

В.А. Побігайло, доцент, к.т.н., ORCID 0000-0003-2673-7329

С.В. Зайченко, проф. д-р, ORCID 0000-0002-8446-5408

Н.О. Жукова, доцент, к.т.н., ORCID 0000-0002-4215-6981

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

В.О. Шаленко, доцент, к.т.н., ORCID 0000-0002-6984-0302

Київський національний університет будівництва і архітектури

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМУ ПРИВОДУ МОТОР-БАРАБАНА СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА

В роботі представлено методику розрахунку максимальної потужності приводу конвеєра за умови максимальної температури нагріву елементів. Для дослідження теплового режиму приводу обрано привод за схемою мотор-барaban. Особливістю даного приводу є відсутність вентилятора і повітряного охолодження що може призвести до його перегріву. Основними складовими, які генерують теплову енергію є асинхронний двигун з коротко замкнутим ротором і редуктор. Простір мотор-барабана заповнено робочою рідиною, яка виконує функції мащення і охолодження складових системи. Аналіз конструкції приводу мотор-барабана дозволив встановити кількісні характеристики джерел теплового випромінювання окремих складових приводу з врахуванням особливостей взаємодії складових елементів. Кількісні характеристики джерел теплового випромінювання окремих складових приводу дозволили встановити взаємні впливи різних частин об'єкту дослідження на його температурний стан. Рівняння теплового балансу застосовано за умови рівномірного розподілу теплового поля по поверхні елементів приводу. Рівняння теплового балансу системи мотор-барaban-оточує середовище дозволяє визначити межові значення потужності приводу при відомих геометричних параметрах системи. Для визначення повного коефіцієнту теплопередачі системи робоче середовище-барaban-оточуюче середовище використані коефіцієнти конвективного теплообміну між робочим середовищем і стінкою барабана та стінкою барабана і оточуючим середовищем. Аналіз отриманих даних свідчить про суттєве обмеження необхідної потужності приводу. Обмежена потужність приводу не дозволяє застосовувати даний вид приводу для конвеєрів великої довжини. Підвищення потужності приводу за даною схемою можливо забезпечити шляхом примусового охолодження робочої рідини або зміни конструкції приводу шляхом збільшення поверхні, що контактує з робочим середовищем.

Ключові слова: конвеєр, мотор-барaban, потужність приводу, температура, повний коефіцієнт теплопередачі

Вступ. Великі можливості підвищення продуктивності праці, зниження собівартості продукції, а також створення сприятливих умов для комплексної механізації та повної автоматизації транспортних процесів на виробничих підприємствах відкриває застосування потокових видів транспорту, в основному конвеєрного. Із існуючих типів конвеєрів найбільшого поширення набули стрічкові конвеєри традиційної конструкції. Вони є основним засобом безперервного транспорту в основних галузях виробництва України.

Характерною тенденцією сучасного розвитку стрічкових конвеєрів в Україні і світі є значне збільшення їхньої продуктивності, довжини та потужності. Це збільшенням вантажопотоків і довжини транспортування. Так для забезпечення сучасних шахтних та кар'єрних вантажопотоків вітчизняною промисловістю випускаються конвеєри продуктивністю до 5000-6000 м³/год. На гірських підприємствах України експлуатуються конвеєрні лінії довжиною 3 км і більше, а світовій практиці відомі конвеєрні лінії довжиною понад 100 км при довжині одного конвеєра 8-10 км[1-4].

Системи приводів є базовими системами стрічкових конвеєрів. Різноманітність трас конвеєрів, що перевозяться вантажів призвело до появи широкого спектра різноманітних типів приводів та їх конфігурацій. Кожному з цих типів відповідає власний метод проектування та специфічні обмеження застосування. Для української промисловості найбільшого розповсюдження знайшли приводи з рознесеною редукторною компоновкою: електродвигун, редуктор, барaban. Про те дана компоновка має свої недоліки, до основних з яких необхідно віднести:

- Великі габарити;
- Низький коефіцієнт корисної дії;
- Високий рівень шуму;
- Металоємність конструкції.

Поряд з цим, набуває більшого поширення в промисловості різноманітні конструкції мотор-барабанів. Данні схеми приводу конвеєрів позбавлені вказаних недоліків. Мотор-барaban є

альтернативним типом приводу стрічкового конвеєра, відмінним від редукторної схеми. Мотор-барабан є відрізком труби, закритим з обох кінців кришками, всередину якого вміщено електродвигун і редуктор. Сам виріб встановлюється нерухомо на цапфи підшипники, при цьому барабан при подачі на нього живлення обертається в нерухомих цапфах. Особливість конструкції даного приводу забезпечують ряд переваг:

- Довгий термін служби;
- Простий монтаж;
- Висока енергоефективність;
- Високий коефіцієнт корисної дії;
- Низька вартість володіння;
- Низький рівень шуму;
- Компактність;
- Підвищений захист від впливу агресивного середовища;
- Низький знос.

Дані переваги привели до широкого застосування мотор-барабанів для конвеєрів харчової і торговельної промисловості. Але слід відмітити, що потужність даних приводів обмежується сотнями Вт, що не викликає проблем, що до охолодження складових елементів. Разом з цим, застосування даної компоновки для приводів великої потужності при певних умовах може призвести до перегріву елементів, зокрема ущільнень, ізоляції, підшипників і швидкого виходу з працездатного і справного станів[5-6].

При вирішенні задачі забезпечення надійної роботи приводу мотор-барабану стрічкового конвеєра для випадків реалізації великої потужності необхідно розглянути процеси теплоутворення і тепло переносу системи: мотор-барабан-оточує середовище. Таким чином для визначення теплового стану об'єкта необхідно проаналізувати цілий комплекс теплових втрат для окремих складових приводу і на основі встановлених даних створити рівняння теплового балансу системи: мотор-барабан оточує середовище. Детальний розгляд системи дозволить мінімізувати теплові витрати приводу, що дозволить знизити температуру привода в цілому.

Мета і завдання дослідження. Метою даного наукового дослідження є розробка нової методики визначення температурного режиму приводу мотор-барабану стрічкового конвеєра на основі аналізу комплексу теплових втрат для окремих складових приводу і розгляду рівняння теплового балансу системи: мотор-барабан оточує середовище.

Для досягнення поставленої мети у роботі вирішувались наступні задачі:

- Розробка структурної схеми джерел теплового випромінювання окремих складових приводу мотор-барабану стрічкового конвеєра з врахуванням особливостей взаємодії складових елементів, що дозволить встановити взаємні впливи різних частин об'єкту дослідження на його стан;
- Створити рівняння теплового балансу системи: мотор-барабан оточує середовище;
- Встановити рекомендації, що до мінімізувати теплові дії на елементи приводу, що дозволить знизити температуру привода в цілому.

Матеріал і результати дослідження. При розробці структурної схеми джерел теплового випромінювання окремих складових приводу мотор-барабану стрічкового конвеєра розглянемо типову конструкцію яка знайшла найбільшого застосування промислових підприємствах України. Прототипом приводних станцій за схемою мотор барабан стала конструкція фірм ВП Трансвугілля та Interroll[1-4, 6-8]. Перетин мотор-барабана даної конструкції представлено на рис. 1. Дана лінійка мотор-барабанів у якості джерела енергії використовує асинхронний двигун з короткозамкненим ротором. На вихідному валу асинхронного барабану розташовано шестерня яка має зчеплення зубчатим колесом. Характерною особливістю даного приводу є відсутність вентилятора і повітряного охолодження. В даному випадку простір мотор-марабана заповнено робочою рідиною, яка виконує функції мащення і охолодження складових системи. Для перетворення крутного моменту можливо використання двох варіантів редукторів: планетарного і циліндричного двохступінчастого, варіант якого зображено на схемі. Для передачі крутного моменту на барабан використовується зубчате колесо з внутрішнім зачепленням. Барабан даної схеми приводу при необхідності може мати оребріння або покритий гумою для кращого зчеплення з гумою. Зі схеми видно, що за певних умов можливе перегрівання елементів приводу з причини недостатнього охолодження.

Розглянемо головні джерела випромінювання теплової енергії. До джерел випромінювання теплової енергії системи мотор-барабан них можна віднести асинхронний двигун і редуктор.

Потужність теплового випромінювання асинхронного двигуна:

$$P_a = \sqrt{3} IU(1 - \eta_a), \quad (1)$$

де I і U – струм і напруга асинхронного двигуна; η_a – коефіцієнт корисної дії асинхронного двигуна з короткозамкнутим ротором.

Залежно від потужності асинхронного двигуна з короткозамкнутим ротором звичайно складає (0,70...0,90). Причому двигуни більшої потужності мають, як правило, кращий номінальний ККД ніж

двигуни малої потужності. Враховуючи, що асинхронного двигуна з короткозамкнутим ротором на виробництві переважно працюють при певному недовантаженні, їх проектують таким чином, щоб мав максимальне значення 0,75.

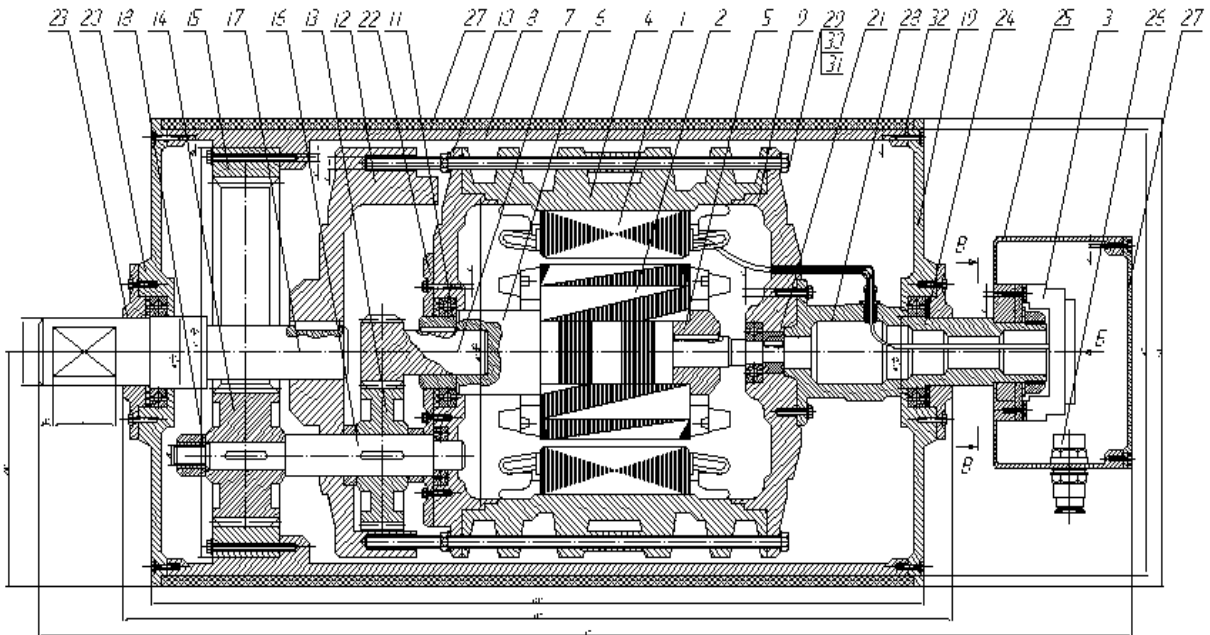


Рисунок 1 – Перетин приводу мотор-барабану стрічкового конвеєра:

1 – Статор; 2 – Ротор; 3 – Клемний зажим; 4 – Станіна; 5 – Втулка ротора; 6 – Вал ротора; 7 – Зубчастий вал; 8 – Корпус барабана; 9 – Передній щит двигуна; 10 – Задній щит двигуна; 11 – Втулка зубчастого валу; 12 – Корпус редуктора; 13 та 14 – Зубчасті колеса; 15 – Зубчастий вінець; 16 – Вал редуктора; 17 – Вал барабану; 18 – Фіксатор; 19 – Передній фланець; 20 – Задній фланець; 21 – Передня кришка двигуна; 22 – Задня кришка двигуна; 23 – Сальник; 24 – Вал наскрізний; 25 – Клемна коробка; 26 – Кабельний ввід; 27 – Підведення; 28 – Пішипник.

Потужність теплового випромінювання редуктора [9]:

$$P_r = \sqrt{3} IU \eta_a \cos \varphi (1 - \eta_r), \quad (2)$$

де η_r – коефіцієнт корисної дії редуктора.

Загальна теплова потужність мотор-барабана:

$$P_b = \sqrt{3} IU ((1 - \eta_a) + \eta_a \cos \varphi (1 - \eta_r)) \quad (3)$$

В стані теплового балансу кількість теплової енергії яка генерується елементами мотор-барабана P_b дорівнює кількості енергії яка випромінюється корпусом оболонки барабана Q_b :

$$P_b = Q_b \quad (4)$$

Енергія яка випромінюється корпусом оболонки барабана Q_b , за умови рівномірного розподілу теплового поля по поверхні елементів приводу:

$$Q_b = K \left(\pi DB + \frac{\pi D^2}{2} \right) (t - t_0), \quad (5)$$

де K – повний коефіцієнт теплопередачі системи робоче середовище-барабан-оточуюче середовище;

D – діаметр барабана; B – ширина барабану; t – температура робочого середовища в середині барабану; t_0 – температура оточуючого середовища (20 – 40°C).

Повний коефіцієнт теплопередачі системи робоче середовище-барабан-оточуюче середовище [10]:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \quad (6)$$

де α_1 і α_2 - коефіцієнти конвективного теплообміну між робочим середовищем і стінкою барабана та стінкою барабана і оточуючим середовищем (900 і 20 $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{°C}}$);

λ – теплопровідність сталеної оболонки 50 $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \text{°C}}$; δ – товщина стінки барабану (0,01-0,02м).

Перетворюючи рівняння 6 повний коефіцієнт теплопередачі системи робоче середовище-барабан-оточуюче середовище 19,7 $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{°C}}$.

Використовуючи отримані залежності 3 і 5 можливо знайти межові значення потужності приводу при відомих геометричних параметрах системи:

$$\sqrt{3} IU = \frac{k \left(\pi D B + \frac{\pi D^2}{2} \right) (t - t_0)}{((1 - \eta_a) + \eta_a \cos \varphi (1 - \eta_r))}, (5)$$

На рис. 2 зображено зміну максимальної потужності приводу, яка забезпечує температуру приводу 80°C для різних типорозмірів приводу, з шириною барабану 1 м і 2 м.

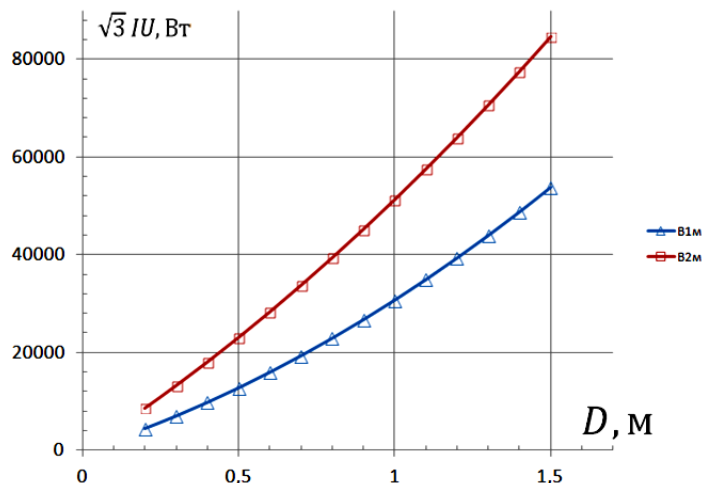


Рисунок 2 – Графік зміни максимальної потужності приводу за умови обмеження по температурі (80°C):

$\Delta \Delta \Delta \Delta$ – ширина барабану 1 м; $\square \square \square \square$ – ширина барабану 2 м

Аналіз отриманих даних свідчить про суттєве обмеження необхідної потужності приводу, що дозволяє застосовувати даний вид приводу для конвеєрів малої довжини. Також у випадку застосування футерованих барабанів коефіцієнт теплопередачі системи суттєво знизиться, що знизить теплопередачу і максимальне значення потужності. Підвищення потужності приводу за даною схемою можливо забезпечити шляхом примусового охолодження робочої рідини.

Висновки

1. На основі аналізу конструкції приводу мотор-барабану встановлено кількісні характеристики джерел теплового випромінювання окремих складових приводу з врахуванням особливостей взаємодії складових елементів, що дозволило встановити взаємні впливи різних частин об'єкту дослідження на його стан;

2. На основі рівняння теплового балансу системи мотор-барабан оточує середовище встановлено межові значення потужності приводу при відомих геометричних параметрах системи. Аналіз отриманих даних свідчить про суттєве обмеження необхідної потужності приводу, що дозволяє застосовувати даний вид приводу для конвеєрів малої довжини. Так для діаметру 1 м і ширині 1 м потужність складає 30758 Вт, що не достатньо для забезпечення руху конвертера довжиною більше 300 м;

3. Підвищення потужності приводу за даною схемою можливо забезпечити шляхом примусового охолодження робочої рідини.

Список використаної літератури

1. Шахмейстер Л. Г., Дмитриев В. Г. Теория и расчет ленточных конвейеров // М.: Машиностроение. – 1987. – Т. 336. – С. 6.4.

2. Визначення впливу зміни проектного положення профілю стрічкового конвеєра на навантаження роликів / А. В. Данілін, С. В. Зайченко, С. П. Шевчук, Н. І. Жукова, І. М. Пасічник // Геоінженерія : науково-технічний журнал. – 2020. – Вип. 3. – С. 20–25.

3. Шевчук С. П., Зайченко С. В., Вапничная В. В. Обоснование массогабаритных параметров роликов ленточных конвейеров по критерию надежности // Перспективы развития восточного Донбасса. – 2016. – с. 221–228.

4. Волошин Г.М. Обґрунтування параметрів конструкції елементів конвеєрних роликів за критерієм енергоефективності // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – 2016. – №. 88. – с. 40–46.

5. Зайченко С. В., Вовк О. О., Шевчук Н. А. Обґрунтування параметрів конструкції елементів конвеєрних роликів за критеріями довговічності // Вісник національного технічного університету України кийський політехнічний інститут. серія: Гірництво. – 2016. – №. 31. – с. 65–73.

6. Hamacher S. The Drum Motor. – Springer Berlin Heidelberg, 2020.
7. Uttrup P. Interroll drum motors: hygienic and energy efficient //Trends in Food Science & Technology. – 2009. – №. 20. – С. S17-S18.
8. Uttrup P. Interroll drum motors: hygienic and energy efficient //Trends in Food Science & Technology. – 2009. – №. 20. – С. S17-S18.
9. Киркач Н. Ф., Баласанян Р. А. Расчет и проектирование деталей машин //Х.: Основа. – 1991.
10. Середюк М. Д., Якимів Й. В., Лісафін В. П. Трубопровідний транспорт нафти і нафтопродуктів//Івано-Франківськ: Кременчук. – 2001. – Т. 517.

Vitaliy Pobigailo, Associate Professor, Ph.D., ORCID 0000-0003-2673-7329

Stefan Zaichenko, prof. Dr., ORCID 0000-0002-8446-5408

Natalia Zhukova, Associate Professor, Ph.D., ORCID 0000-0002-4215-6981

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

Vadim Shalenko, Associate Professor, Ph.D., ORCID 0000-0002-6984-0302

Kyiv National University of Construction and Architecture

RESEARCH OF THE THERMAL REGIME OF THE BELT CONVEYOR MOTOR-DRUM

The paper presents a method for calculating the maximum power of the conveyor drive under the condition of the maximum heating temperature of the elements. To study the thermal regime of the drive, the drive was selected according to the motor-drum scheme. The peculiarity of this drive is the lack of fan and air cooling, which can lead to overheating. The main components that generate heat energy are an induction motor with a short-circuited rotor and a reducer. The space of the motor-drum is filled with working fluid, which performs the functions of lubrication and cooling of the system components. Analysis of the design of the motor-drum drive allowed to establish the quantitative characteristics of the sources of thermal radiation of the individual components of the drive, taking into account the peculiarities of the interaction of the components. Quantitative characteristics of the sources of thermal radiation of the individual components of the drive allowed to establish the mutual influences of different parts of the object of study on its temperature state. The heat balance equation is applied under the condition of uniform distribution of the heat field on the surface of the drive elements. The equation of thermal balance of the system motor-drum-environment allows to determine the limit values of the drive power at known geometric parameters of the system. Coefficient of convective heat transfer coefficients between the working medium and the drum wall and the drum wall and the environment are used to determine the total heat transfer coefficient of the working medium-drum-environment system. Analysis of the obtained data shows a significant limitation of the required drive power. Limited drive power does not allow this type of drive to be used for long conveyors. Increasing the power of the drive according to this scheme can be provided by forcibly cooling the working fluid or changing the design of the drive by increasing the surface in contact with the working medium.

Key words: conveyor, drum motor, drive power, temperature, total heat transfer coefficient

References

1. Shahmejer L. G., Dmitriev V. G. Teoriya i raschet lentochnyh konvejerov //M.: Mashinostroenie. – 1987. – Т. 336. – С. 64.
2. Viznachennya vplivu zmini proektnogo polozhennya profilu strichkovogo konveera na navantazhennya roliskoop / A. V. Danilin, S. V. Zajchenko, S. P. SHEvchuk, N. I. ZHukova, I. M. Pasichnyuk // Geoinzheneriya : naukovo-tekhnichnij zhurnal. – 2020. – Vip. 3. – С. 20–25.
3. Shevchuk S. P., Zajchenko S. V., Vapnichnaya V. V. Obosnovanie massogabaritnyh parametrov rolikov lentochnyh konvejerov po kriteriyu nadezhnosti //Perspektivy razvitiya vostochnogo Donbassa. – 2016. – s. 221-228.
4. Voloshin G.M. Obruntuvannya parametriv konstrukcii elementiv konveernih roliviv za kriteriem energoefektivnosti //Girnichi, budivel'ni, dorozhni ta meliorativni mashini. – 2016. – №. 88. – s. 40-46.
5. Zajchenko S. V., Vovk O. O., SHEvchuk N. A. Obruntuvannya parametriv konstrukcii elementiv konveernih roliviv za kriteriyami dovgovichnosti //Visnik nacional'nogo tekhnichnogo universitetu Ukraïni kiïvs'kij politekhnichnij institut. seriya: Girnictvo. – 2016. – №. 31. – s. 65-73.
6. Hamacher S. The Drum Motor. – Springer Berlin Heidelberg, 2020.
7. Uttrup P. Interroll drum motors: hygienic and energy efficient //Trends in Food Science & Technology. – 2009. – №. 20. – С. S17-S18.
8. Uttrup P. Interroll drum motors: hygienic and energy efficient //Trends in Food Science & Technology. – 2009. – №. 20. – С. S17-S18.
9. Kirkach N. F., Balasanyan R. A. Raschet i proektirovanie detalej mashin //H.: Osнова. – 1991.
10. Seredyuk M. D., YAKimiv J. V., Lisafin V. P. Truboprovodnij transport nafti i naftoproduktiv//Ivano-Frankivsk: Kremenчук. – 2001. – Т. 517.

Надійшла 31.05.2022

Received 31.05.2022