напружень матеріалі труби діаметром D , товщиною стінки δ під дією тиску P .

$$\sigma_{\kappa\kappa} = \frac{DP}{2\delta} \quad (13)$$

яка широко використовується в нормативних документах по спорудженню, проектуванню та контролю технічного стану магістральних трубопроводів [6]. Записуючи формулу (12) у вигляді:

$$b_2 - a_2 = \delta = \frac{a_2 \mathcal{P}}{P_{\theta\theta}^c} \quad (14)$$

можна визначити товщину шару бандажу, яка дозволяє усунути його розтріскування або руйнування.

Отже для визначення товщини шару бандажу, що дозволить уникати руйнівних елементів потрібно знати:

-зовнішній радіус труби, на яку наноситься бандаж;

-величину \mathcal{P} , обчислену за (5), (6), яка залежить від механічних характеристик матеріалу труби та бандажу $\lambda, \mu, \lambda_1, \mu_1$; лінійних розмірів труби та шару бандажу a_1, b_1, a_2, b_2 , а також температурного перепаду ΔT та коефіцієнтів лінійного теплового розширення труби та бандажу α та α_1 - критичні значення механічних напружень, якими характеризується матеріал бандажу – наприклад його межа пружності $P_{пр}$ або межа текучості P_T [3].

Висновки. Результати дослідження об'єднаємо і отримаємо наступні можливості розв'язати такі задачі:

-оцінити напружений стан роботи сушильного агрегату труби та відповідного шару бандажу за відомими формулами а саме [4], в яких використовується визначене значення фіктивного тиску \mathcal{P} ;

-оцінити характеристики (матеріал та товщина) шару бандажу, закріпленого на трубі який необхідний для його надійного сушильного агрегату.

Для проведення розрахунків на реальних об'єктах необхідно мати інформацію про наступні параметри:

-геометричні характеристики елементів конструкції технологічного устаткування в цукровій промисловості;

-геометричні характеристики шару бандажу;

-фізико-механічні властивості матеріалу діючого обладнання та матеріалу з якого виготовлено бандаж (параметри Ламе, коефіцієнти лінійного температурного розширення, межі текучості або перервності матеріалів);

-температурні режими експлуатації обладнання – характерні температури та їх перепади.

Для підвищення експлуатаційної надійності агрегатів сушки цукру та жому, що експлуатуються в цукровій промисловості дослідимо вказані характеристики в наступних експериментальних умовах.

1 Д. О. Ковалюк *Моделирование теплотехнических объектов с распределенными параметрами* – Д. О. Ковалюк, С. М. Москвіна – монографія, Вінниця; ВНТУ- 2010-182с.

2 Штангеев К.О. *Сушка цукру та жому в бурякоцукровій галузі / Штангеев К.О./ Київ 2015 © ЮНІДО 2015.*

3 Лебедев П.Д. *Расчет и проектирование сушильных установок.*/М.–Л.: Госэнергоиздат, 1962.–320 с.

4 Седов Л.И. – *Механика сплошных сред.* - /Л.И.Седов – М.: Наука 1984-572с

5 Зорич В.А. *Математический анализ, Т.1-* /В.А.Зорич-М.:Наука,1981-6 544с.

6 СНаП 2.05.06-85 *Магистральные трубопроводы-М.ЦИТП Госстроя СССР,1999-125с.*

Поступила в редакцію 12.05.2018 р.

Рекомендували до друку: докт.техн.наук, проф. Райтер П. М., докт. техн. наук, проф. Олійник А. П.