

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра технологічних процесів та обладнання переробних і харчових
виробництв

Допущений до захисту
Завідувач кафедри
д.т.н., проф. Севостьянов В.І.

(Підпис, вчене звання, прізвище, ініціали)

“ ___ ” _____ 2021 р.

**РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА З
РОЗПОДІЛЕНИМ ПРИВОДОМ ДЛЯ ПІДПРИЄМСТВ АПК**

Робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр»
за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування»

Виконав: студент групи 61-МП-маг

Пушкар Юрій Юрійович

Керівник: доктор філософії,

ст. викл. Бурлака С.А.

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра технологічних процесів
та обладнання переробних і
харчових виробництв

Інженерно-технологічний
факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ:
завідувач кафедри
д.т.н., проф. Севостьянов І.В.

«___» _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ

студенту **Пушкару Юрію Юрійовичу**

на тему

«Розробка та дослідження стрічкового конвеєра з розподіленим приводом
для підприємств АПК»

затверджену Наказом від «___» _____ 2021 року №

Вихідні дані для підготовки роботи:

1. Методичні вказівки з виконання магістерської роботи.
2. План-проспект магістерської роботи.
3. Підручники та навчально-методичні посібники, статистичні дані.
4. Наукові видання (монографії, книги, збірники, журнали, методики, матеріали ЦНТІ).
5. Методика економічної оцінки результатів досліджень.
6. Дані власних досліджень, одержаних за попередній період.

Календарний план виконання магістерської роботи

Структура роботи		Об'єм, стор.	Термін підготовки	Підпис керівника
Анотація		3	Листопад 2021 року	
Вступ		3	Листопад 2021 року	
Розділ 1	Проблеми експлуатації стрічкових конвеєрів у важких умовах роботи	31	Листопад 2021 року	
Розділ 2	Прогнозування перспективи розвитку конструкцій опорних роликів стрічкових конвеєрів	18	Листопад 2021 року	
Розділ 3	Розробка алгоритму автоматичної стабілізації тягового фактора в умовах нерівномірного навантаження	17	Листопад 2021 року	
Розділ 4	Автоматична система стабілізації тягового фактора двоприводового стрічкового конвеєра	7	Листопад 2021 року	
Висновки		1	Листопад 2021 року	
Список використаної літератури		9	Квітень 2021 року - листопад 2021 р.	

Термін подання роботи на кафедру

для попереднього захисту «__»_____2021 р.

Завдання видано «14» березня 2021 р.

Завдання прийняв до виконання_____

Керівник_____С.А. Бурлака доктор філософії, ст. викл.

ЗМІСТ

Анотація.....	6
Вступ.....	11
РОЗДІЛ 1. ПРОБЛЕМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СТРІЧКОВИХ КОНВЕЄРІВ У ВАЖКИХ УМОВАХ РОБОТИ.....	14
1.1 Аналіз експлуатації стрічкових конвеєрів в реальних умовах виробництва.....	14
1.2 Конструкції роликів, що застосовуються в стрічкових конвеєрах, фактори, що впливають на якість їх виготовлення та складання.....	21
1.3 Аналіз причин виходу з ладу роликкоопор стрічкових конвеєрів, вплив навантажень на вузли стрічкових конвеєрів.....	37
РОЗДІЛ 2. ПРОГНОЗУВАННЯ ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ КОНСТРУКЦІЙ ОПОРНИХ РОЛИКІВ СТРІЧКОВИХ КОНВЕЄРІВ....	45
2.1 Методика визначення перспективи конструкцій роликів на основі інженерного прогнозування.....	45
2.2 Прогнозування щодо патентів перспективності конструкцій роликів конвеєрів.....	51
2.3 Обґрунтування пропонованої конструкції опорного ролика конвеєра.....	55
2.4 Математична модель стрічкового конвеєра.....	57
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ АВТОМАТИЧНОЇ СТАБІЛІЗАЦІЇ ТЯГОВОГО ФАКТОРА В УМОВАХ НЕРІВНОМІРНОГО НАВАНТАЖЕННЯ.....	63
3.1 Конструкція натяжних пристроїв	63
3.2 Розробка алгоритму і структури системи автоматичної стабілізації тягового фактора в умовах нерівномірного навантаження...	68

3.3	Експериментальні дослідження системи автоматичної стабілізації тягового фактора.....	71
3.4	Розробка системи управління рухом стрічки стрічкового конвеєра з підсистемою стабілізації тягового фактор.....	77
	РОЗДІЛ 4. АВТОМАТИЧНА СИСТЕМА СТАБІЛІЗАЦІЇ ТЯГОВОГО ФАКТОРА ДВОПРИВОДОВОГО СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА.....	79
4.1	Вибір виконавчого пристрою в системі регулювання положення каретки натяжного пристрою.....	79
4.2	Технічні засоби для автоматичної системи стабілізації тягового фактора стрічкового конвеєра.....	81
	ВИСНОВКИ.....	86
	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	87
	ДОДАТКИ.....	96

АНОТАЦІЯ

Пушкар Ю.Ю. Розробка та дослідження стрічкового конвеєра з розподіленим приводом для підприємств АПК

Рукопис.

Магістерська робота на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня «Магістр» за спеціальністю 133 - «Галузеве машинобудування».

Вінницький національний аграрний університет, Вінниця, 2021р.

Основним і найбільш ефективним типом конвеєрного транспорту є стрічковий конвеєр (СК). Із зростанням розвитку АПК збільшуються протяжність і продуктивність стрічкових конвеєрів, відповідно зростають витрати на електроенергію, споживану електроприводами СК.

Традиційний тяговий електропривод (ТТЕ) стрічкового конвеєра складається з асинхронного двигуна, циліндричного редуктора, сполучних муфт і гальмівної системи. Регулювання швидкості стрічки часто відсутнє або проводиться в 2-3 ступені. Асинхронний редукторний електропривод (АРЕ) займає значний простір поруч з приводним барабаном конвеєра, що вимагає додаткових витрат, ускладнює проведення профілактичних і ремонтних робіт. Масивний багатоступеневий редуктор потребує періодичного технічного обслуговування, зубчасті передачі обмежують потужність обертання в сукупності з турбомуфтами знижують загальний ККД електроприводу.

Ефективність СК визначається його продуктивністю, енергоспоживанням, безпекою тощо. Механічні передачі, мінеральні масла в турбомуфті і мастильні матеріали редуктора є можливими джерелами загоряння, а при роботі шуми і вібрації негативно впливають на робочий персонал. Для поліпшення промислової безпеки електротехнічні компоненти електроприводу стрічкового конвеєра обладнуються вибухозахисною оболонкою та спеціальною апаратурою для контролю параметрів навколишнього середовища.

З розвитком технологій і появою енергоємних машин спостерігається тенденція переходу від редукторного електроприводу до безредукторного, з'являється можливість заміни традиційних електроприводів на компактні синхронні мотор-барабани в герметичному корпусі, що дозволяє не тільки знизити габарити ТТЕ СК, але підвищити ефективність енергоспоживання ТТЕ знижується за рахунок регулювання швидкості стрічки залежно від вхідного вантажопотоку.

Таким чином, для усунення вищевказаних проблем пропонується застосування безредукторного мотор-барабана з синхронним двигуном на постійних магнітах (СДПМ), регульованого у функції вантажопотоку стрічкового конвеєра. Даний тип електроприводу відрізняється підвищеною енергоефективністю за критеріями ККД, масогабаритними показниками і споживаної та вихідної потужності.

Наукова новизна полягає у розробці:

- розроблена математична модель стрічкового конвеєра відрізняється тим, що враховує використання двох приводів та роботу натяжного пристрою, адекватно описує динамічні процеси руху стрічки конвеєра, що дозволяє розглядати цю модель як об'єкт системи управління;

- запропонований алгоритм регулювання тягового фактора двопривідного конвеєра дозволяє стабілізувати його значення на розрахунковому рівні при штатних та позаштатних режимах руху стрічки;

- розроблена система автоматичної стабілізації тягового фактора двопривідного конвеєра відрізняється можливістю регулювати натяг стрічки, що виключає її пробуксування на приводних барабанах конвеєра шахтні умови нерівномірної завантаженості.

Практична значущість роботи полягає в тому, що система стабілізації тягового фактора призводить до зниження зносу полотна стрічкового конвеєра, що рухається, за рахунок підтримки необхідного співвідношення між натягами в набігаючій і збігаючій гілках конвеєрної стрічки, і підвищує ефективність експлуатації, призводить до економії

енергоресурсів.

Ключові слова: стрічковий конвеєр, привід, опорні ролики, тяговий фактор, конструкція, стабілізація, натяжний пристрій, вузли.

ANNOTATION

Pushkar Yu.Yu. Development and research of a belt conveyor with a distributed drive for agro-industrial enterprises.

Manuscript.

Master's thesis to obtain an educational qualification level

"Master" in specialty 133 - "Industry engineering".

Vinnitsia National Agrarian University, Vinnitsia, 2021

The main and most efficient type of conveyor transport is the belt conveyor (SC). With the growth of agro-industrial complex, the length and productivity of belt conveyors increase, and the costs of electricity consumed by SC electric drives increase accordingly.

The traditional traction electric drive (ETD) of the belt conveyor consists of the induction motor, the cylindrical reducer, connecting couplings and brake system. Tape speed control is often absent or performed in 2-3 steps. Asynchronous gear drive (ARE) takes up a lot of space next to the drive drum of the conveyor, which requires additional costs, complicates maintenance and repair work. Massive multistage gearbox requires periodic maintenance, gears limit the power of rotation in conjunction with turbo couplings reduce the overall efficiency of the electric drive.

The efficiency of the BC is determined by its productivity, energy consumption, safety, etc. Mechanical gears, mineral oils in the turbo coupling and gearbox lubricants are possible sources of ignition, and during operation, noise and vibration adversely affect the working personnel. To improve industrial safety, the electrical components of the electric conveyor belt conveyor are equipped with an explosion-proof shell and special equipment for monitoring environmental parameters.

With the development of technology and the emergence of energy-intensive machines, there is a trend of transition from gear to gearless, it is possible to replace traditional electric drives with compact synchronous motor

drums in a sealed housing, which not only reduces the size of ETD BC, but increases energy efficiency. by adjusting the speed of the belt depending on the incoming traffic.

Thus, to eliminate the above problems, it is proposed to use a gearless motor drum with a synchronous motor on permanent magnets (SMPM), regulated as a function of the flow of the conveyor belt. This type of electric drive is characterized by increased energy efficiency in terms of efficiency, weight and size and power consumption and output.

The scientific novelty is to develop:

- the developed mathematical model of the belt conveyor differs in that it takes into account the use of two drives and the operation of the tensioning device, adequately describes the dynamic processes of movement of the conveyor belt, which allows to consider this model as an object of the control system;

- the offered algorithm of regulation of a traction factor of the two-drive conveyor allows to stabilize its value at settlement level at regular and part-time modes of movement of a tape;

- the developed system of automatic stabilization of the traction factor of the two-drive conveyor differs in the ability to adjust the belt tension, which eliminates its slippage on the drive drums of the conveyor mine conditions of uneven loading.

The practical usefulness of the work is that the traction factor stabilization system reduces the wear of the moving conveyor belt, by maintaining the required ratio between the tensions in the oncoming and coinciding branches of the conveyor belt, and increases operating efficiency, saves energy.

Keywords: belt conveyor, drive, support rollers, traction factor, construction, stabilization, tensioning device, knots.

ВСТУП

Стрічковий конвеєр (СК) - один з найбільш високопродуктивних підйомно-транспортних засобів, що застосовуються на підприємствах. СК є однією з ланок у системі обладнання, і забезпечує безперебійний цикл технологічного процесу. Прості СК неприпустимі, оскільки вони призводять до зупинки всього підприємства, що викликає серйозні економічні втрати. Вони стали більш складними, зросла продуктивність, істотно посилилися стандарти екологічної безпеки та охорони праці. У зв'язку з цим, істотно зросли вимоги до складових елементів СК (це опорні ролики, прямі ролики, конвеєрна стрічка, приводна станція і металоконструкції). Особливо великі навантаження припадають на ролики у вузлах завантаження, оскільки тут найчастіше присутні як динамічні, так і ударні навантаження. Основні складові елементи СК загального призначення стандартизовані. Однак можна виділити ролики як одні з наймасовіших складових стрічкового конвеєра. При цьому виробництво якісних деталей і вузлів для стрічкових конвеєрів тісно пов'язано зі стійким розвитком машинобудування і багато в чому визначає подальшу функціональність, матеріаломісткість і енергоємність стрічкових конвеєрів.

З аналізу досвіду експлуатації стрічкових конвеєрів на підприємствах видно, що більшість з них працює в умовах високої вологості і заповненому середовищу, при цьому в ході експлуатації ці фактори роблять свій негативний вплив на вузли конвеєрів. На частку роликів припадає до 40% всіх витрат на ремонт і обслуговування і до 30% від вартості всього конвеєра. Від їхньої надійної роботи залежить, як довго прослужить конвеєрна стрічка, і скільки споживатиме енергії вся конвеєрна система. До роликів пред'являють високі вимоги. Вони повинні бути недорогими, надійними у них має бути мінімальний опір обертанню, вони повинні забезпечувати центрування стрічки; задавати стрічці

необхідну жолобчастість і сприятливі умови роботи. Таким чином, ролики є однією з найважливіших складових, які визначають працездатність і надійність стрічкового конвеєра, їх якість впливає на довговічність стрічки, яка є одним з дорогих елементів конвеєра (на стрічку припадає близько 60% всіх експлуатаційних витрат). Отже, підвищення надійності та довговічності опорних роликів конвеєрних установок є актуальним завданням.

Метою даного дослідження - є розробка системи автоматичної стабілізації тягового фактора двопривідного стрічкового конвеєра, експлуатованого у промисловості АПК

Для досягнення поставленої мети поставлені наступні завдання:

- систематизувати та провести аналіз науково-технічної інформації про конструкції роликів, технології їх виготовлення та складання, визначити перспективність пропонованих конструкцій;

- розробити нові конструкції опорних роликів стрічкових конвеєрів, визначити сумарні навантаження, що діють на ролики нової конструкції;

- розробити та дослідити математичну модель руху стрічки двопривідного стрічкового конвеєра з урахуванням роботи механічних натягувачів;

- розробити алгоритм автоматичної стабілізації тягового фактора умовах нерівномірного навантаження;

- розробити автоматичну систему керування рухом стрічки двопривідного конвеєра зі стабілізацією натягу стрічки в умовах нерівномірного навантаження;

Об'єкт досліджень - опорний ролик стрічкового конвеєра для промисловості, що експлуатується у важких умовах. Під важкими умовами мається на увазі підвищена вологість, запиленість, агресивне середовище, перепади температур, тобто умови характерні для промисловості АПК.

Предмет досліджень - фактори, як конструктивні, так і технологічні, що впливають на надійність і термін служби опорного ролика стрічкового

конвеєра.

Наукова новизна роботи полягає в наступному:

- розроблена математична модель стрічкового конвеєра відрізняється тим, що враховує використання двох приводів та роботу натяжного пристрою, адекватно описує динамічні процеси руху стрічки конвеєра, що дозволяє розглядати цю модель як об'єкт системи управління;

- запропонований алгоритм регулювання тягового фактора двопривідного конвеєра дозволяє стабілізувати його значення на розрахунковому рівні при штатних та позаштатних режимах руху стрічки;

- розроблена система автоматичної стабілізації тягового фактора двопривідного конвеєра відрізняється можливістю регулювати натяг стрічки, що виключає її пробуксування на приводних барабанах конвеєра шахтні умови нерівномірної завантаженості.

Методи дослідження. Методи дослідження базуються на основних положеннях таких наук як підйомно-транспортні машини, основи конструювання і деталі машин, теорія розмірних ланцюгів, розмірний аналіз технологічних процесів, розрахунок допусків розмірів, наукові основи технології машинобудування, інженерія поверхонь деталей.

РОЗДІЛ 1. ПРОБЛЕМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СТРІЧКОВИХ КОНВЕЄРІВ У ВАЖКИХ УМОВАХ РОБОТИ

1.1 Аналіз експлуатації стрічкових конвеєрів в реальних умовах виробництва

Стрічковий конвеєр один з найбільш високопродуктивних підйомно транспортних засобів. Сфера застосування його дуже велика, це і гірничорудна промисловість яка представлена як великими гірничозбагачувальними комбінатами (ГЗК), шахтами, кар'єрами, так і малими підприємствами спеціалізуються на видобутку тих чи інших корисних копалин. Крім того, стрічковий конвеєр є обов'язковою частиною будь-якого важкого і легкого виробництва. Він використовується в металургії, для транспортування сипучих матеріалів, в харчовій промисловості, медицині і так далі. Сукупна довжина стрічкових конвеєрів на підприємстві може сягати від сотень метрів до декількох сотень кілометрів.

Стрічковий конвеєр - це нескінченна гнучка стрічка, яка огинає приводний барабан і натяжний барабан, а в прольоті між ними спирається на ряд роликів опор робочої гілки, і нижні підтримуючі прямі ролики, встановлені з певним інтервалом на рамі (рис. 1.1).

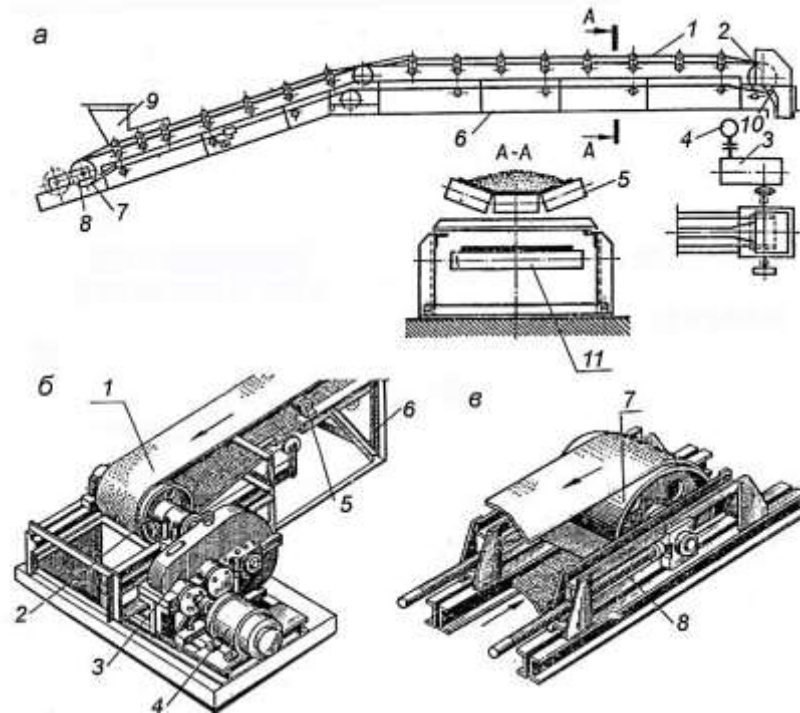


Рис. 1.1 - Загальний вигляд і основні вузли стрічкового конвеєра
 1 - стрічка; 2 - привід; 3 - редуктор; 4 - електродвигун; 5, 11 - роликоопори;
 6 - станина; 7 - натяжний барабан; 8 - натяжний пристрій;
 9 - завантажувальний пристрій; 10 - очисний пристрій

Роликові опори можуть бути різних типів: на конвеєрах загального призначення використовують роликоопори з жорстким кріпленням осей, вони можуть бути одно-, дво-, трьох-, п'ятиролковими (рис. 1.2). Одноролкові (рис. 1.2 а) використовуються для транспортування штучних вантажів, а дво-, трьох-, п'ятиролкові (рис. 1.2 б, г, в) для сипучих вантажів, найбільш поширені триролкові опори. У гірничодобувній промисловості застосовують підвісні роликоопори (рис. 1.2 е), які кріплять до натягнутих сталевих канатів, дана конструкція знижує динамічні навантаження при ударінні з великокусковим вантажем, проте їх конструкції складні, а шарніри мають схильність до втрати рухливості. У даних роликоопор вищий опір руху стрічки, ніж на опорах з жорсткою віссю. Існують підвісні опори з гнучкою віссю (рис. 1.2 д) зі сталевого тросу, їх конструкція має аналогічні недоліки, що і у підвісних

роликоопор.

Стрічкові конвеєри умовно ділять на три групи: загального призначення; спеціальні та конвеєри, призначені для підземних і відкритих гірничих робіт. Стрічкові конвеєри можуть бути стаціонарними і пересувними, вони призначені для транспортування в горизонтальному і похилому (до 24-х) напрямках штучних і тарних вантажів, що забезпечується можливістю компоновання приводів праворуч і ліворуч, одно- і двоприводовому виконаннях. Вони можуть входити до складу різних будівельних, комунальних, дорожніх машин, а також до складу відвалоутворюючого обладнання та перевантажувачів [1].

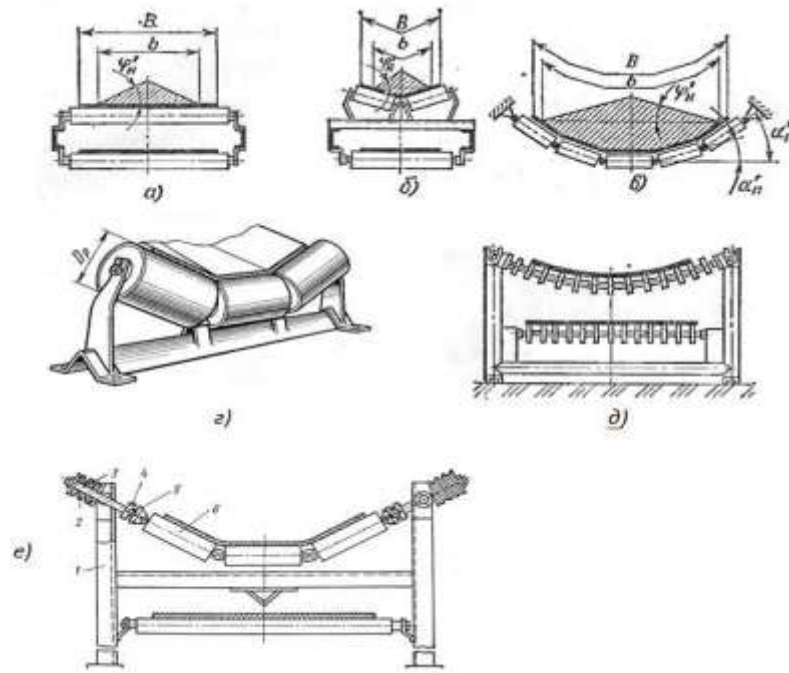


Рис. 1.2 - Типи опор стрічкових конвеєрів

- а) - однороликова; б) - двороликова; в) – п'ятироликова;
 г) - трироликова; д) - з гнучкою віссю; е) - підвісна шарнірна

За профілем стрічкові конвеєри класифікують на горизонтальні (рис. 1.3, а), похилі (рис. 1.3, б) і комбіновані (рис. 1.3, в).

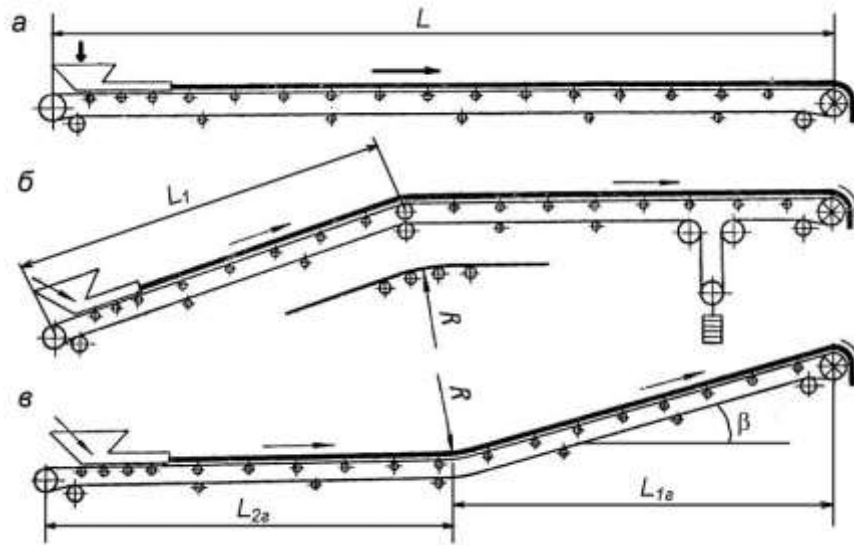


Рис. 1.3 - Схеми траси стрічкових конвеєрів

L - дальність транспортування; L_1 - довжина похилої ділянки конвеєра; $L_{1г}$ - довжина горизонтальної проекції похилої ділянки; $L_{2г}$ - довжина горизонтальної ділянки конвеєра; α - кут нахилу траси (похилої ділянки для складної траси);

У напрямку руху вантажу стрічкові конвеєри бувають підйомні з ухилом вгору і з ухилом вниз. За формою стрічки і розміщенням вантажу конвеєри можуть бути з плоскою і жолобчастою стрічкою, а також з верхньою (основний тип) і нижньою або обома несучими гілками. По куту нахилу траси конвеєри розділяють на полого похилі, крутонахилені (більш ніж 22°) і вертикальні [2].

Конвеєри розрізняються за різними технічними факторами: характеристика вантажу, що транспортується; продуктивність машини; довжина, напрямок і конфігурація шляху переміщуваного вантажу (траса); способи завантаження і розвантаження вантажу на конвеєри; характеристика виробничих процесів для яких використовується конвеєр; виробничі та кліматичні умови навколишнього середовища працюючої машини. Основні характеристики класів, такі як характеристика класів використання за часом (Ч1, Ч2, Ч3, Ч4, Ч5), класи використання конвеєра

за продуктивністю характеризується коефіцієнтом завантаження K_{Π} (П1, П2, П3), класи використання конвеєра за вантажопідйомністю несучого елемента (Н1, Н2, Н3), класи використання конвеєра з навантаження (Ц1, Ц2, Ц3). Ці класи використання мають п'ять режимів роботи конвеєрів (таблиця 1.1 і таблиця 1.2): ДЛ - дуже легкий, Л - легкий, С - середній, В - важкий і ДВ - досить важкий [3].

Таблиця 1.1 - Режими роботи конвеєрів за класами використання

Клас використання конвеєра за часом	Клас використання конвеєрів за класами використання								
	За продуктивністю			За вантажопідйомністю			Навантажувати тягового елемента		
	П1	П2	П3	Н1	Н2	Н3	Ц1	Ц2	Ц3
Ч1	ДЛ	ДЛ	Л	ДЛ	ДЛ	Л	ДЛ	Л	С
Ч2	Л	Л	С	Л	Л	С	Л	Л	С
Ч3	С	С	В	С	С	В	С	С	Т
Ч4	В	В	ДВ	В	В	ДВ	В	В	ДВ
Ч5	В	ДВ	ДВ	В	ДВ	ДВ	В	ДВ	ДВ

Таблиця 1.2 - Характеристика режимів роботи конвеєрів

Час роботи конвеєра на добу	Клас використання конвеєри за часом	Режими роботи конвеєра	Характерні приклади конвеєрів
Менше однією зміни	Ч1	ДЛ	Періодично працюючі конвеєри, наприклад, на окремих секціях складу; для прибирання стружки або просипи землі
Одна зміна	Ч2	Л, С	Конвеєри всіх видів, безперервно працюючі (у заданий час) на підприємствах різних галузей промисловості
Дві зміни	Ч3	С, В	
Три зміни	Ч4	В, ДВ	
Цілодобово	Ч5	ДВ	Конвеєри для безперервних технологічних процесів хімічної, металургійної та інших галузях промисловості, наприклад, конвеєр для подачі шихти у доменну піч

Всі ці фактори значною мірою впливають на виконання СК його конструкцію, режими роботи, конструктивні особливості його складових вузлів.

У чому ж перевага конвеєрного транспорту перед іншими видами?

При відносно низьких витратах на обслуговування і ремонт, термін служби СК може скласти 25-35 років, також вони мають такі переваги порівняно з іншими конвеєрами [4]:

1. Широкий асортимент транспортованих вантажів.
2. Нижчі витрати, особливо при великій продуктивності, на одну тону (відповідно на 1 м³) транспортованого вантажу.
3. Великі відстані транспортування з мінімальним числом перевантажувальних пунктів, що дозволяє краще зберігати вантаж.
4. Можливість використання завантажувальних і розвантажувальних пристроїв у будь-якому місці конвеєрної установки.
5. Можливість проводити зважування вантажу, сушку, сортування, охолодження під час транспортування. Можливість диспетчерського управління всією конвеєрною лінією.
6. Уніфікація конвеєрного обладнання.

Однак є і недоліки, це складність транспортування абразивних великокускових вантажів і що виникає у зв'язку з цим необхідність попереднього дроблення; інтенсивний знос гнучких вантажонесучих органів; висока початкова вартість обладнання та його монтажу.

Тісний взаємозв'язок конвеєрів з технологічним процесом або циклом на підприємстві обумовлює їх високу відповідальність. Хотілося б відзначити що, як правило, конвеєри за транспортно-технологічним призначенням не мають дублюючих систем. Тому, в загальній транспортній системі вихід з ладу хоча б одного конвеєра викликає порушення роботи всієї мережі або підприємства.

Більшість стрічкових конвеєрів у видобувній промисловості

(видобуток вугілля, гравію, вапняку, різних рудних порід) працюють в екстремальних умовах перепаду температур взимку, високої вологості і запиленості навколишнього середовища влітку, при цьому ці фактори впливають на різні вузли конвеєрів по різному. Так на трироликовій опорі при роликах рівних довжин, навантаження на середній ролик, становить близько 70% від сумарного погонного навантаження вантажу, стрічки і ваги обертових частин роликоопори. На бічні ролики припадає близько 30%, звідси навантаження на підшипники середнього ролика в 2,5 разу більше, ніж на підшипники бічних роликів [5]. Неправильний вибір конструкції роликоопор призводить до передчасного виходу з ладу стрічки і роликів. Збільшення ширини стрічки призводить до зростання навантаження на підшипники роликів, особливо горизонтальних опорних роликів, це призводить до збільшення числа відмов і зниження загальної надійності СК.

Аналізуючи надійність вузлів стрічкових конвеєрів на різних шахтах, гравійних, вапнякових та інших підприємствах з'ясувалося що мають найменший ресурс, при цьому вимагають найбільших трудових витрат і грошових коштів такі вузли конвеєра як конвеєрні ролики і конвеєрна стрічка. Згідно зі статистичними даними на частку роликів конвеєрів припадає до 40% всіх витрат на ремонт і обслуговування і до 30% від вартості всього конвеєра. Ресурс конвеєрних роликів на гірничорудних підприємствах у вузлах завантаження становить від 0,5 до 1 року, за ставом конвеєра від 0,7 до 2,5 років, становлячи в середньому 1,7 року. Розрахунковий термін служби середнього опорного ролика, як найбільш навантаженого в середньому становить від 25 до 35 тис. годин, що перевищує фактичний термін служби в кілька разів. У середньому за весь термін служби кожен ролик у конвеєрі змінюють від 3 до 5 разів, тобто потреба в роликах існує постійно і в міру збільшення довжини конвеєрів вона зростає [6].

Таким чином, опорні ролики є одними з масових складових стрічкового конвеєра. Ролики є однією з найважливіших складових, що визначають працездатність і надійність стрічкового конвеєра. Конвеєрні ролики використовуються не тільки в стрічкових конвеєрах, вони застосовуються в роликівих конвеєрах для транспортування штучних і пакетованих вантажів, де вартість роликів становить 50-80% від вартості машин безперервного транспорту (МНТ), в міжконвейєрних передавальних пристроях які мають роликівий настил, також широко застосовуються в різних видах. В Україні потреба в роликах становить за середніми статистичними даними близько 25000 штук на рік, і ця потреба зростає з введенням в експлуатацію нових родовищ і підприємств [7].

1.2 Конструкції роликів, що застосовуються в стрічкових конвеєрах, фактори, що впливають на якість їх виготовлення та складання

Загальним питанням теорії та практики виготовлення і складання опорних роликів конвеєрів та їх конструктивному виконанню присвячено велику кількість публікацій, патентів і наукових праць. Зокрема це роботи Співаковського О.О., Александрова М.П., Пертена Ю.А., Зенкова Л., Колобова Л.Н. [8], казахстанських вчених Джієнкулова С.А., Саргужина М.Х. [9]. У згаданих роботах наголошується, що багато в чому надійна експлуатація роликів і роликів конвеєра залежить від декількох важливих факторів, це характеристики вантажу (великокусовість, запиленість середовища, наявність великої вологості), наявності ударних навантажень, особливо це помітно у вузлах завантаження, від якості виготовлення самих роликів і різних технологій Безліч пов'язаних деталей у ролику при існуючих технологіях виготовлення і складання можуть у ряді випадків призводити до перекосів кілець підшипників і подальшого

його запозичення і значного скорочення терміну служби ролика [10].

З великої різноманітності конструкцій роликів можна виділити два типи: ролики з наскрізною віссю, на якій знаходяться вбудовані підшипники і моноблочні ролики з виносними підшипниками на напівосях [11].

Найбільш поширені ролики з наскрізними осями і циліндричними обертовими обічайками (рис. 1.4). Крім класифікації конвеєрних роликів за призначенням, це лінійні (рядові) і спеціальні, які виконують додаткові функції, такі як центрування, амортизацію тощо, ролики також випускають різних типорозмірів, залежно від умов експлуатації. Основні розміри роликів та їх основні характеристики, регламентуючи основні розміри, не ставить жодних обмежень щодо конструкції самого ролика, його ступиці, застосовуваних підшипників, що обумовлює велику різноманітність конструкцій для найрізноманітніших умов експлуатації.

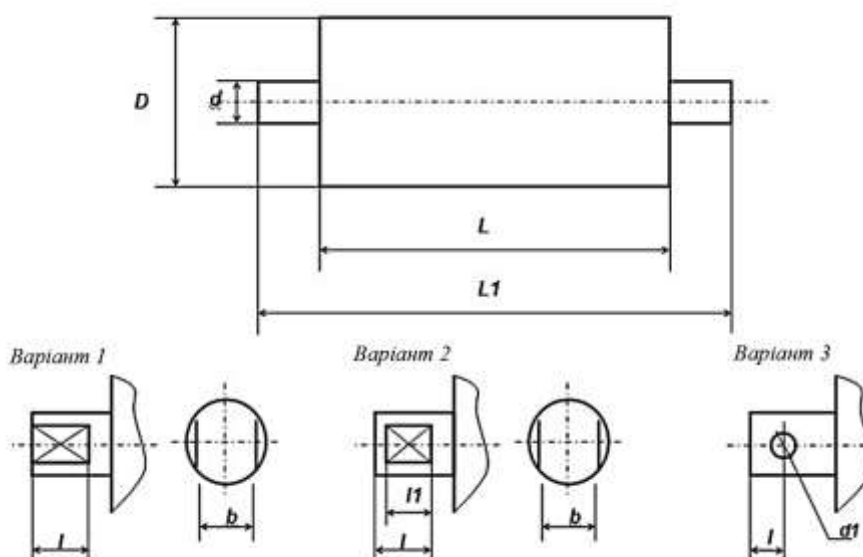


Рис. 1.4 - Ролик конвеєрний. Основні розміри (конструкція)

D - діаметр ролика; L - довжина обічайки ролика; L_1 - загальна довжина ролика; d - діаметр осі ролика; b - ширина лиски; l - довжина лиски (варіант 1 осі); l_1 - довжина лиски (варіант 2 осі); d_1 - діаметр отвору на осі (варіант 3 осі)

До одного з основних розмірів ролика відноситься його діаметр, згідно ДСТУ 22646 - 77 встановлено ряд діаметрів це 63, 89, 108, 127, 133, 159, 194 мм. Ролики до 133 мм застосовують у легких і середніх типах конвеєрів, а великих діаметрів у конвеєрах важкого типу і в швидкохідних ($V \geq 14\text{м/с}$).

Ролики стрічкових конвеєрів спочатку виготовлялися з жорстким корпусом, і їх міцність в основному досягалася за рахунок більшої товщини стінки обечайки і жорсткої масивної ступиці, в якій знаходився підшипник, в основному це були розбірні конструкції, які можна було розібрати і при необхідності поміняти підшипник [12]. Недоліком даних роликів, є їх підвищена металоємність і велика маса, яка істотно підвищувала масу самого конвеєра, термін служби даних роликів сильно залежав від якості виготовлення.

Для зменшення динамічного навантаження згодом почали застосовувати гірляндні роликоопори, поряд з ними, для пом'якшення динамічних навантажень створені конструкції роликів з гумометалічними ступицями, футеровані порожніми гумовими кільцями або зі ступицями з комбінованих матеріалів [13]. Недоліком, подібних конструкцій, є знос матеріалу футерівки ролика, а в гірляндних роликоопорах підвищений опір обертанню ролика і знос опорних канатів і шарнірів роликоопор.

Для зменшення металомісткості і маси роликів були розроблені конструкції роликів зі штампованими складними ступицями, які виконувалися як розбірними, так і нерозбірними. Як приклад можна розглянути конструкції роликів на підприємстві, яке розробило кілька типів уніфікованих роликів (рис 1.5). Підшипники роликів забезпечено безконтактним лабіринтним ущільненням і можливе додаткове блочне ущільнення (рис. 1.5 б). Термін служби даних роликів, відрізняючись складністю конструкції, також залежить від якості виготовлення.

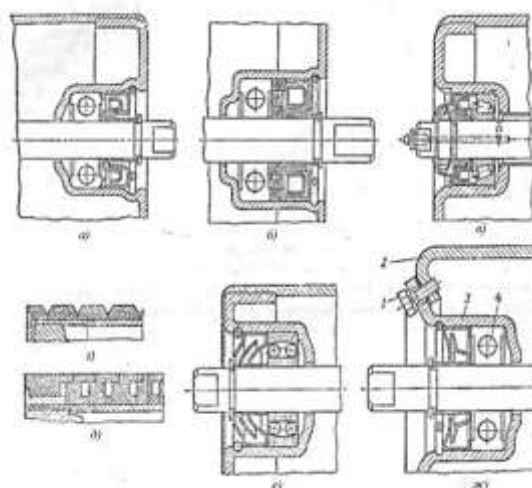


Рис. 1.5 - Ролики опор стрічкових конвеєрів

а, б - з кульковими підшипниками; в - з кінчними роликовими підшипниками; г - з футерованими гумовими кільцями; д - з пустотілими кільцями; е - з самовстановлювальними підшипниками; ж - з самовстановлювальними вкладишами

Відомі конструкції роликів з композиційних і полімерних матеріалів. Вони відрізняються малою вагою порівняно з роликами з металу, іноді в 5-6 разів, достатньою зносостійкістю і міцністю [14], що особливо важливо для пересувних конвеєрів. Однак, в даний момент вони поки ще не отримали широкого розповсюдження і використовуються в спеціалізованих конвеєрах хімічної та харчової промисловості. Однією з причин такого обмеженого застосування є те, що розроблені конструкції роликів недостатньо вивчені і часто не відповідають вимогам, що пред'являються до вузлів конвеєрів, які останнім часом безперервно зростають.

Багато великих підприємств займаються виготовленням стрічкових конвеєрів і їх вузлів, часто пропонують свої конструкторські рішення вузлів стрічкових конвеєрів, в тому числі і роликоопор ТОВ «ВІПЛАСТ» (рис. 1.6), ТОВ «КОМІНПРО» (рис. 1.7), ТОВ «КОМТРАНС Україна» (рис. 1.8), фірма SUPERIOR INDUSTRIES LLC (США) (рис. 1.9) [15].

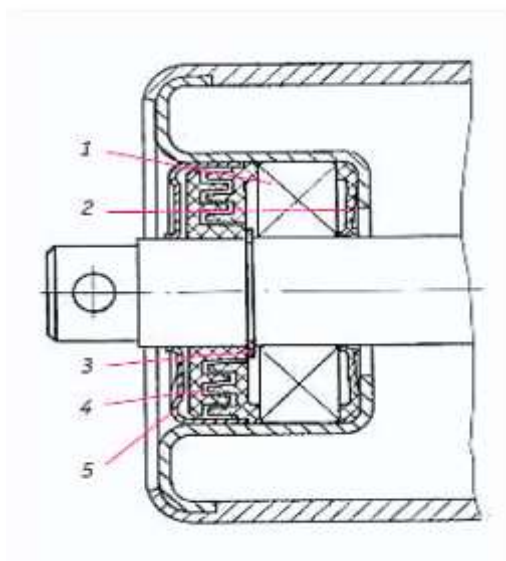


Рис. 1.6 - Ролик конструкції ТОВ «ВПЛАСТ»

1 - підшипник; 2 - захисне ущільнення; 3 - стопорна шайба; 4 - лабіринтне ущільнення; 5 - штампована захисна кришка

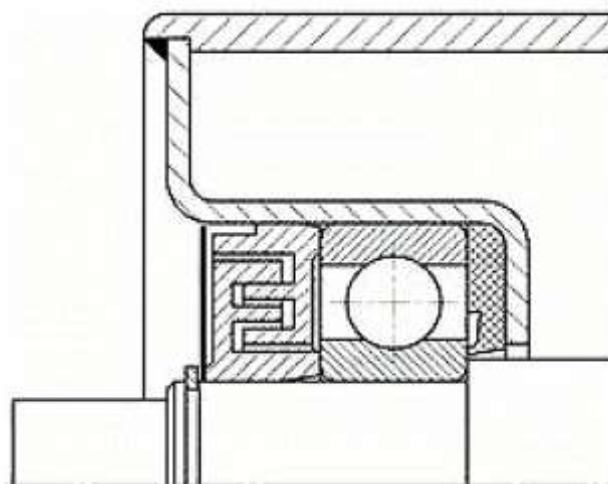


Рис. 1.7 - Ролик конструкції ТОВ «КОМІНПРО»

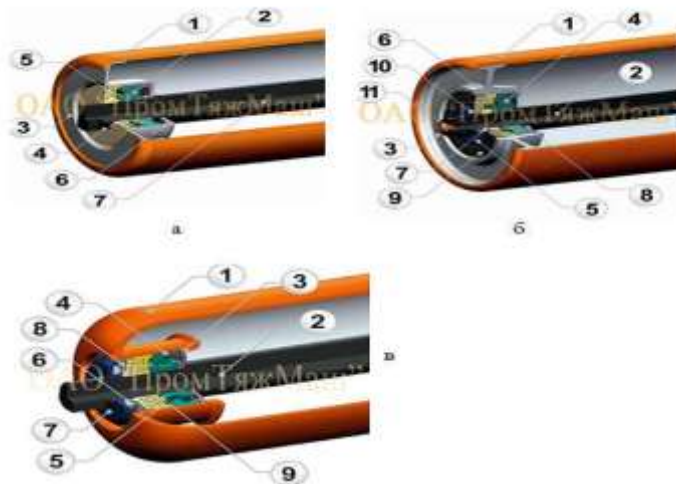


Рис. 1.8 - Ролик конструкції ТОВ «КОМТРАНС Україна»

а - ролик призначений для легких і нормальних умов експлуатації;

1 - обичайка; 2 - підшипник; 3 - корпус підшипника штампований;

4 - стопорне кільце; 5 - комплект лабіринтних ущільнень; 6 - внутрішня захисна шайба; 7 - вісь ролика; б - ролик для важких умов експлуатації;

1 - обичайка; 2 - вісь ролика; 3 - корпус підшипника; 4 - підшипник;

5 - зовнішня штампована кришка; 6 - комплект лабіринтних ущільнень;

7 - стопорне кільце; 8 - захисна шайба; 9 - роторне ущільнення;

10 - зовнішня захисна втулка; 11 - прес-маслянка; в - ролик універсальний;

1 - обичайка; 2 - вісь; 3 - внутрішня захисна шайба; 4 - підшипник;

5 - комплект лабіринтних ущільнень; 6 - роторне ущільнення; 7 - зовнішня

захисна втулка; 8 - захисна кришка; 9 - стопорне кільце

Всі ці конструкторські рішення об'єднує одне, це власний оригінальний підшипниковий вузол, спеціально розраховане лабіринтне або комбіноване ущільнення і різні варіанти виконання ступиці (литий, штампований, точений), обичайки ролика [16]. Однак всі перераховані вище виробники роликів часто не виходять за рамки стандартних конструкторських рішень і лише обмежуються удосконаленням таких елементів як ущільнення, підшипниковий вузол і застосуванням більш сучасних матеріалів. Хотілося б відзначити конструкцію роликів ТОВ

«КОМТРАНС Україна» (рис. 1.8, в) - в конструкції ролика застосовується обечайка, виготовлена методом гарячої ротаційної формування. Ця конструкція за заявою підприємства має підвищену надійність і збільшений ресурс роботи. Застосовано комбіноване ущільнення, що складається з лабіринтного і роторного ущільнення, що також підвищує надійність ролика. Однак в умовах транспортування великокусового вантажу ролик недостатньо захищений від технологічних і складальних перекосів підшипника, що може призвести до зменшення терміну служби.

Конструкція фірми SUPERIOR INDUSTRIES LLC (США) (рис. 1.9) - штампований корпус підшипника, оригінальне лабіринтне ущільнення, поєднане з захисною кришкою, створюється умови для відцентрового очищення предкамери під час обертання ролика. Все це також підвищує ресурс ролика і знижує металоємність. Однак також не передбачає захист від технологічних і складальних перекосів і проникнення пилу під час зупинки обертання ролика.

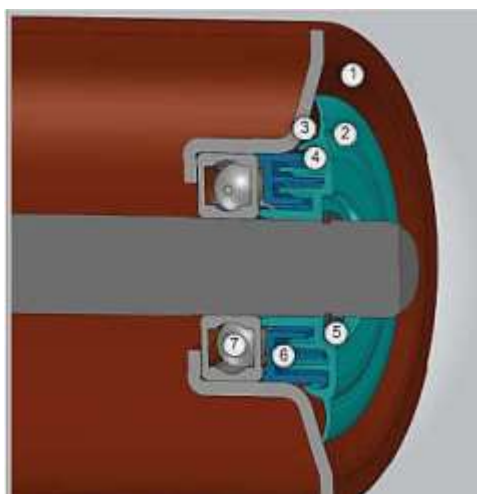


Рис. 1.9 - Ролик конструкції SUPERIOR INDUSTRIES LLC (США)

1 - корпус підшипника; 2 - захисна кришка; 3 - створюється ефект відцентрового очищення внутрішньої порожнини при обертанні ролика; 4 - спеціальне контактне ущільнення; 5 - стопорне кільце; 6 - лабіринтне ущільнення поєднане із зовнішньою захисною кришкою; 7 - кульковий підшипник

Можна навести ряд найбільш цікавих рішень вітчизняних і зарубіжних вчених і винахідників. Одним з таких є конвеєрний ролик [17] (рис. 1.10), він цікавий демпфуючою кільцевою канавкою 3, яка повинна за ідеєю авторів амортизувати ролик від статичних і динамічних навантажень. Однак він не є досить пружним і не може повною мірою захистити ролик від різких динамічних навантажень при взаємодії з вантажем, що транспортується.

Конструкція (рис. 1.11), в якій за задумом авторів винаходу є система комбінованих ущільнень, що представляють собою комбінацію контактних 5,8 і лабіринтних ущільнень і захисної кришки 6, проте конструкція видається дещо ускладненою і не надає захисту від динамічних навантажень, що призводять до технологічних перекосів.

Пропонується конструкція ролика, де між зовнішніми ущільненнями і підшипником утворено камери, заповнені пористим матеріалом просоченою олією. У разі утворення перепаду тиску між зовнішнім атмосферним повітрям і внутрішніми порожнинами пилові частинки за задумом авторів повинні утримуватися в даних камерах і тим самим підвищувати ресурс підшипника. Однак в умовах інтенсивної роботи, великої запиленості і динамічних навантажень ставати під питання довговічність пористої речовини заповнюючої камери, що може призвести до проникнення пилу в підшипник і виходу з ладу.

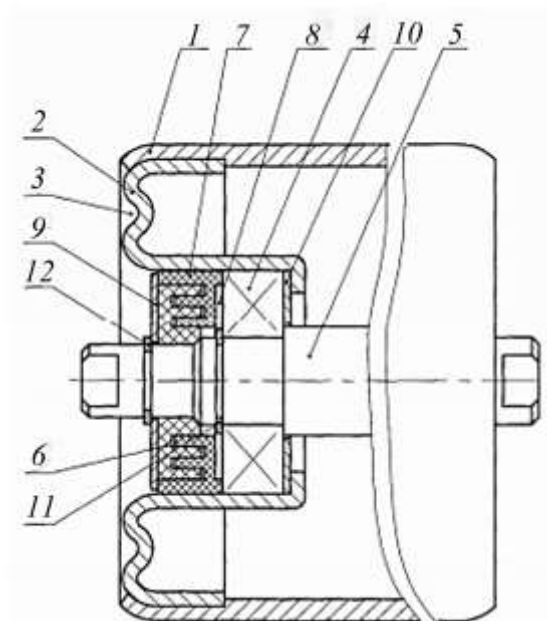


Рис. 1.10 - Ролик конвеєра запропонованої конструкції

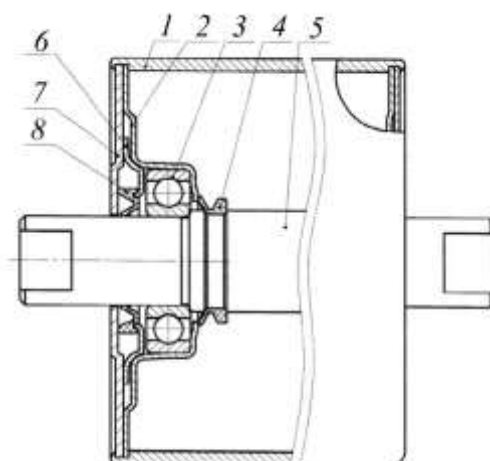


Рис. 1.11 - Ролик конвеєра запропонованої конструкції

Аналіз конструкцій роликів і проведених дослідження показали, що істотне збільшення терміну служби роликів можна досягти шляхом зменшення технологічних і експлуатаційних перекосів підшипника. Це можна реалізувати конструктивним шляхом, наприклад за допомогою вкладиша 3 зі сферичною відбірткою та обечайки 2 з відігнутих сферичним кінцем (рис. 1.5 ж) [18]. Також це досягається установкою самовстановлювальних сферичних підшипників (рис. 1.5 е).

Наприклад, в [19] пропонується кілька конструкцій роликів,

відмінною особливістю яких є наявність оригінального ущільнення та усунення технологічних перекосів підшипника шляхом встановлення двох сферичних вкладишів. Однак недоліком даних роликів є складність у виготовленні та збиранні, зокрема точність розмірів сполучених сферичних вкладишів.

Також в [20] пропонується конструкція ролика (рис. 1.12) особливістю якого є ступиця, зовнішня поверхня якої має форму сфери, при цьому стикається з нею поверхня обечайки повторює її форму. За рахунок такої форми є можливість усунення перекосів підшипника. Однак ролик також складний у виготовленні, оскільки вимагає досить точної вальцовки обечайки для закріплення в ній ступиці і його виготовлення має бути економічно виправдано.

Наступні конструкції роликів призначені для роботи у важких умовах експлуатації та запиленому середовищі. Конструкція [21], це ролик (рис. 1.13) пропонується для гірляндної роликоопори. Відрізняється тим, що кожен з їх підшипникових вузлів має збірну ступицю, яка складається з зовнішнього і внутрішнього дисків і тонкостінного кільця трапецеїдального перерізу, стягнутих болтами. Конструкція ролика виключає явище відносного перекосу кільця підшипника, оскільки при деформації осі спільно з внутрішніми кільцями підшипника відбувається перекоп зовнішнього кільця підшипника спільно зі ступицею в зборі відносно конуса в нейтральній площині обечайки перпендикулярної до діючого навантаження. Недоліком ролика є те, що при роботі конвеєра через вібрації в роликун відбувається відгвинчування стяжних болтів і вихід з ладу.

Конструкція [22] - це опорний ролик (рис. 1.14) що дозволяє виключити відносний перекоп зовнішнього кільця кулькопідшипника встановленого в ступиці корпусу, відносно внутрішнього кільця підшипника, під дією навантажень статичних і динамічних. Це досягається

Провівши аналіз конструкцій існуючих конвеєрних роликів видно, що є необхідність підвищення надійності та ресурсу роботи роликів і його складових вузлів, шляхом створення більш досконалої і звичайно технологічної конструкції. У роботі ми хотіли б запропонувати конструкцію ролика для конвеєрів, що експлуатуються в гірничодобувній промисловості (рис. 1.15).

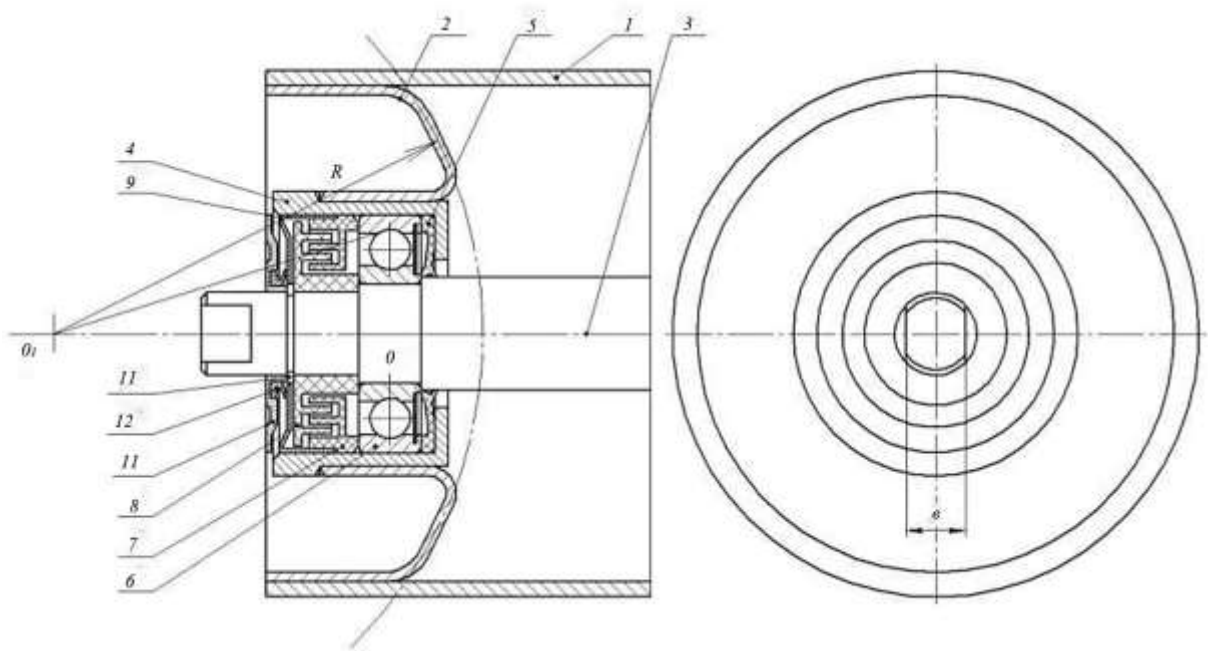


Рис. 1.15 - Ролик нової конструкції

Даний ролик не є єдиною конструкцією, а швидше однією з групи запропонованих конструкцій об'єднаних загальним принципом - виключення конструктивним шляхом відносного перекосу зовнішнього кільця кулькопідшипника, щодо внутрішнього кільця підшипника, що сприяє запобіганню заклинювання підшипника і виходу з ладу всього ролика.

Переходячи до технології складання та виготовлення роликів стрічкових конвеєрів важливо відзначити, що ролики конвеєра, якщо розглядати його як складальний вузол, конструктивно складаються з одних і тих же деталей. В основному це уніфіковані деталі, такі як вісь, обечайка, підшипниковий вузол, захисна шайба, стопорне кільце і різного типу

уцільнення, які, однак, можуть різнитися конструктивно. Ми не розглядаємо деталі, які є стандартними (шайби, стопорні кільця тощо). Деталі, типу вісь, обечайка є типовими, і їх виготовлення відбувається за загальноприйнятою технологією, при цьому проблемою може бути забезпечення високої кінцевої якості деталей і необхідної якості складання опорного ролика. Науковою основою вирішення даної проблеми є фундаментальні дослідження професорів Решетова Л.І., Якушева А.І., Сулова А.Г., також широко відомі в гірничому машинобудуванні роботи Солода Г.І., Радкевича Я.М., Вержанського А.П., Островського М.С та інших [23].

Відомі роботи Б.І. Когана та ін. [24], де викладені питання підвищення технологічності та надійності різних деталей і запропонована методологія конструкторсько-технологічного забезпечення якості, яка дозволяє прогнозувати відмови, оцінювати показники якості машин (технологічність, надійність) і витрати. Розглянуто взаємозв'язок вибору раціональних заготовок, технології та якості деталей. Надано рекомендації з виготовлення обечаек роликів.

Автор [25] розглядає різні методи забезпечення надійності та якості виробів у процесі його проектування. Дає рекомендації щодо вибору методів формоутворення, вибору технологічних баз і маршруту обробки. Розглядає різні методи забезпечення якості виробів при виготовленні, механічній обробці. Розглядає питання впливу якості виробів на експлуатаційні характеристики деталей.

У роботі розглядають питання точності складальних сполук, значення розмірного аналізу при складальних роботах, контролю точності при збиранні виробів. Особлива увага приділяється підготовці деталей до складання.

Розглядаються особливості складання різних типових складальних одиниць та розробки технологічного процесу складання.

Викладено концепцію технологічного забезпечення властивостей машинобудівних виробів при виготовленні. При цьому формування показників якості деталей машин представлено сукупністю процесів зміни та збереження якості предмета виробництва. Концепція базується на застосуванні сучасних інформаційних технологій і дозволяє, створюючи оптимальні технологічні середовища забезпечувати спрямоване формування значень усіх показників якості, що в подальшому визначають властивості машин при експлуатації [26].

Особливу увагу питанням забезпечення точності машин, підвищення продуктивності та зниження собівартості приділили автори [27]. Вони зазначають, що підвищення ефективності сучасного виробництва на основі комплексної механізації та автоматизації технологічних процесів викликає необхідність застосування гнучких виробничих систем (ГВС), роботизованих технологічних комплексів (РТК) та іншого технологічного обладнання працюючого від ЕОМ.

Детально розглянуті технологічні основи створення виробів, питання точності обробки і складання, технологічної підготовки виробництва. Поняття точності в машинобудуванні, дана характеристика точності заготовок, точності деталей, точності з'єднань і способів забезпечення заданої точності при виготовленні деталей і збірці. Були розглянуті технологічні розмірні розрахунки, розробка прогресивних технологічних процесів.

Розглядаючи процеси обробки і складання не можна не розглянути питання розмірного аналізу, одного з ключових при проектуванні нових вузлів і нових технологічних процесів механічної обробки. У [28] викладено основні відомості про розмірні зв'язки у виробках, аналізуючи які автори вивели залежності для розрахунку допусків. Запропоновано порядок проведення розрахунку, надано рекомендації для складання основних розрахункових схем та проведення розмірного аналізу на стадії

проектування. У роботі [29] розглянуто методи виявлення складальних розмірних ланцюгів та їх розрахунок, як при новому проектуванні, так і при розробці складальних технологічних процесів машин, що знаходяться у виробництві. Описані методи досягнення точності замикаючої ланки і методи визначення допусків на складові ланки розмірних ланцюгів.

Методику розмірного аналізу із застосуванням автоматизованої системи проектування технологій РТП 2000 розкрито в [30]. Показано класифікацію, позначення та кодування інформації при розрахунку операційних розмірних ланцюгів. Описано алгоритмічну мову схеми аналізу.

У [31] на прикладі деталі шків розкрито можливості розмірного аналізу технологічних процесів. Показано основні розмірні параметри, які використовуються при аналізі, основні завдання, що вирішуються розмірним аналізом.

Одним із сучасних способів дослідження процесів механічної обробки є імітаційне моделювання із застосуванням ЕВМ.

Сучасні ЕОМ дозволяють зробити розрахунок будь-якого типу і змоделювати його за будь-яким заданим законом, в тому числі і випадковим розподілом. Такий підхід було реалізовано в роботі [32]. Розглянута імітаційна модель обробки токарним різцем кільцевої заготовки, що має похибку профілю поперечного перерізу у вигляді еліпса.

Імітаційне геометричне моделювання показало свою ефективність у дослідженні процесів з невизначеними заздалегідь параметрами руху елементів технологічної системи.

Автором у [33] розглядає стохастичний імітаційний підхід для створення математичних моделей для прецизійних операцій механічної обробки. Розглядаються загальні характеристики математичного моделювання: класифікація моделей, адекватність, область застосування. Проводиться аналіз способів побудови математичних моделей - це методи

теорії подоби, методи найменших квадратів, методика планування експериментів. Запропонований підхід дає можливість вироблення кількісних критеріїв для порівняння технологічних рішень.

Завдання досягнення потрібного рівня якості при проектуванні операцій технологічного процесу механічної обробки для нових деталей, є досить складними. Розрахунок та побудова розмірних зв'язків, режимів різання передбачає параметричну оптимізацію, а вибір обладнання, інструмента та пристосування вимагає використання алгоритмів перебору. Подібний підхід, а саме імітаційне стохастичне моделювання процесу формоутворення шорсткості при точенні ми б хотіли здійснити в нашій роботі таким чином, щоб створені моделі могли бути використані як при проектуванні операцій, так і для перевірки прийнятих технологічних рішень.

1.3 Аналіз причин виходу з ладу роликкоопор стрічкових конвеєрів, вплив навантажень на вузли стрічкових конвеєрів

Експлуатація стрічкових конвеєрів працюючих у важких умовах і заповишеному середовищі показує, що однією з причин, що відбуваються на конвеєрах аварій, є вихід з ладу роликів конвеєра. За наявними даними, в шахтах Росії щорічно відбувається 9-11 загорянь, з них з експлуатацією стрічкових конвеєрів пов'язано до 5 великих пожеж призвели до великих матеріальних витрат і навіть до людських жертв [34], не обійшлося без пожеж і вибухів на шахтах Донбасу (Україна) і карагандинського вугільного басейну РК. Наприклад, з 86 аварій, за останні 5 років у вугільній промисловості Кузбасу, 82 сталося в шахтах, 42% з них були підземними пожежами. Статистичні дані свідчать, що майже 30% з них пов'язано із загорянням конвеєрної стрічки. Причому пожежі виникають, як правило, на приводних станціях (64%), натяжних станціях (10,8%) і

лінійній частині конвеєра (25,2%). Основною причиною загоряння стрічки на лінійній частині конвеєра стає руйнування підшипника ролика, його подальше заклинювання, надмірне тертя ролика об стрічку і як наслідок, нагрів і загоряння [35]. Вихід його з ладу ролика неминуче впливає на роботу всього конвеєра. Це може бути зростаючий опір обертанню стрічки, що призводить до підвищеного енергоспоживання, тертя ролика про стрічку і як наслідок нагрів і можливе загоряння, викликати порізи конвеєрної стрічки (рис. 1.15) одного з найдорожчих елементів стрічкового конвеєра.



Рис. 1.15 - Порізи на конвеєрній стрічці (на фото стрічковий конвеєр, транспортування гравію)

Згідно з даними (таблиця 1.3) основними причинами виходу з ладу роликів є стопорення підшипникових вузлів роликів, внаслідок їх засмічення пилоподібними частинками (38%), недостатності мастила за передбачуваний термін технічного обслуговування (37%) [36]. Однією з причин стопоріння є заклинювання підшипника ролика внаслідок дії динамічних навантажень, що призводять до надмірного перекосу

внутрішнього і зовнішнього кільця щодо один одного і запозичення елементів гойдання, постійні повторювані цикли вирізнення можуть призвести, в кінцевому рахунку, до руйнування підшипника. Збільшення кутів перекошу шарикопідшипників сприяє «самовстановці» осі ролика в обечайці і може допомогти у вирішенні даної проблеми.

Таблиця 1.3 - Статистичний розподіл відмов

Причини виходу з ладу	Частота відмов,%	
	верхній гілці	нижньої гілки
Засмічення підшипників і їх стопоріння	38	12
Відсутність або брак змазки підшипників	37	36
Слабка посадка підшипників у корпусі (або в ступицях)	12	10
Слабка посадка підшипників на незнаній осі	3	3
Рівномірний закінчення обечайки за кола під час перевантаження	2	30
Невстановлені фактори при експлуатації	8	9

Решта причин відмов викликані, як правило, або технологічними факторами (слабка посадка підшипників в корпусі або осі) неправильним підбором роликів для цих умов роботи або неправильним обслуговуванням [37].

В результаті проведеного моніторингу на ряді підприємств області експлуатують стрічкові конвеєри було виявлено ряд основних причин. Ці висновки в основному збігаються з результатами в таблиці 1.3: відсутність обертання ролика як верхньої, так і нижньої гілки внаслідок виходу з ладу підшипника або лабіринтного ущільнення; руйнування ролика витискуванням ступиці в результаті неправильного підбору роликів при цьому навантаженні [38];

Має місце низька культура обслуговування та контролю стрічкових

конвеєрів особливо на малих підприємствах, це може бути нерегулярна мастила ремонтпридатних роликів, несвоєчасна заміна тих, що вийшли з будови роликів, тобто ролики експлуатують аж до остаточного заклинювання підшипника.

Виявлено проблему відсутності єдиного регламенту підбору роликів для конвеєрів, тобто на стрічковому конвеєрі могли використовуватися ролики різних виробників, з різною конструкцією, різною масою, опором обертанню. Досі на більшості підприємств відсутня практика діагностики стану підшипників, заміна ролика відбувається лише після остаточного виходу з ладу. Все це разом з важкими умовами експлуатації, звичайно, позначається на зменшенні терміну служби роликів.

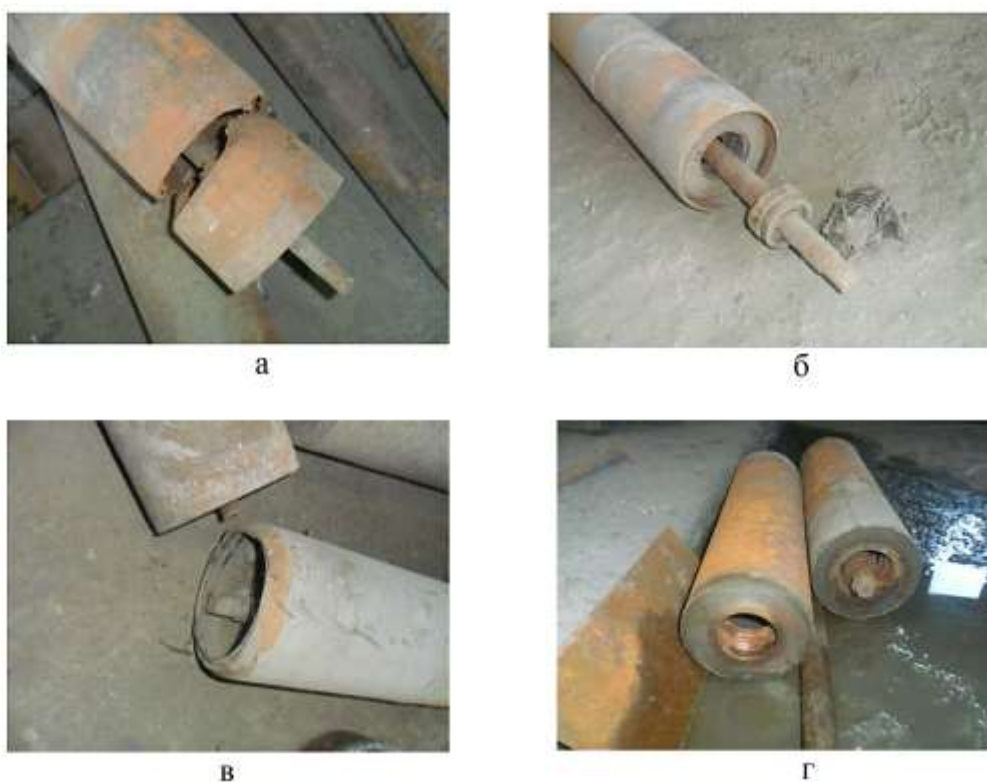


Рис. 1.16 - Основні несправності при роботі конвеєрних роликів
(стрічковий конвеєр, транспортування мідної руди)

а - руйнування обечайки ролика внаслідок заклинювання підшипника і впливу агресивного середовища, б, в, г - вихід з ладу підшипника, з витисненням ступиці або підшипника

У своїх роботах А.О. Співаковський, А.Г. Шахмейстер, В.Г.Дмітрієв, В.І Галкін [39] розглянули основи теорії стрічкових конвеєрів і способи розрахунку продуктивності, приводів, натяжних пристроїв, конструктивних параметрів, динамічних процесів, стійкості стрічки, тягового розрахунку.

Представлені теорія надійності стрічкового конвеєра та його окремих вузлів.

Розглянуто питання ефективності, енергоємності параметрів стрічкових конвеєрів і методи їх оптимізації. У їхніх роботах зазначено, що основна причина відмови роликів це відмова підшипникового вузла.



Рис. 1.17 - Заклинювання підшипника конвеєрного ролика з видавлюванням ступиці (стрічковий конвеєр, транспортування гравію)

У [40] автори, аналізуючи динамічні навантаження на лінійних роликоопорах стрічкових конвеєрів зробили висновки, що кожній середній швидкості руху стрічки відповідає оптимальний крок роликоопор, який забезпечує мінімальні динамічні навантаження. При невдало обраному кроці роликоопор, він може бути визначальним фактором надійності вузлів СК при транспортуванні великокускового вантажу.

Відома робота [41] в якій автор всебічно розглянув питання

надійності та якості машин. Надано визначення показників якості, розглянуто управління якістю. Поняття і терміни теорії надійності. Надійність елементів у підйомно-транспортних машинах і прогнозування показників надійності. Способи підвищення надійності. Розглянуті навантаження в ПТМ, несуча здатність і граничні стани їх елементів.

У дослідженнях В.Ф.Монастирський та ін. [42] пропонують методику визначення середнього терміну служби роликів для різних конструкцій роликкоопор, з урахуванням навантажень на підшипники ролика. З'ясувалося, що термін служби роликів конвеєрів залежить від погонного навантаження, параметрів конвеєра, гранскладу вантажу, типу і параметрів ролика і роликкоопор, швидкості руху стрічки. Також в розглянуті завдання визначення динамічних зусиль при русі по роликкоопорах стрічки з великими шматками вантажу, визначені коефіцієнти динамічності і коефіцієнти реакції роликкоопор рівні відношенню сили реакції до ваги шматка вантажу.

Результатами проведених авторами експериментів були математичні моделі «зовнішнього» впливу насипного вантажу на елементи конвеєра, встановлено закономірності між навантаженням і параметрами опорних елементів.

У роботі автор займається дослідженням навантаження на підшипники роликкоопор лінійного става стрічкових конвеєрів. Їм був запропонований алгоритм розрахунку площі максимального перерізу вантажу на стрічці за допомогою ЕОМ. Визначено навантаження для низки випадків навантаження, з урахуванням динамічних навантажень, що виникають при транспортуванні шматкових вантажів.

У роботі досліджували взаємодії динамічних навантажень на стрічку і ролики стрічкового конвеєра при транспортуванні великих вантажів. Описано залежність швидкості руху стрічки конвеєра, від поздовжніх і поперечних коливань, і від її зусилля натягнення. Показані умови

виникнення небажаних екстремальних коливань при нерівномірному розподілі маси вантажу по стрічці.

У роботі автор досліджував швидкість зношування елементів роликоопор вузла завантаження конвеєра і їх взаємозв'язок від величин випадкових динамічних навантажень. Створено розрахункову модель амортизованої роликоопори, виведено рівняння для її математичного рішення з оцінкою похибки рішення.

Представлені результати експериментального та регресійного аналізу динамічних ефектів і реакції в системі, що складається з конвеєрної стрічки і підтримує системи з натяжним барабаном. Створені моделі описують процес динамічного впливу навантаження на стрічковий конвеєр, при падінні матеріалу [43].

Метою роботи є представлення математичних і статистичних підходів для оцінки якості конвеєрної стрічки з точки зору їх ударопрочності. Стаття вказує на можливості використання моделей регресії на практиці для визначення основних технічних параметрів.

Автори розглядають вплив конструктивних параметрів і компонентів стрічкових конвеєрів на надійність і споживання електроенергії. Розглянуто стандарти «DIN 22101 Belt Conveyors for Bulk Materials; Deutche Norm 2002», дана оцінка факторів що призводять до втрат електроенергії, таких як зрослий опір обертанню роликів та ін [44].

У розглядається надійність роликоопор у контексті підвищення надійності їх підшипникових вузлів шляхом поліпшення конструкцій ущільнень. Вона показує, що основними і постійно діючими факторами, що визначають пилопроникність ущільнювальних вузлів роликів, поряд з «диханням» внутрішнього обсягу ролика внаслідок добового перепаду температур навколишнього середовища, є радіальна і осьова гра в підшипниках і неточності виготовлення деталей ущільнень.

Узагальнюючи розглянуті роботи можна помітити зв'язок надійності

та терміну служби (довговічності) вузлів стрічкових конвеєрів, з параметрами транспортованого вантажу, навантаженнями на ролики, швидкістю стрічки конвеєра.

Тобто. термін служби роликів конвеєра, а як з'ясувалося основна причина виходу з ладу ролика це відмова підшипникового вузла, багато в чому залежить від погонного навантаження, параметрів конвеєра, гранскладу вантажу, конструкції роликів і роликкоопор. Важливий і правильний підбір роликів та їх відповідність параметрам експлуатації конвеєра, це тип ролика, конструктивні елементи, такі як застосовувана ступиця, тип підшипник, матеріал, товщина обічайки і використовувані лабіринтні або контактні ущільнення.

РОЗДІЛ 2. ПРОГНОЗУВАННЯ ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ КОНСТРУКЦІЙ ОПОРНИХ РОЛИКІВ СТРІЧКОВИХ КОНВЕЄРІВ

2.1 Методика визначення перспективи конструкцій роликів на основі інженерного прогнозування

Інженерне прогнозування з'явилася у зв'язку з необхідністю в науково обґрунтованому передбаченні розвитку техніки, технологій, конструкцій і технічних напрямків. Інженерне прогнозування передуює плануванню та проектуванню. Воно розкриває глобальні, потенційно можливі шляхи розвитку техніки і відрізняється від наукового передбачення вибором конкретних джерел інформації, що забезпечують безперервність прогнозування в рамках середньострокового і короткострокового періодів. У прогнозуванні залежно від цілей можуть використовуватися практично всі доступні джерела інформації, умовно їх можна розділити на параметричні та непараметричні.

Широко відомі дослідження в галузі інженерного прогнозування вітчизняних і зарубіжних вчених, таких як Янч Е., Паул Діксон, Дж. Мартіно, Гмошинський В.Г., Джієнкулов С.А., Кабашев Р.А., Сурашов Н.Т., та інші [45]. У працях вчених описано все різноманіття застосовуваних способів прогнозування, самі методи прогнозування як комплексний процес.

Предметом досліджень у роботі є невизначеність прогнозування на основі невизначених спостережуваних даних. Книга представляє численні методи, які дозволяють розробляти успішні прогнози в різних галузях науки, таких як, будівництво, наука про навколишнє середовище або економіка, якщо є відповідна послідовність спостережуваних даних.

Авторами розроблено алгоритм для короткострокового прогнозування, шляхом узагальнення даних. Алгоритм поєднує в собі риси

з методів, заснованих на знаннях і статистиці. Алгоритм за своєю суттю оновлюваний, і це забезпечує можливість систематичного втручання оператора, при необхідності. В даний час його використовують для прогнозування погодних умов, середні абсолютні похибки тижневих прогнозів в діапазоні від 1,22% до 2,7%. Однак видно перспективи використання подібних алгоритмів і комп'ютерів у створеннях прогнозних моделей для інших областей науки і техніки.

Стосовно нашого випадку коротко і змістовно це питання розглянуто в роботі [46]. Автором були описані методи інженерного прогнозування, такі як Делфі, АРІЗ, ТРІЗ та інші. Розроблена генеральна визначальна таблиця, описані методи прогнозування.

В умовах великого масиву інформації, що має різний характер від загальнотехнічного до спеціального, інженерного досвіду і традиційних способів дослідження буває недостатньо для визначення напрямку розвитку тих чи інших машин у майбутньому. Виникає необхідність звернутися до способів наукового прогнозування, які базуються на конкретних розділах техніки та відомих методах прогнозування.

Особливого значення набуває аналіз джерел, що несуть значні інформаційні навантаження (патенти, інноваційні патенти та ін.), але не мають традиційних числових параметрів, за якими зазвичай оцінювали нові технічні рішення та формування на їх основі моделей прогнозування. Тобто. є необхідність у спеціальних методах аналізу інженерно-технічної цінності подібної інформації у кількісному форматі. При цьому надмірна велика кількість числових параметрів також ускладнює його оцінку, тим більше що можливі ситуації, коли одні параметри розробки можуть бути краще існуючих параметрів, а інші навпаки. Для виключення подібних ситуацій є необхідність у розробці узагальнених критеріїв, що дають точну і повну характеристику технічної перспективності та конкурентоспроможності нових виробів. Таким чином, інформація

повинна бути систематизована до зручного для прогнозування виду.

Джерела інформації можна розділити на дві групи:

а) параметричні, що відображають інформацію в числових параметрах (маса, швидкість та ін.);

б) непараметричні, що відображають інформацію без використання числових параметрів.

Для практичного використання непараметричних джерел інформації необхідно трансформувати в числові критерії, що містять характеристики цих ідей. Це відноситься і до прогнозування щодо патентних джерел, яке найбільш підходить для прогнозування різних конструкцій машин і механізмів. Важливість інформації, що міститься в патентах, виходить з їх сутності, оскільки патенти відображають в концентрованій формі найновіші і найчастіше випереджають свій час ідеї в тій чи іншій сфері. Опубліковані патенти здебільшого володіють новизною порівняно з попередніми патентами, показуючи вдосконалення конструкцій у часі і в цьому полягає певний прогнозний потенціал. Однак лише 7-9% патентів знаходять практичне застосування, також ясно, що це лише опис нових конструкцій або ідей і їх графічне втілення, тому лише правильний аналіз всієї інформації статистичної і патентної дасть повну картину подальшого розвитку конструкцій. Необхідна правильна оцінка вихідної інформації на відповідність критеріям і характеристикам (оцінка на перспективність), оскільки частину патентів можна виключити вже на цьому етапі як дезорієнтуючі патенти.

Для перевірки перспективності конструкцій опорних роликів конвеєрів ми використовуємо комплексну методику прогнозування казахстанських вчених на основі патентної інформації [47]. З метою подальшого аналізу ми провели патентний пошук конструкцій опорних роликів глибиною 43 роки, були відібрані і проаналізовані опубліковані патенти, як українські, так і зарубіжні з 1977 року по 2020 роки, це є

вихідною інформацією для даного дослідження перспективності конструкцій роликів. Всі патенти були відібрані з відкритих джерел літератури, інтернету і патентного фонду науково-технічної бібліотеки.

Конструкції опорних роликів були класифіковані за кількома основними ознаками і перевірені на перспективність за допомогою генеральної визначальної таблиці. Основні принципи створення ГВТ відомі і викладені в джерелах [48]. Для наших цілей при прогнозній оцінці конструкцій найбільш підходить генеральна визначальна таблиця.

Перетворення інформації полягає в тому, що патенти зіставляється з ГВТ, і згідно з ГВТ за кожною характеристикою знаходиться адекватна їй позиція, далі йде оцінка в балах, також обчислюються коефіцієнти повноти винаходів за цими позиціями [49]. Коефіцієнт повноти винаходів являє собою узагальнений показник, за яким можна оцінити інженерно-технічну значущість нових рішень, представлених у непараметричних джерелах (патентах).

Коефіцієнт повноти винаходів характеризує ймовірність впровадження у виробництво нової техніки і потенційний технічний рівень прогнозованого об'єкта:

$$r = \frac{q}{q_{\max}} = \frac{\sum_1^n j \cdot \varphi(i)}{n \sum_1^n \varphi(i)} \quad (2.1)$$

де q - фактична сума оцінок, одержувана в результаті зіставлення патенту з ГВТ;

q_{\max} - максимальна сума оцінок, взята з характеристичної матриці.

Граничні значення коефіцієнта повноти знаходяться в межах

$$0,2 \leq r \leq 1 \quad (2.2)$$

Тому, чим ближче коефіцієнт повноти до одиниці, тим перспективніше інженерне рішення. Резерв подальшого удосконалення винаходу можна визначити за формулою:

$$d = 1 - r \quad (2.3)$$

Використовуючи формулу коефіцієнта повноти винаходу (2.1) і пов'язавши такі семантичні категорії (неперспективно, перспективно, малоперспективно, досить перспективно) з системою балів з матриць характеристик [50] отримуємо відповідності, що відображають у кількісній формі інформацію з патентів і шкалу оцінки ефективності об'єктів прогнозування (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 - Шкала оцінки ефективності технічних рішень

Коефіцієнт повноти винаходу	Прогнозування перспективності		Категорія прогнозування
	Семантична оцінка	Рівень оцінки	
1,00 0,93	Доволі перспективно	Верхній	I в
0,92 0,86		Середній	I с
0,85 0,80		Нижній	I н
0,79 0,73	Перспективно	Верхній	II в
0,72 0,66		Середній	II с
0,65 0,60		Нижній	II н
0,59 0,53	Малоперспективно	Верхній	III в
0,52 0,46		Середній	III с
0,45 0,40		Нижній	III н
0,39 0,20	Неперспективно	----	IV

Крім цього необхідно визначити наведене число патентів, узагальнений коефіцієнт повноти, а також оптимальну стратегію технічної системи.

За формулою 2.4 визначаємо наведене число патентів, наведене число патентів M_n характеризує технічний потенціал груп, представлених N_n патентами [51]

$$M_n = \sum_1^{K-N_n} r_K \quad (2.4)$$

тут r_K - коефіцієнт повноти винаходів.

Наведене число патентів зазвичай менше номінального. Обчислення наведеного числа патентів дає можливість:

- виділити лідируючий напрямок техніки;
- виявити альтернативні технічні напрямки.

Узагальнений коефіцієнт повноти $r_{об}$ характеризує ймовірний рівень техніки в перспективі і має вигляд [52].

$$r_{об} = \frac{1}{N_n} \sum_{K=1}^{K=N_n} r_K \cdot \eta_K \quad (2.5)$$

тут N_n - номінальне число патентів; η_K - частота потрапляння патенту в даний статистичний клас; r_K - коефіцієнт повноти одиничного патенту.

У практичних розрахунках використовується модифікований узагальнений коефіцієнт повноти, що являє собою відношення наведеного потоку патентної інформації - $M_n(t)$ до номінального - $N_n(t)$ числа

$$r_{об} = \frac{\lim_{\delta \rightarrow 0} \sum_a^b M_n(t) \cdot \Delta t}{\lim_{\delta \rightarrow 0} \sum_a^b N_n(t) \cdot \Delta t} = \frac{\int_a^b M_n(t) dt}{\int_a^b N_n(t) dt} \quad (2.6)$$

коли $|\Delta t| < b$

При розрахунку модифікованого узагальненого коефіцієнта повноти додатково генерується інформація для оцінки ефективності варіантів розвитку конструкцій. Тому будуються чотири типи кривих, які відображають розподіл джерел інформації у часі. Це криві наведеного числа патентів, номінального числа патентів, наведеного числа патентів у наростаючому підсумку і номінального числа патентів у наростаючому підсумку для кожного виду роликів (рис. 2.1, 2.2, 2.3, 2.4). Якщо перші дві криві показують динаміку генерації нових технічних ідей, третя і четверта крива допомагає визначити узагальнений коефіцієнт повноти і дає характеристику перспективи даної конструкції, показує технічний рівень конструкцій використовуваних в даних патентах.

2.2 Прогнозування щодо патентів перспективності конструкцій роликів конвеєрів

Було розглянуто понад 200 конструкцій роликів конвеєрів за період з 1977 року по 2020 роки, з них було відібрано 125 конструкцій. Класифікація роликів була проведена за конструктивними функціонально-однорідними ознаками на наступні підгрупи, далі була проведена оцінка даних конструкцій згідно з ГВТ і шкалою оцінки технічних рішень (таблиця 2.1):

- жорсткі ролики з товстостінною обичайкою для важких та надважких вантажів (P_1);
- ролики з обичайками або маточиною гумометалевими, або з комбінованих матеріалів для всіх типів вантажів (P_2);
- ролики з деформованими тонкостінними маточками складної форми та обичайкою для легких та середніх вантажів (P_3).



Рис. 2.1 - Патентна інформація щодо жорстких роликів з товстостінною обичайкою для важких і надважких вантажів (P_1)

З графіка (рис. 2.1) видно, що найбільш активні розробки даних конструкцій були в 1980, 1986 роках, після чого спостерігається спад, і відсутність нових конструкцій в 2015-2020 роках. Тому крива наведеного числа конструкцій в наростаючому підсумку, в ці роки не показує тенденцію до зростання. Це свідчить про обмежену перспективу конструкцій, що видно також із семантичної оцінки цих патентів (3н, 4, 3с), ця оцінка малоперспективно і неперспективно. Звичайно, це не говорить про слабкий технічний рівень всіх конструкціях з даної групи, а показує необхідність пошуку більш ефективного варіанту виконання (це такі параметри як вага конструкції, металомісткість, термін служби тощо).

Ролики з обечайками або ступицями гумометалевими, або з комбінованих матеріалів. Ми бачимо з кривої номінального числа конструкцій (рис. 2.2) найбільший розвиток ролики з гумометалевими ступицями отримали в 80-х роках, і з тих пір, незважаючи на зниження кількості патентів по роках, спостерігається стабільний приріст нових конструкцій. Криві наведеного числа конструкцій у зростаючому підсумку показують можливість подальшого застосування даних конструкцій. Криві наведеного числа конструкцій у наростаючому результаті показують можливість подальшого застосування цих конструкцій у різних видах конвеєрів для транспортування вантажів. Семантична оцінка даних конструкцій, - (2с, 2н, 3в) перспективно і малоперспективно, проте більше оцінок перспективно.

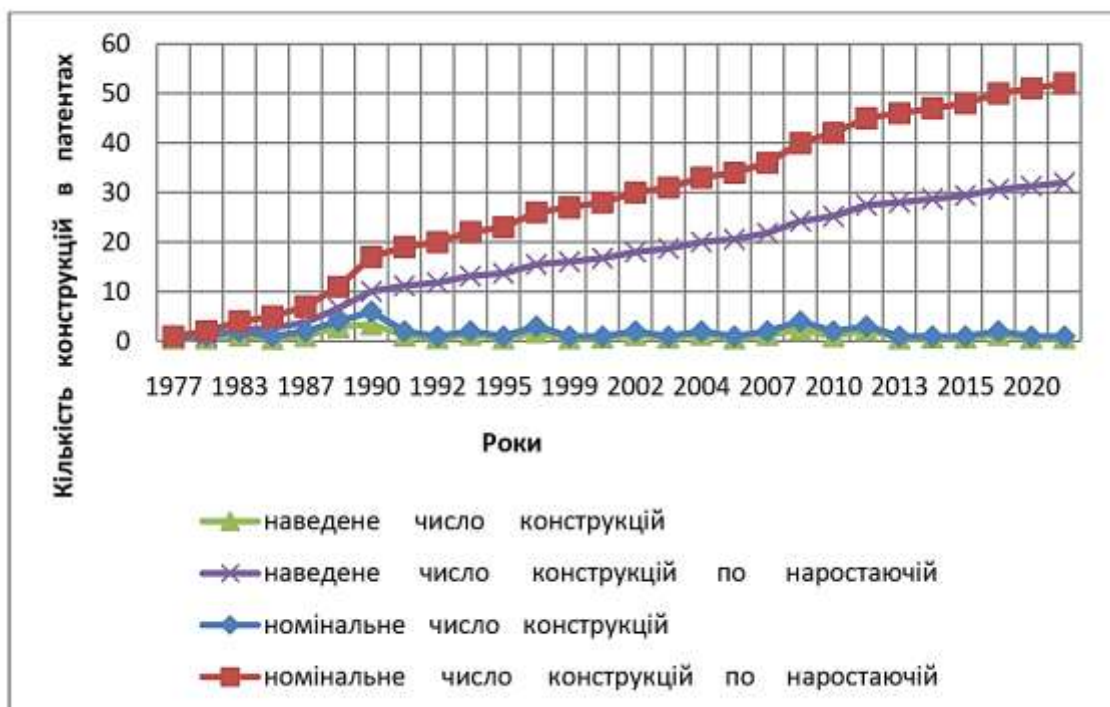


Рис 2.2 - Графік патентної інформації щодо роликів з обичайками або ступицями гумометалевими, або з комбінованих матеріалів для всіх типів вантажів (P_2)

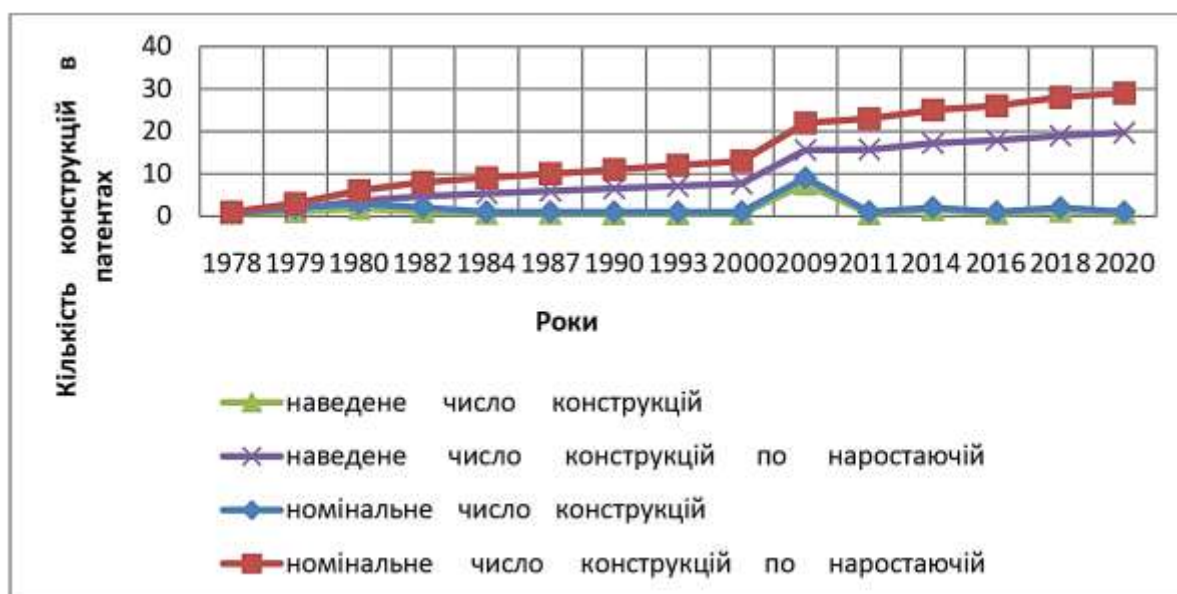


Рис. 2.3 - Патентна інформація щодо роликів з тонкостінними ступицями складної форми та обечайкою для легенів і середніх вантажів (P_3)

Конструкції з тонкостінними ступицями для легенів і середніх вантажів масово почали з'являтися у 80-х роках, зараз деякі конструкції з полегшеними штампованими ступицями можуть використовуватися для транспортування і важких вантажів. Як ми бачимо з рис. 2.3, ці конструкції переживали бурхливе зростання в 1999-2000 роках, далі приріст конструкцій стабілізувався. Семантична оцінка конструкцій за патентами згідно з коефіцієнтом повноти винаходу в (1с, 2в, 2н, 3в), тобто більш схильна до оцінки перспективно, що також підтверджується кривими наведеного і наведеного в наростаючому підсумку числа конструкцій (рис. 2.3).

Перші конструкції роликів із самовстановлюваними підшипниковими вузлами з'явилися у 80-х роках і переживали найбільше зростання до 2008 року. Криві (рис. 2.4) показують постійний зріст, що вказує на перспективність конструкцій. Так само про перспективність даних конструкцій говорить семантична оцінка, проведена, де за допомогою коефіцієнта повноти винаходу виведена категорія прогнозу і дана відповідна середня оцінка (1с, 1н, 2в, 2с) яка відповідає згідно зі шкалою (таблиця 2.1) оцінці перспективно і доволі перспективно.



Рис. 2.4 - Патентна інформація щодо роликів із самовстановлюваними підшипниковими вузлами для всіх типів вантажів (Р₄)

Порівнюючи графіки (рис. 2.1-2.4) можна вказати такий критерій перспективності і технічного рівня винаходів як схожість кривих номінального числа конструкцій в наростаючому підсумку (характеризує приріст конструкцій по роках) і наведеного числа конструкцій в наростаючому підсумку (характеризує технічний рівень винаходу). Так на рис. 2.1 ми бачимо, що дані дві криві мають максимальну відстань один від одного, а також тенденцію до збільшення цієї відстані, це вказує що, незважаючи на велику кількість представлених конструкцій, їх технічний рівень зростає незначно, що звичайно позначається на перспективах даної конструкції негативно. На рис. 2.4 для роликів з самовстановлюваними підшипниковими вузлами ці дві криві видалено один від одного незначно і навіть на деяких відрізках паралельні один одному, що навпаки вказує на перспективність конструкцій і відповідає високому технічному рівню винаходів.

2.3 Обґрунтування пропонованої конструкції опорного ролика конвеєра

Відповідно до Співаковського А.О. [53] одним з основних напрямків перспективного розвитку сучасних транспортуючих машин є:

- підвищення продуктивності конвеєра. Це реалізується шляхом вибору найбільш раціональної форми вантажонесучого елемента конвеєра, а також збільшення швидкості руху конвеєра;
- підвищення надійності машин та спрощення їх обслуговування у важких умовах експлуатації;
- зниження металомісткості, маси та зменшення габаритних розмірів машин шляхом створення принципово нових полегшених конструкцій із застосуванням пластмас, легких сплавів, тонкостінних гнутих профілів металу тощо.

Як уже йшлося в розділі 1, за період, з 90-х років, було

запропоновано низку конструкцій опорних роликів, об'єднаних загальним принципом примусового спільного перекосу зовнішнього і внутрішнього кільця підшипника качання конструктивними методами (тобто створення самовстановлюваного підшипникового вузла). Це досягається різними способами, якщо у попередніх винаходах [54] примусовий перекіс зовнішнього кільця підшипника здійснюється за рахунок осьової сили, то вже в наступних конструкціях [55], проводиться за рахунок самого радіального навантаження, що діє на ролики. В даний час робота над вдосконаленням конструкцій триває і в 2015 році була подана заявка і отримано позитивне рішення про видачу інноваційного патенту на винахід «Стрічковий конвеєр» де розглядається конструкція подібного ролика. Однак оскільки неможливо в рамках даної роботи розглянути і ретельно опрацювати всі конструкції опорних роликів стрічкових конвеєрів об'єднані в групу Р4, для подальшого опрацювання була розроблена раціональна конструкція з максимальною уніфікацією деталей і надійним ущільнювальним вузлом для стрічкових конвеєрів працюють у важких умовах. На дану конструкцію опорного ролика, як вже зазначалося в розділі 1. Для опорного ролика стрічкового конвеєра (рис 1.15) була розроблена технологія виготовлення, проведено розмірний аналіз вузла і технологічного процесу механічної обробки деяких деталей, розроблений технологічний регламент, проведено глибокий аналіз з використанням сучасних засобів обчислювальної техніки.

Переваги ролика нової конструкції: підшипниковий вузол ролика це тонкостінна пруга ступиця певної геометричної форми, склянка, дозволяє виробляти примусовий перекіс зовнішнього кільця підшипника спільно з внутрішнім кільцем підшипника за рахунок радіального навантаження, що діє на ролики. Це дозволяє запобігти відновленню елементів качання в підшипнику і істотно продовжує термін служби.

Є штапована захисна кришка, крім лабіринтного ущільнення

присутнє роторне контактне ущільнення, в конструкції роторного ущільнення використовується ефект відцентрового очищення від пилоподібних частинок. Також конструкція роторного ущільнення дозволяє під час зупинки конвеєра перешкоджати проникненню пиловидних частинок з навколишнього середовища. Використовуються підшипники з захисною шайбою.

2.4 Математична модель стрічкового конвеєра

Математична модель СК без демпферної обмотки будується на основі теорії узагальненої електричної машини з такими припущеннями:

- 1) Насичення феромагнітного матеріалу не враховується.
- 2) ЕРС в обмотках статора має синусоїдальну форму.
- 3) Вихрові струми та втрати на гістерезис зневажливо малі.
- 4) Динаміка обмотки збудження відсутня.

Оскільки магнітна проникність стали ротора набагато вищою, ніж магнітна проникність постійних магнітів, можна вважати, що насичення машини залежить тільки від ПМ. Насичення магнітного ланцюга СДПМ практично не залежить від режиму роботи, магнітний потік машини є постійним, і його конфігурація визначається повітряним зазором, внаслідок чого можна знехтувати нелінійністю магнітного ланцюга, оскільки індуктивності статорних обмоток не залежать від величини і знака протікаючого в них струму.

На рис. 2.5 показана модель СК в системі відліку $d-q$. У кожен момент часу між кутом, між обертовою d -віссю ротора і нерухомою віссю статора дорівнює кутовому положенню ротора.

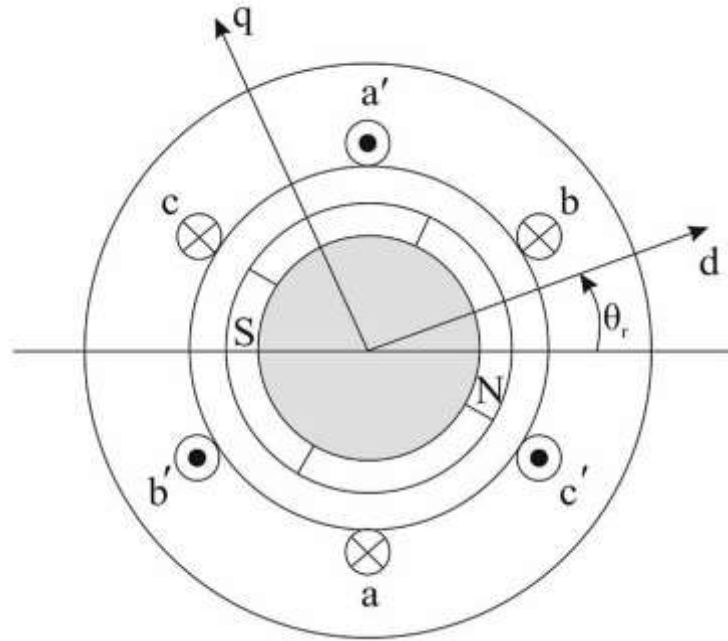


Рис. 2.5 - Схема СК у двофазній системі d - q

Схема заміщення СК так само будується в системі координат d - q , пов'язаних з ротором, що обертається. На рис. 2.8 представлена еквівалентна схема заміщення, аналогічна схемам заміщення для машин із паралельним збудженням. Постійні магніти представляються у вигляді джерела струму i_{PM} в ланцюзі ротора, який створює потокозчеплення розсіювання ψ_{PM} в повітряному зазорі.

Рівняння напруги СК в осях d - q щодо ротора (2.5), отримані на основі рівнянь для узагальненої електричної машини []:

$$\begin{aligned} \overline{u}_{sd} &= R_s \overline{i}_{sd} - \frac{d\overline{\psi}_{sd}}{dt} = R_s \overline{i}_{sd} + L_{sd} \frac{d\overline{i}_{sd}}{dt} - \omega_{0el} L_{sq} \overline{i}_{sq}, \\ \overline{u}_{sq} &= R_s \overline{i}_{sq} - \frac{d\overline{\psi}_{sq}}{dt} = R_s \overline{i}_{sq} + L_{sq} \frac{d\overline{i}_{sq}}{dt} + \omega_{0el} L_{sd} \overline{i}_{sd} + \omega_{0el} \overline{\psi}_{PM}, \end{aligned} \quad (2.7)$$

де u_{sd} , u_{sq} - напруги обмотки статора по осях d - q , В;

R_s - активний опір статора обмотки, Ом;

i_{sd} , i_{sq} - струми обмотки статора по осях d - q , А;

L_{sd} , L_{sq} - індуктивності обмотки статора по осях d - q , Гн;

ψ_{sd}, ψ_{sq} - потокозчеплення розсіювання обмотки статора по осях d - q , Вб;
 ω_{el} – кутова швидкість магнітного поля, що обертається, рад/с.

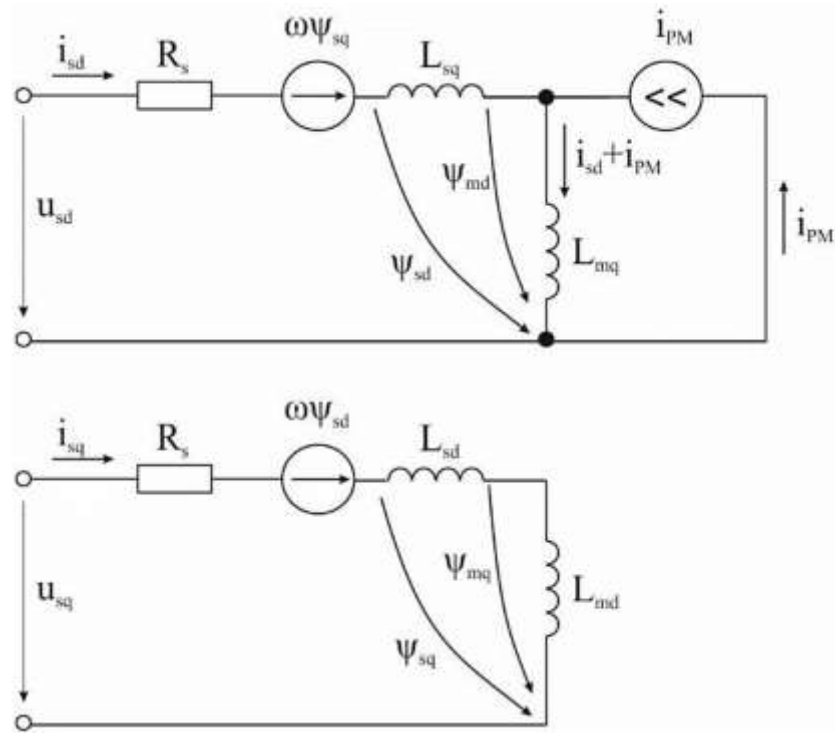


Рис. 2.6 - Еквівалентна схема заміщення СК в осях d - q

Потокозчеплення розсіювання обмотки статора і постійних магнітів

(2.8):

$$\begin{aligned} \overline{\psi}_{sd} &= L_{sd} \overline{i}_{sd} + L_{md} \overline{i}_d + \overline{\psi}_{PM}, & \overline{\psi}_{sq} &= L_{sq} \overline{i}_{sq} + L_{mq} \overline{i}_q, \\ \overline{\psi}_d &= L_{md} \overline{i}_{sd} + L_d \overline{i}_d + \overline{\psi}_{PM}, & \overline{\psi}_q &= L_{mq} \overline{i}_{sq} + L_q \overline{i}_q, & \overline{\psi}_{PM} &= L_{md} \overline{i}_{PM}. \end{aligned} \quad (2.8)$$

Через високу магнітну індукцію постійних магнітів потокозчеплення розсіювання ПМ - ψ_{PM} , а також взаємні індуктивності L_{md} і L_{mq} можна вважати постійними. Векторна діаграма для СК в осях статора x - y і ротора d - q представлена на рис. 2.7.

Рівняння для електромагнітного моменту M_{em} і механічної частини СК (2.9) будуються за аналогією з синхронними машинами з паралельним збудженням:

$$M_{em} = \frac{3}{2} P_n \left[\overline{\Psi_{PM}} \overline{i_{sd}} + (L_{sd} - L_{sq}) \overline{i_{sd}} \overline{i_{sq}} \right] + M_z,$$

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_{em} - M_o,$$
(2.9)

де M_o - момент опору на валу двигуна, Н - м.

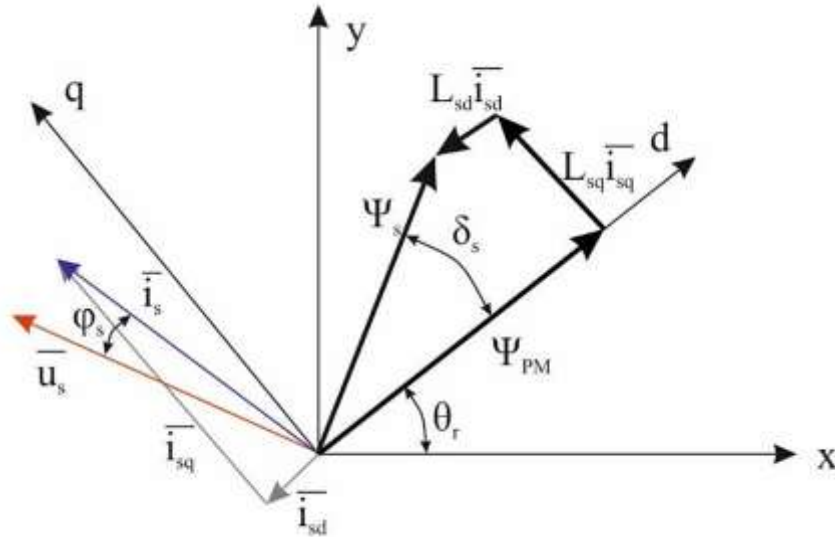


Рис. 2.7 - Векторна діаграма СК статора x - y і ротора d - q

Електромагнітний момент M_{em} складається з двох складових. Перша залежить від поточчеплення розсіювання ПМ і струму статора, спрямованого перепендикулярно потокозчепленню розсіювання ПМ. Друга складова складається з різниці індуктивностей по осях d - q [56]. Для тихохідних СК великої потужності додатково враховується третя складова - зубцевий момент. На рис 2.8 показана структурна схема математичної моделі СК (2.5-2.6).

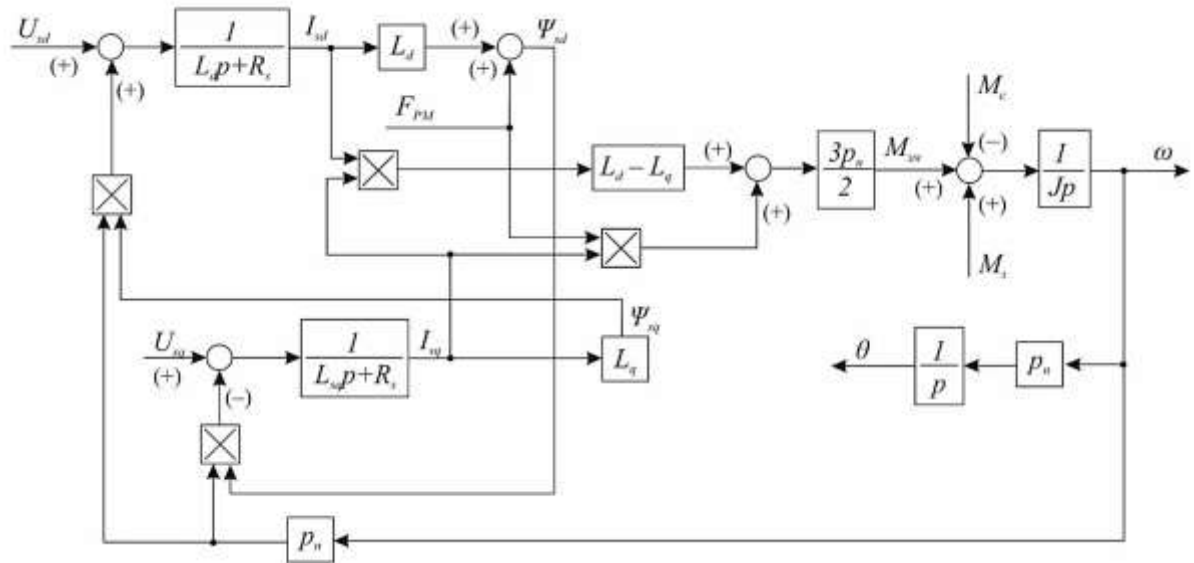


Рис. 2.8 - Структурна схема математичної моделі СК

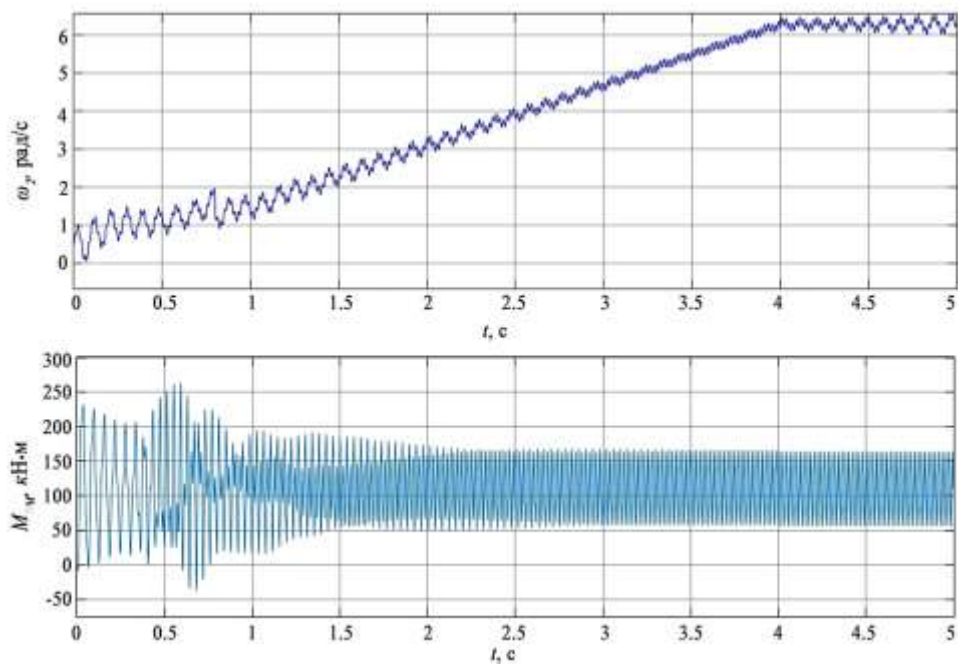


Рис. 2.9 - Перехідні процеси кутової швидкості та електромагнітного моменту при запуску СК

На рис. 2.9 представлені графіки перехідних процесів кутової частоти і електромагнітного моменту, плавний пуск СК на холостом ходу проводився за законом скалярного управління, плавним нарощуванням частоти протягом $t_{\text{пуск}} = 4$ с. Як видно з рич. 2.9 при скалярному управлінні

виникають перепади швидкості під час набору частоти, коливання швидкості зберігаються на рівні 7-8% і посилюються при виході на постійну частоту обертання, що пов'язано зі значними пульсаціями. Необхідно розробити систему векторного управління, що забезпечує допустимі пульсації моменту в межах 5-10%, в якій здійснюється плавне перемикавання швидкості з мінімальним перерегулюванням.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ АВТОМАТИЧНОЇ СТАБІЛІЗАЦІЇ ТЯГОВОГО ФАКТОРА В УМОВАХ НЕРІВНОМІРНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

3.1 Конструкція натяжних пристроїв

Тягові сили передаються приводними барабанами на стрічку за допомогою сили тертя, створеної на поверхнях їх фрикційного контакту. Щоб отримати необхідне зчеплення між приводними барабанами і ременем, стрічку необхідно належним чином притиснути до приводних барабанів. Останнє зазвичай забезпечується попереднім натягненням конвеєрної стрічки за допомогою натяжного пристрою. Однак підвищене натягнення стрічки збільшує його статичне навантаження і призводить до швидкого зносу, щоб не було проскальзування стрічки і змін у навантаженні накопичувачів. Крім того, збільшується навантаження на електродвигуни приводів, що негативно позначається на їх ресурсі. Тому, залежно від режиму і навантаження конвеєрної стрічки, необхідно контролювати свій коефіцієнт тяги.

Передача тяги конвеєрної стрічки здійснюється за допомогою конвеєрних приводів. Необхідне натягнення стрічки для реалізації передачі тяговим приводом забезпечується натяжним пристроєм.

Тиск стрічки на поверхні приводного барабана N/m^2 визначається натягненням стрічки в точці, де стрічка піднімається на приводний барабан, натягнення стрічки в точці, де стрічка відходить від приводу барабана, ширина стрічки, діаметр приводного барабана, кут поясу приводного барабана.

Натяжний пристрій спроектовано таким чином, щоб створити необхідне натягнення стрічки, яке забезпечує тягу приводом, обмеження ковзання стрічки між роликami вище допустимого значення, а також компенсує залишкове подовження стрічки під час роботи конвеєра, який

може становити до 2% довжини конвеєра. Для автоматичного регулювання натягнення стрічки використовуються натяжники лебідки, які приводяться в дію електродвигуном.

Для вимірювання натягнення існують різні системи і методи автоматичного регулювання натягнення стрічок, в яких використовуються динамометри, тензометричні, п'єзоелектричні та інші датчики. Існує велика література [56], в якій докладно описуються принципи проектування та експлуатації таких систем. Для вимірювання швидкості конвеєрних стрічок, кількості вантажу, що надходить на конвеєрну стрічку, моменту на валу приводного барабана, є, відповідно, різні датчики для вимірювання швидкості стрічки, спеціальних терезів, дозаторів, автоматичних бункерів для контролю потоку товарів, вимірювачів моменту, що крутить. Конструкція цих пристроїв і принцип роботи докладно описані в різних джерелах [57].

Натяжні пристрої служать для створення і підтримки в заданих межах натягнення стрічки в певних точках конвеєра, а також компенсації подовжень при витяжці нової стрічки або під час перехідних процесів. Основним елементом натяжного устрою є натяжний барабан, що переміщається на натяжному візку або в спеціальних напрямних нерухомої рами.

До натяжних пристроїв потужних, переважно кар'єрних, стрічкових конвеєрів, нерідко пред'являється вимога регулювання натягу залежно від чинного опору та навантаження на стрічку. Це відноситься насамперед до періодів пуску конвеєра, протягом яких діють значні додаткові динамічні сили опору і виникає небезпека зриву зчеплення стрічки та пробуксування її барабаном (барабанам).

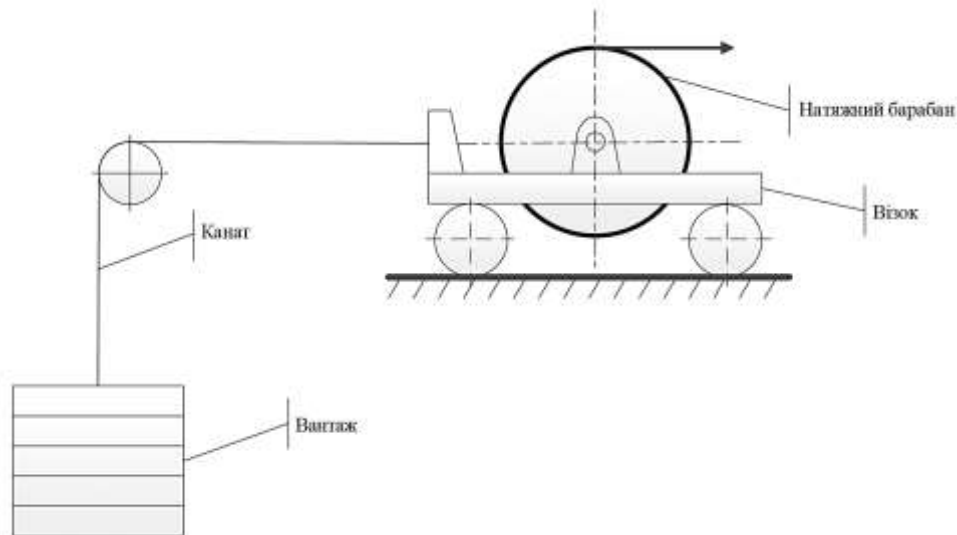


Рис. 3.1 - Схема натяжного пристрою

Вантажні натяжні пристрої, що підтримують постійне натягнення стрічки (що, взагалі, є їх експлуатаційною гідністю), для цієї мети не пристосовані і при необхідності регулювання натяження застосовуються механічні (лебідочні) пристрої (рис.3.1). Регулювання натягнення стрічки може проводитися автоматично включенням лебідки на період пуску на підвищене натягнення і потім, при досягненні стрічкою постійної швидкості, зниженням натягнення до нормальної величини. Керування лебідкою може відбуватися за показом динамометра, що реєструє величину натягнення стрічки, і за зміною швидкості стрічки, кутової швидкості бара і ролика, що знаходиться в контакті з нею. Крім того, керування лебідкою в перший період може проводитися за допомогою реле часу, що налаштовується на звичайну продуктивність пускового періоду.

Включення лебідки, що забезпечує підвищене натягнення стрічки, слід проводити в період роботи двигуна на попередньому щаблі, оскільки якщо її включення проводиться до запуску основного двигуна, то відбувається передпусковий перерозподіл натяжень, що збільшує першу амплітуду динамічних натяжень у стрічці. З метою підвищення «чутливості» пристрою до зміни натягнення стрічки слід прагнути до

зниження приведеної маси і внутрішніх втрат у блоках поліспаств та інших механізмах натяжного пристрою Автоматичне регулювання сили натягнення доцільно також виробляти в періоди встановленого руху залежності від навантаженості стрічки: при неповному навантаженні стрічки величина її натягнення відповідно знижується, що сприяє підвищенню терміну служби стрічки [58].

Робота напівавтоматичного пристрою заснована на порівнянні зусиль у набігаючій і збігаючій гілці стрічки можна описати за допомогою алгоритму, представленого на рис. 3.2, полягає в тому, що за допомогою лебідки проводиться попереднє натягнення стрічки. При запуску або завантаженні конвеєра натягнення S_4 збільшується, прийняте відношення S_4/S_1 порушується, в результаті рухома каретка з барабаном, що відхиляє, рухається в бік приводного барабана, захоплюючи за собою канат, і обертає з його допомогою барабан через зубчасту передачу і барабан зрівняльного механізму. Обертання барабанів відбувається до тих пір, поки не встановлюється прийняте значення відношення S_4/S_1 . При розвантаженні конвеєра або зменшенні завантаження барабани зрівняльного механізму обертаються у зворотний бік. Натяг стрічки відбувається внаслідок різниці ходів рухомої каретки з барабаном, що відхиляє, і натяжною кареткою з натяжним барабаном, причому хід натяжного барабана більше ходу відхиляючого барабана в i_y раз [59].

На конвеєрах 2L100U, де використовується синтетична стрічка, яка характеризується досить великою витяжкою, використовується напівавтоматичний натяжний пристрій, який встановлено на хвостовій частині.

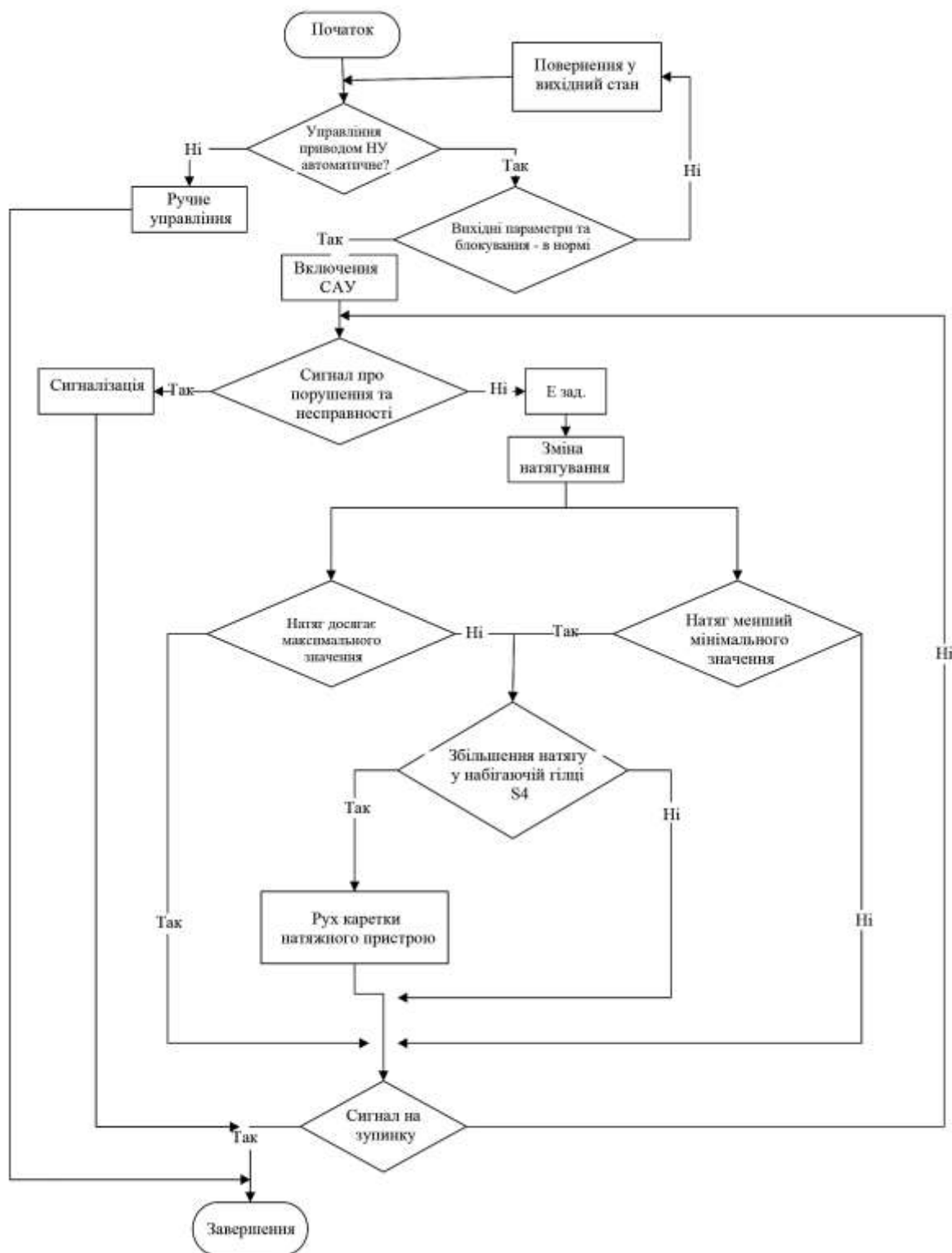


Рис. 3.2.- Алгоритм керування електроприводом натяжного пристрою

3.2 Розробка алгоритму і структури системи автоматичної стабілізації тягового фактора в умовах нерівномірного навантаження

Натяжний пристрій конвеєра 2L100U встановлено на хвостовій частині. Попереднє натягнення стрічки проводиться за допомогою лебідки, подальше управління натяжним пристроєм здійснюється електроприводом. При завантаженні конвеєра натягнення вантажної гілки збільшується і, як наслідок, необхідне значення тягового фактора порушується. Реле тиску з гідродатчиком в ланцюгу управління електроприводу, включають електродвигун, коли натягнення в стрічці стає менше мінімального, і вимикає електродвигун лебідки при натягненні, що досягає максимального значення, підтримуючи таким чином близьке до необхідного натягнення стрічки [60].

Для регулювання тягового фактора необхідно мати можливість визначати натягнення в характерних точках конвеєра в поточний момент часу. Розроблена модель конвеєра дозволяє вимірювати виникаючі натягнення $S_i(t)$, $i = \overline{1,5}$ в кожній з п'яти точок стрічки, де розташовуються зосереджені маси розрахункової схеми. Передбачається здійснити синтез лінійних алгоритмів управління відносно керованої змінної. Такий підхід до синтезу регулятора натягнення дає можливість стабілізувати тягову здатність приводу конвеєра, як при роботі з постійною швидкістю, так і при переведенні конвеєра з однієї швидкості руху стрічки на іншу.

Величина поточного значення тягового фактора визначається співвідношенням

$$E^{\mu\alpha} = \frac{S_4(t)}{S_1(t)} \quad (3.1)$$

в якому $S_4(t)$ - поточне значення натягнення в набігаючій гілці, $S_1(t)$ - поточне значення натягнення в збігаючій гілці (рис. 3.3).

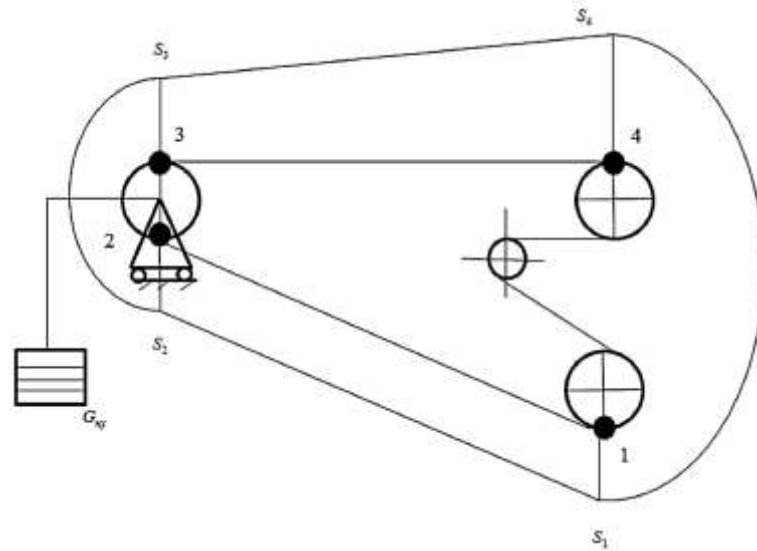


Рис. 3.3 - Діаграма натягнень у характерних точках конвеєра з натяжним пристроєм

Для розробки алгоритму системи стабілізації тягового фактора використовується функціональний зв'язок між значенням тягового фактора і зусиллям, яке створює натяжний пристрій конвеєра. Згідно зі співвідношенням (3.1) для отримання поточного значення тягового фактора, необхідно знати поточне натягнення в збігаючій гілці $S_1(t)$ і натягнення в набігаючій гілці $S_4(t)$. При зміні швидкості руху конвеєра змінюються розтягнення ділянок стрічки.

Нехай

$$\begin{aligned} \Delta_1(t) &= x_4(t) - x_5(t), \\ \Delta_4(t) &= x_1(t) - x_2(t) \end{aligned} \quad (3.2)$$

- поточне значення розтягнення порожньої гілки і поточне значення розтягнення вантажної гілки відповідно.

Нехай у першій точці натягнення $S_1(t)$; у другій точці натягнення дорівнює $S_2(t) = S_1(t) + W_{2,1}(t)$; у третій точці натягнення дорівнює $S_3(t) = K_6 S_2(t)$; у четвертій точці натягнення дорівнює $S_4(t) = S_3(t) + W_{4,3}(t)$, де $W_{2,1}(t)$ - опір руху на порожній гілці, $W_{4,3}(t)$ - опір руху на вантажній гілці. K_6 - коефіцієнт, що враховує зростання натягнення в стрічці при обході

відхиляючого барабана, $K_6 - 1,05$.

Під час зміни зусиль натяжного пристрою змінюються деформації $\Delta_1(t)$, $\Delta_4(t)$, а також значення натягу $S_1(t)$ і $S_4(t)$, які залежать від цих деформацій. З іншого боку, обчислити натяг можна, використовуючи співвідношення

$$\begin{aligned} S_1(t) &= 0,5G_{ny} - W_{2,1}(t), \\ S_4(t) &= 0,5G_{ny} - W_{4,3}(t), \end{aligned} \quad (3.3)$$

де $W_{2,1}(t)$ - опір руху на порожній гілці, $W_{4,3}(t)$ - опір руху по вантажній гілці.

Для визначення функціональної залежності натягнення стрічки від її деформації були використані дані експериментальних досліджень суть яких полягала в зміні ваги натяжного пристрою G_{np} і в одночасному розрахунку за формулою (3.3) натягу, зняття даних про деформації стрічки.

На підставі цих експериментальних даних методом найменших квадратів отримані лінійні залежності натягу від деформацій

$$\begin{aligned} S_1(\Delta_1) &= 72990\Delta_1 + 47525 ; \\ S_4(\Delta_4) &= 73138\Delta_4 + 76004 . \end{aligned} \quad (3.4)$$

Знайдені поточні значення натягнення за формулами (3.3), нехай недостатньо точні в силу лінійної апроксимації, дозволяють отримати оцінку значення тягового фактора, як функції часу $E^{\mu a}(t)$ за формулою (3.1).

Поточне значення оцінки тягового фактора ϵ по суті керованою змінною в синтезованому алгоритмі управління. У запропонованій структурі системи автоматичної стабілізації знайдена змінна $E^{\mu a}(t)$ дозволяє сформулювати відхилення від заданого значення величини тягового фактора $E_{зад}^{\mu a}$

$$E_{зад}^{\mu a} - E^{\mu a}(t) = \epsilon^{\mu a}(t). \quad (3.5)$$

Знайдене значення помилки є вхідною величиною для регулятора системи стабілізації, який реалізує регулювання тягового фактора з передавальною функцією ПД-регулятора

$$W(p) = k_1 + \frac{k_2}{p} + k_3 p. \quad (3.6)$$

Таким чином, алгоритмом управління є послідовність операцій:

$$x_1, x_2, x_4, x_5 \xrightarrow{(3.2)} \Delta_1, \Delta_4 \xrightarrow{(3.4)} S_1, S_4 \xrightarrow{(3.1)} E^{\mu\alpha} \xrightarrow{(3.5)} \epsilon^{\mu\alpha} \xrightarrow{(3.6)}. \quad (3.7)$$

Сформований алгоритм (3.7) визначив структуру підсистеми системи стабілізації тягового фактора, яка представлена на рис. 3.4.

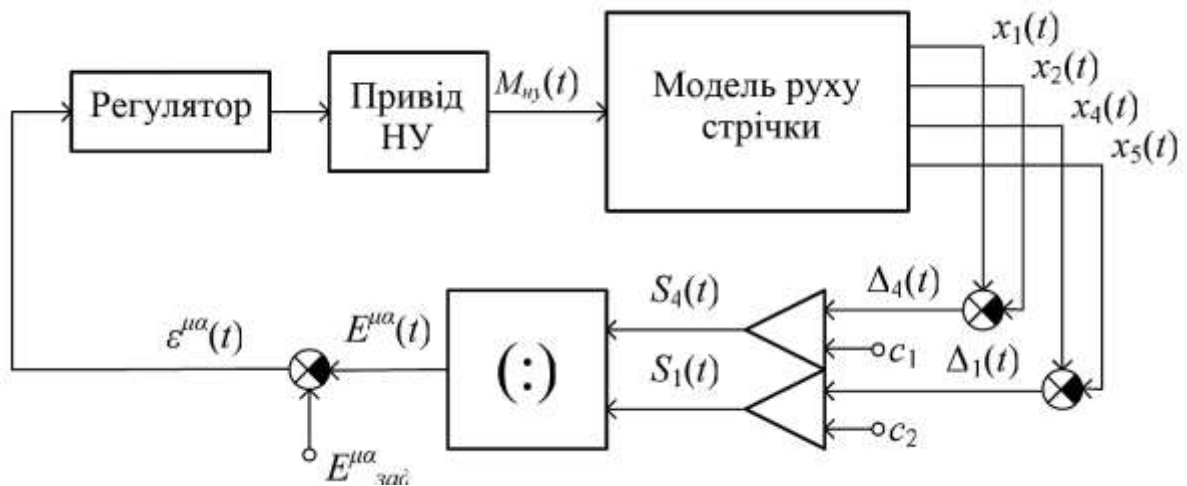


Рис. 3.4 - Структурна схема підсистеми автоматичної системи стабілізації тягового фактора

3.3 Експериментальні дослідження системи автоматичної стабілізації тягового фактора

Проведемо тарування конвеєрної стрічки, суть якого полягає в зміні ваги натяжного пристрою $G_{\text{нп}}$ і в одночасному розрахунку за формулою (3.3) натягу, і зняття модельних даних про деформації. Вага натяжного пристрою змінювалася від 3 тонн до 11 тонн. Дані

експериментів занесені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 - Дані експерименту

Вага натяжного пристрої G_{ny}, H	Деформація $\Delta_1, м$	Деформація $\Delta_4, м$	Натягнення в збігаючої гілки S_1, H	Натягнення в набігаючої гілки S_4, H
30000	-0.6298	-0.1337	2812,5	67500
35000	-0.5876	-0.09145	5312.5	70000
40000	-0.5482	-0.0521	7812,5	72500
45000	-0.5071	-0.01092	10312.5	75000
52000	-0.4488	0.04753	13812.5	78500
60000	-0.3956	0.1006	17812.5	82500
70000	-0.3289	0.1672	22812.5	87500
80000	-0.268	0.2281	27812.5	92500
90000	-0.2012	0.2949	32812.5	97500
100000	-0.1377	0.3585	37812.5	102500
110000	-0.07882	0.4173	42812.5	107500

Для оцінки ефективності розробленого алгоритму і структури системи автоматичної стабілізації тягового фактора стрічкового конвеєра виконано моделювання процесу зміни тягового фактора залежно від зовнішнього обурення у вигляді зміни вантажопотоку і, як наслідок, зміна швидкості руху стрічки [61].

На рис. 3.5 представлена крива зміни тягового фактору при режимі пуск без використання процедури регулювання, отримана моделюванням згідно описаної схеми (3.7) алгоритму. На 54 сек відбулася різка зміна швидкості руху стрічки і, як наслідок, різкі коливання величини тягового фактора, провисання стрічки конвеєра, і її пробуксовка на барабанах одинадцять секунд. Значення тягового фактора до розрахункового було після декількох коливань відновлено механічною системою натягнення.

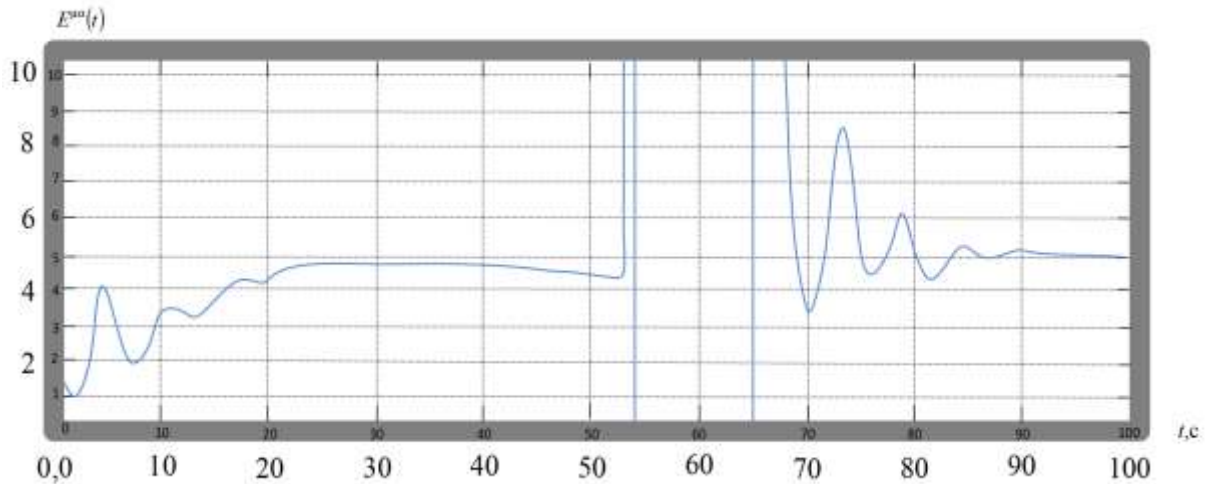


Рис.3.5 - Динаміка тягового фактора без застосування регулювання

Для реалізації ідеї, що полягає в зміні положення каретки натяжного пристрою, регулювання тягового фактора визначена залежність між поточним значенням тягового фактора і зусиллям, яке створює натяжний пристрій. Ця залежність складає основу алгоритму системи стабілізації, що розробляється: зусилля, створюване натяжним пристроєм, має бути наслідком зміни швидкості руху стрічки.

Залежність $E^{\mu a}(G_{\text{нп}})$ і зворотна до неї $G_{\text{нп}}(E^{\mu a})$, знайдені методом найменших квадратів

$$G_{\text{нп}}(E^{\mu a}) = 250(E^{\mu a})^2 - 9980E^{\mu a} + 113380. \quad (3.8)$$

Можна обчислити різницю між бажаним значенням тягового фактора і фактичним, тобто помилку. Отримана величина помилка маси натяжного пристрою може бути поставлена у відповідність помилці переміщення каретки натяжного пристрою S_6 [62]. Ці дані наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Помилка маси натяжного пристрою

Вага натяжного Пристрої $G_{нт}, Н$	Пересування каретки натяжного пристрою s_6
3000	-1,04
3500	-1,146
4000	-1,244
4500	-1,347
5000	-1,452
5200	-1,493
6000	-1,626
7000	-1,793
8000	-1,945
9000	-2,112
10000	-2,271

Співвідношення (3.4) дозволяє обчислити різницю між бажаним значенням тягового фактора і фактичним і, як наслідок, визначити величину необхідного переміщення каретки натяжного пристрою

$$s_6(G_{нт}) = -1,61 \cdot 10^{-5} G_{нт} - 0,663, \quad (3.9)$$

реалізація якого призведе до коригування тягового фактора. Вирази (3.8, 3.9) і динаміка руху каретки натяжного пристрою, тягового фактора конвеєри покладені в основу алгоритму системи регулювання тягового фактора конвеєра. Структурна схема системи автоматичної стабілізації представлена на рис. 3.6.

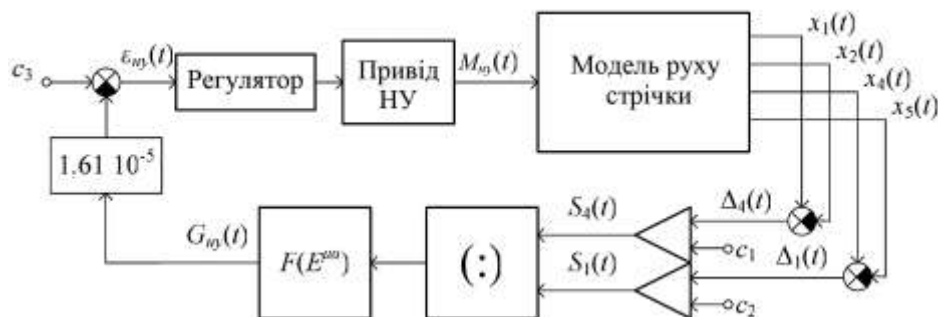


Рис. 3.6 - Структурна схема системи автоматичної стабілізації тягового фактора регулювання положення каретки натяжного пристрою

Схема моделювання системи регулювання тягового фактора шляхом зміни положення каретки натяжного пристрою приведена на рис. 3.7.

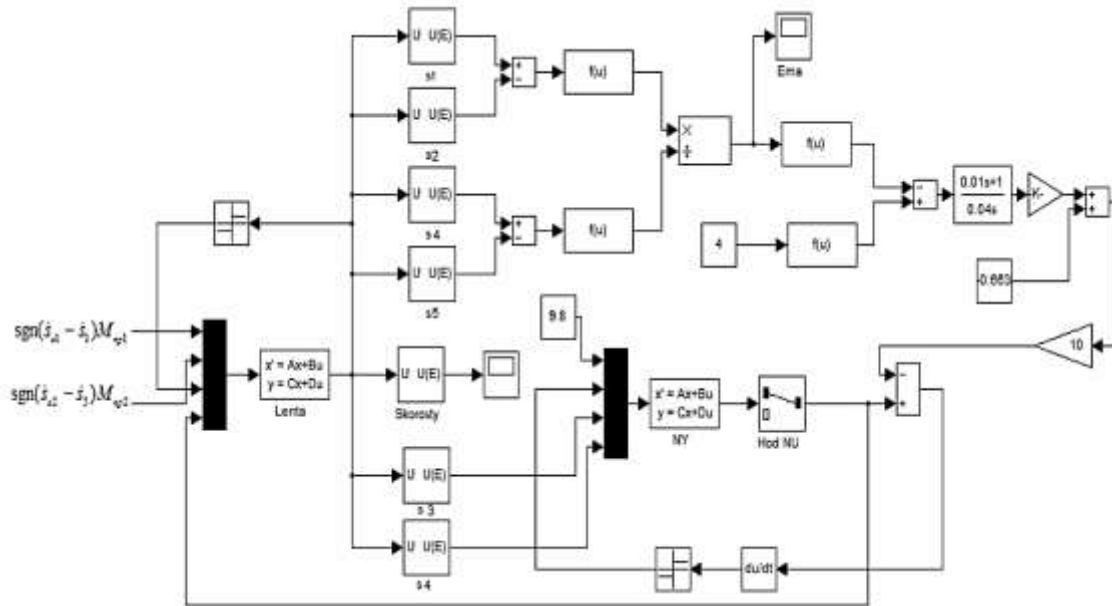


Рис. 3.7 - Модель системи автоматичної стабілізації тягового фактора регулювання положення каретки натяжного пристрою

Результати моделювання роботи системи стабілізації наведені на рис. 3.8, показано як після скидання швидкості на 56 сек система без перерегулювання і коливань аперіодично відновлює розрахункове значення тягового фактора.

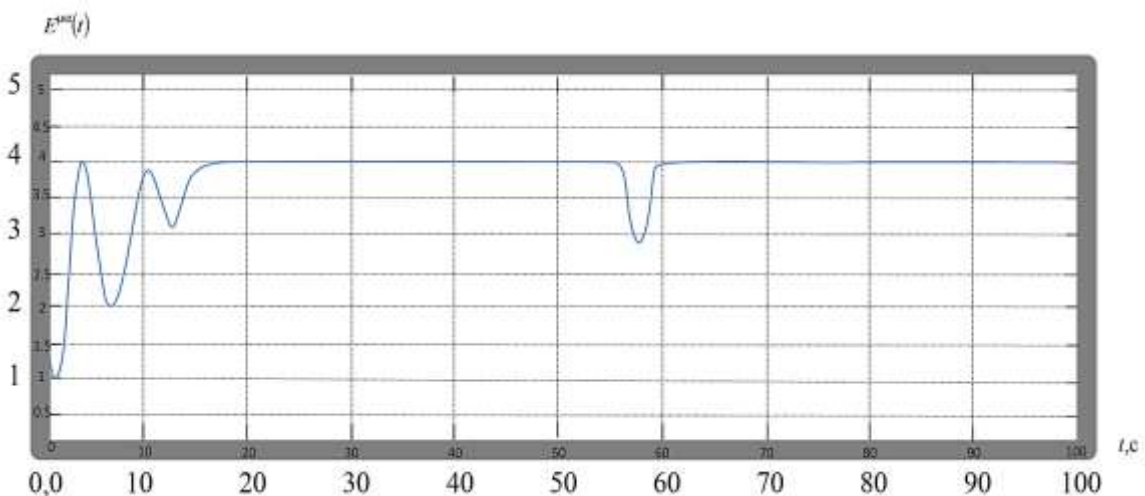


Рис. 3.8 - Динаміка тягового фактора при здійсненні регулювання положення каретки натяжного пристрою

Зміна положення каретки натяжного пристрою відбувається при переході конвеєра з однієї швидкості на іншу і за рахунок цієї зміни вибирається слабина стрічки. Як видно з графіка на рис. 3.7. величина тягового фактора стабілізується $E^{\mu a} \leq 14$, що задовольняє вимогам безпробуксовуючого руху стрічки [63].

На ризи.3.9 наведено криві зміни швидкостей зосереджених мас при роботі системи автоматичної стабілізації тягового фактора.

На п'ятдесятій секунді роботи конвеєра моделювання збільшення швидкості руху стрічки майже в двох. Швидкості руху всіх зосереджених мас при роботі системи стабілізації тягового фактора вийшли на значення майже також як при пуску конвеєра.

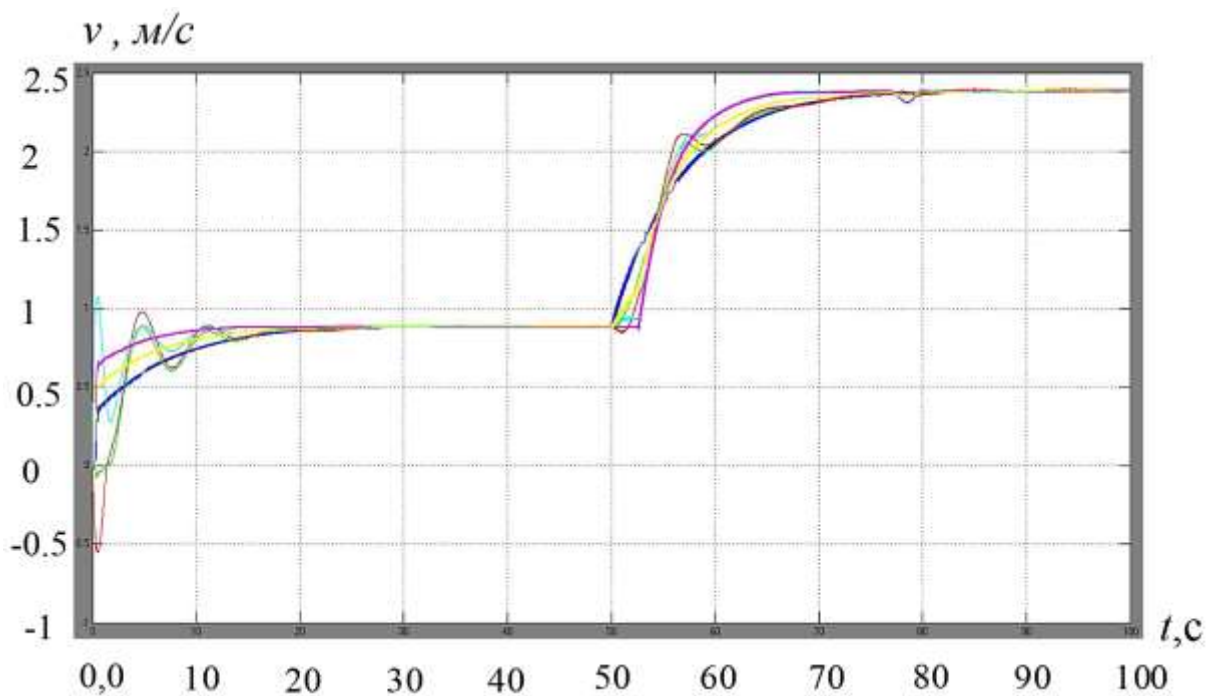


Рис. 3.9 - Перехідні процеси за швидкостями зосереджених мас стрічки конвеєра при здійсненні регулювання

На рис. 3.10 показано переміщення натяжного пристрою при здійсненні регулювання.

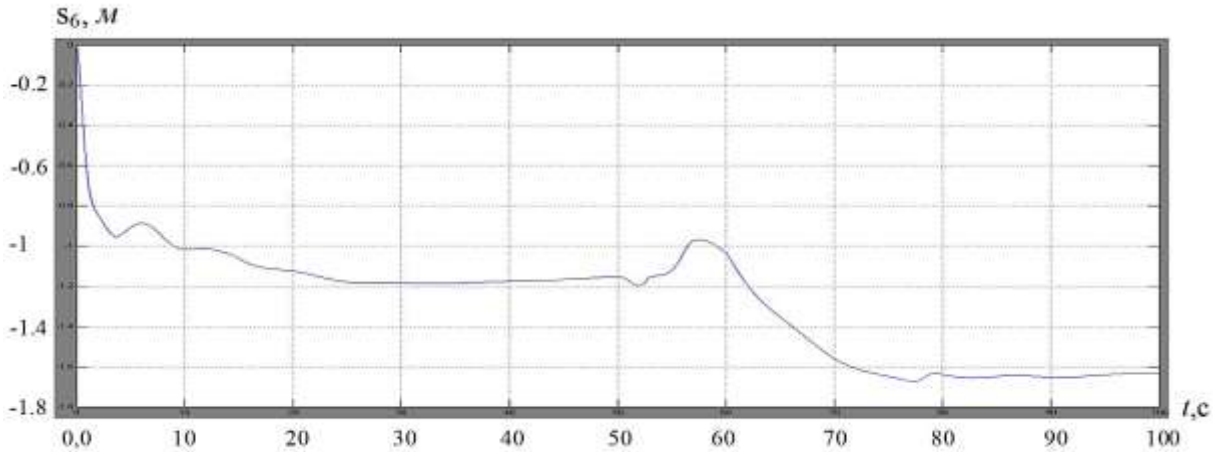


Рис. 3.10 - Переміщення натяжного пристрою при здійсненні регулювання

3.4 Розробка системи управління рухом стрічки стрічкового конвеєра з підсистемою стабілізації тягового фактора

Розроблений алгоритм володіє можливістю регулювати натягнення стрічки так, що виключає пробуксовку стрічки на приводних барабанах при нерівномірній завантаженості конвеєра і будь-яких змінах швидкості руху стрічки конвеєра.

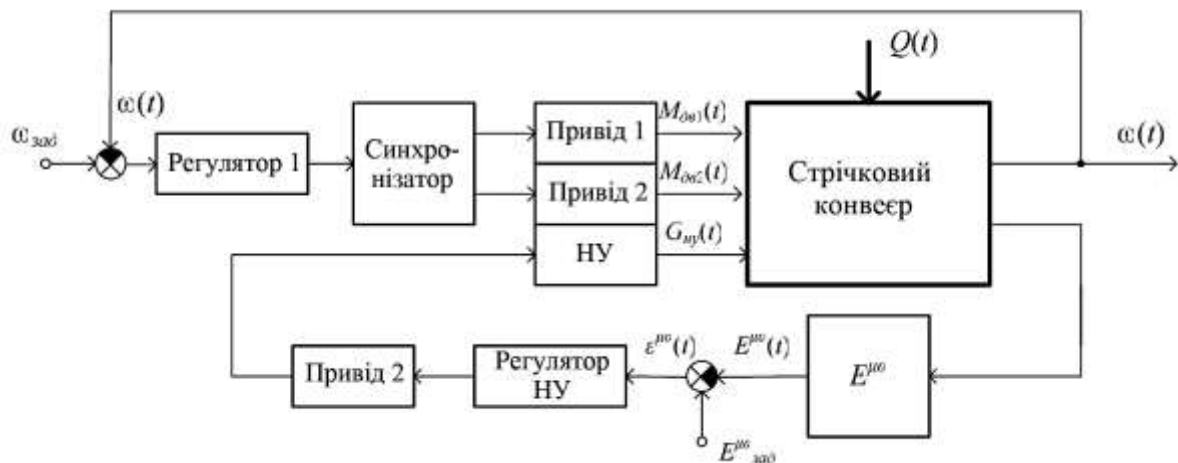


Рис. 3.11 - Структурна схема узагальненої системи автоматичної стабілізації тягового фактора.

На рис. 3.11 - представлена структурна схема узагальненої системи автоматичної стабілізації тягового фактора стрічкового конвеєра, яка містить два контури: контур регулювання швидкості руху стрічки і контур регулювання натягнення стрічки.

У системі:

$M_{де1}(t), M_{де2}(t)$ - рушійні моменти приводів основного руху стрічки;

$\omega(t)$ - поточне значення швидкості стрічки конвеєра;

$\omega_{заз}$ - зазначене значення швидкості стрічки конвеєра;

$G_{ну}(t)$ - поточне значення «ваги», створюване натяжним пристроєм для забезпечення необхідного натягнення стрічки;

$E^{\mu a}(t)$ - поточне значення тягового фактора;

$E^{\mu a}_{заз}$ - задане значення тягового фактора;

$\varepsilon^{\mu a}(t)$ - відхилення поточного значення тягового фактора від заданого.

Виконані дослідження системи регулювання тягового фактору в режимах пуску, різних змін швидкості руху стрічки, екстреної зупинки та штатного гальмування показали задовільну працездатність системи.

РОЗДІЛ 4. АВТОМАТИЧНА СИСТЕМА СТАБІЛІЗАЦІЇ ТЯГОВОГО ФАКТОРА ДВОПРИВОДОВОГО СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА

4.1 Вибір виконавчого пристрою в системі регулювання положення каретки натяжного пристрою

Натяжний пристрій служить для створення і стабілізації натягнення стрічки в заданих межах і, крім того, для компенсації подовжень при витяжці нової стрічки або під час перехідних процесів. Автоматичне регулювання сили натягнення доцільно також проводити в періоди руху, що встановився, залежно від навантаженої стрічки; при неповному навантаженні стрічки величина її натягнення відповідно знижується, що сприяє підвищенню терміну служби стрічки.

Головною умовою, що характеризує вибір електричного приводу основного руху конвеєра, є забезпечення прийнятних умов запуску та гальмування тяговим органом конвеєра: електропривод повинен володіти значним пусковим моментом, достатнім для подолання зусиль при пуску і створенні динамічного моменту, який забезпечує необхідне прискорення.

Через зупинку конвеєра під завантаженням величина моменту статичних опорів при пуску може виявитися підвищеною. З цієї причини пусковий момент приводу конвеєра повинен в 1,5-2 рази перевищувати номінальний.

Таким чином, при пуску привід повинен здійснювати плавний розгін тягового органу до необхідної швидкості, оскільки виникаючі значні динамічні перевантаження можуть призвести до проскальзування стрічки на приводному барабані, що різко підвищує її знос. З іншого боку, стрічка є упругою системою, отже, передача зусиль супроводжується упругим її подовженням [65].

Для стрічкових конвеєрних установок застосовуються асинхронні

двигуни з фазовим ротором і ступеневим управлінням при пуску. Для управління швидкістю руху стрічки конвеєра використовують керовані електроприводи постійного струму за системою Г-Д або ТП-Д.

Більш прогресивне рішення при проектуванні електроприводів магістральних стрічкових конвеєрів полягає у використанні частотного управління асинхронними двигунами. Застосування в таких приводах короткозамкнених асинхронних двигунів дозволяє збільшити надійність електроприводів, безпеку їх застосування у вибухонебезпечних умовах.

У частотнокерованому асинхронному приводі натяжного пристрою використовується асинхронний двигун (АД) - 4 А180S6У3, перетворювач частоти (ПЧ) - АТ04-160, два блоки фільтрів (БФ), пульт місцевого управління (ПМУ), контролер Simatic S7-300 та інтерфейс RS-232.

Автоматична стабілізація тягового фактора конвеєра здійснюється регулюванням положення каретки натяжного пристрою, що в свою чергу забезпечує прийнятне співвідношення натягнення у вантажній і холостій гілках стрічки конвеєра.

При порушенні нормальних режимів роботи конвеєрної установки відключається живлення електродвигунів приводів конвеєра. Основними причинами аварійної зупинки руху конвеєра є: сходження стрічки зі става конвеєра, при заштибуванні вузла завантаження або при перевищенні рівня заповнення бункера, примусове відключення персоналом.

Багаторазові пуски стрічкового конвеєра і необхідність зміни швидкості руху стрічки виправдовують доцільність використання автоматичної системи управління швидкістю стрічки, яка дозволить зменшити знос таких дорогих частин конвеєра як стрічка і ролики, вартість яких становить близько 50% і 30% відповідно від загальної вартості конвеєра. Оскільки знос стрічки прямо пропорційний її швидкості руху, то за рахунок регулювання швидкості стрічки залежно від вантажопотоку [66] можна домогтися збільшення терміну служби стрічки, оскільки в

цьому випадку стрічка буде рухатися з номінальною швидкістю тільки при номінальному вантажопотоку рівному пропускній здатності конвеєра [67].

Керуючи швидкістю руху стрічки можна стабілізувати погонне навантаження і домогтися раціонального заповнення стрічки конвеєра. Сигнал завдання швидкості руху стрічки надходить як керуючий на вхід тиристорного перетворювача електроприводу. Якщо прогнозоване завантаження стрічки менше номінального рівня, сигнал завдання спрямований на зменшення швидкості стрічки, якщо прогнозується перевищення номінального рівня, сигнал завдання спрямований на збільшення швидкості стрічки.

4.2 Технічні засоби для автоматичної системи стабілізації тягового фактора стрічкового конвеєра

Розрахункова схема системи автоматичної стабілізації тягового фактору для обґрунтованого вибору технічних засобів представлена на ризи.4.1. Згідно з цією схемою слід встановити чотири датчики натягнення в голові конвеєра на вантажний і порожній гілках і в хвості конвеєра на вантажний і порожній гілках.

Для здійснення переміщення каретки натяжного пристрою слід обґрунтувати параметри виконавчого пристрою з електроприводом. Електропривод натяжного пристрою стрічкового конвеєра повинен бути виконаний з використанням [68] частотнокерованого асинхронного електродвигуна змінного струму. Обчислювальні процедури при формуванні алгоритму управління виконуються в контролері середньою обчислювальною потужністю. Передача даних від датчиків у процесор і передача даних у виконавчі пристрої здійснюється по цифровій мережі через інтерфейс RS-232.

перевищення номінального рівня, сигнал завдання спрямований на збільшення швидкості стрічки.

Схема інтеграції апаратного забезпечення узагальненої автоматичної системи стабілізації тягового фактора стрічкового конвеєра представлена на рис. 4.2.

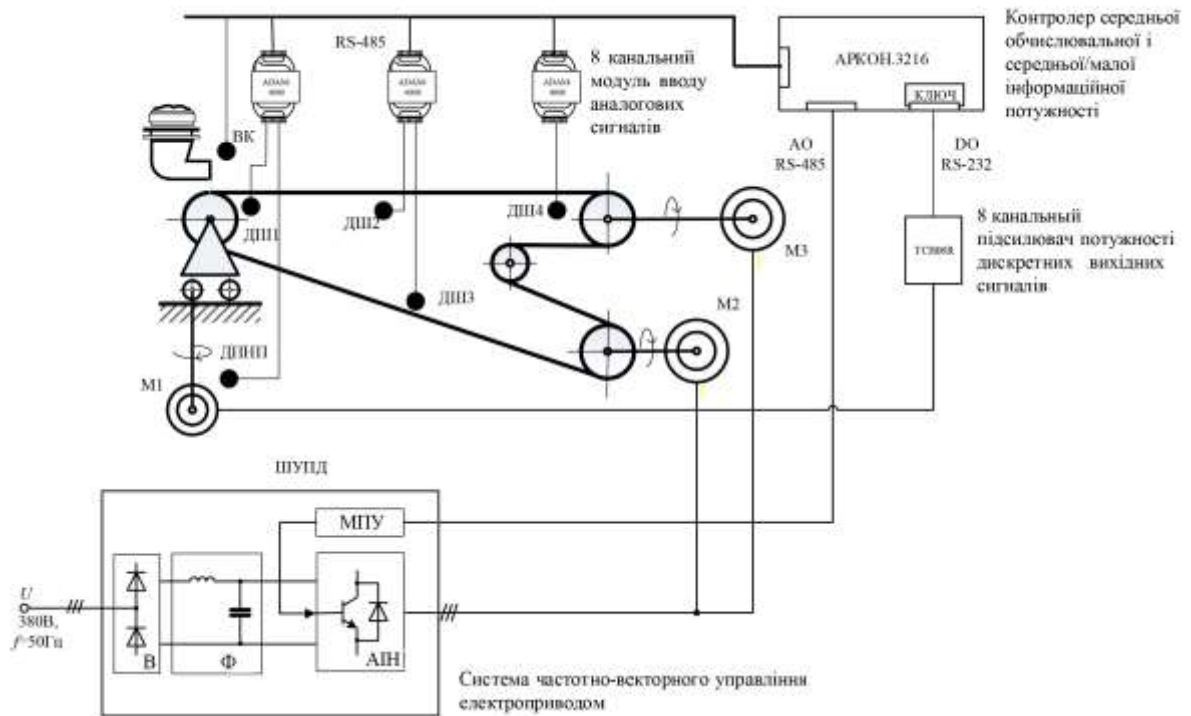


Рис. 4.2 - Схема технічного забезпечення системи автоматичної стабілізації тягового фактора стрічкового конвеєра.

Згідно з розробленим алгоритмом управління, необхідно визначати швидкості руху стрічки конвеєра в точках, де розташовані зосереджені маси. Для цього до складу апаратного забезпечення системи автоматичної стабілізації тягового фактора входять:

ШВ1...ШВ4 - тахометричні датчики швидкості, ВК - ваги конвеєрні, АЦП - аналогоцифрові перетворювачі, ЦАП - цифро-аналогові перетворювачі, В - випрямляч, Ф - фільтр, АІН - автономний інвертор напруги, МПУ - мікропроцесорний пристрій управління. У системі передбачається використовувати тахометричні датчики швидкості серії

ADAM-4000, розташування яких показано на рис. 4.2. Як ваговимірювач використовуємо конвеєрні стаціонарні ваги, які призначені для безперервного зважування вільного насипного вантажу перетворювачем частоти, ДПНП - датчик положення натяжного пристрою.

Для прийому аналогових сигналів від датчиків у системі використовуються модулі аналогового введення серії ADAM-4000. Нормалізацію сигналів, операції аналогового та дискретного введення-виведення, відображення даних дозволяє здійснювати мікропроцесорний пристрій, передачу або прийом за сигналів здійснюється за інтерфейсом RS-485. Всі модулі мають інтерфейсу RS-485 і гальванічну розв'язку. Харчування модулів здійснюється нестабілізованою напругою 10...30 У постійного струму. Як цифровий процесор пропонується використовувати ARCON-3216 - контролер середньої обчислювальної та інформаційної потужності.

Діапазон робочих температур експлуатації системи передбачається від мінус 10 до + 70⁰ С. Для введення сигналів від датчиків швидкості і конвеєрних терезів використовується універсальний восьмиканальний модуль аналогового введення ADAM-4019. Модуль має 16-розрядний АЦП, вісім диференційних аналогових каналів введення з індивідуальним встановленням параметрів. Тип вхідного сигналу - напруга і струм. Модулі мають гальванічну розв'язку, напругу ізоляції 3000В постійного струму. Модулі аналогового введення пов'язані з керуючим контролером за допомогою стандартного промислового інтерфейсу RS-485.

Зауваження щодо вибору електроприводу натяжного пристрою в розробленій системі стабілізації тягового фактора. Відома ефективність використання керованих електроприводів стрічкових конвеєрів для регулювання швидкістю руху стрічки у функції фактичного вантажопотоку.

Регулювання швидкості приводу може бути досягнуто зміною

напруги, що підводиться до статора, цей спосіб фазового управління пуском асинхронного короткозамкнутого електродвигуна передбачається використовувати в системі управління, що забезпечує плавний пуск конвеєра, рух стрічки зі зниженою швидкістю, плавний перехід з однієї швидкості на іншу. Для системи може бути використана серійно випускається тиристорна станція управління ТСУР [70], яка призначена для управління електродвигунами з номінальним струмом від 10 до 100 А, і, отже, на основі станції ТСУР може бути створений привід конвеєра потужністю до 40 кВт.

Частотно керований асинхронний привід натяжного пристрою виконується за схемою, представленою на рис. 4.3.

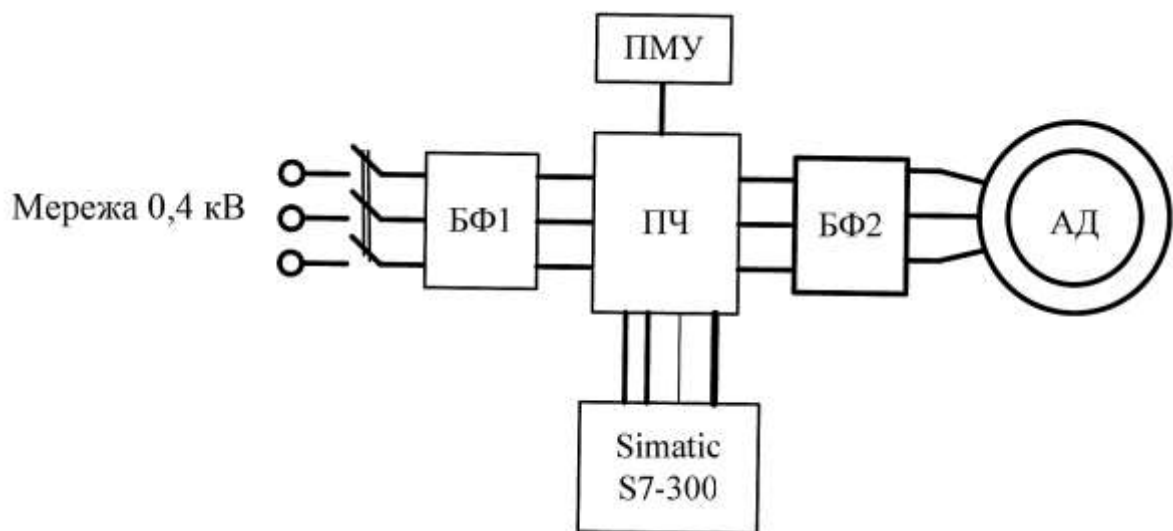


Рис. 4.3 - Функціональна схема ЕП

У приводі використовується асинхронний двигун (АД) - 4 А180S6Y3, перетворювач частоти (ПЧ) - АТ04-160, два блоки фільтрів (БФ), пульт місцевого управління (ПМУ), контролер Simatic S7-300 і інтерфейс RS-232.

ВИСНОВКИ

На підставі досліджень у роботі дано нове рішення актуального завдання розробки та дослідження системи автоматичної стабілізації величини тягового фактора двопривідного стрічкового конвеєра, що дозволяє знизити знос полотна стрічкового конвеєра, що рухається, і зменшити ймовірність виникнення пробуксування на кожному приводному барабані.

Основні наукові та практичні результати, одержані особисто автором:

1. Створено математичну модель руху стрічки магістрального конвеєра з двома приводами та пристроєм натягу стрічки, що має достатню адекватність (сума квадратів відхилень модельних та реальних параметрів при перехідних процесах на досить тривалому інтервалі часу не перевищують 10%), може бути використана як об'єкт системи управління рухом конвеєра.

2. Розроблено структуру та алгоритм системи автоматичної стабілізації тягового фактора, які забезпечують необхідне при експлуатації натяг стрічки, що виключає її прослизання на приводних барабанах.

3. Створено структуру комплексу технічних засобів, що дозволяє автоматизувати процес коригування натягу конвеєрної стрічки залежно від завантаження для стабілізації тягового фактора конвеєра.

4. Виконано дослідження шляхом математичного моделювання системи регулювання тягового фактора в режимах пуску, екстреної зупинки, штатної роботи та гальмування, що показали достатню працездатність системи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Поліщук Л. К., Піонткевич О. В., Коваль О. О. Аналіз впливу параметрів системи керування на динамічні процеси гідропривода стрічкового конвеєра. Промислова гідравліка і пневматика. №2 (52), 2016 С. 37-48.
2. Гринько П.А. Проблемы устойчивости конвейерной ленты относительно продольной оси конвейера. Захист металургійних машин від поломок. Міжвузівський тематичний збірник наукових праць. Маріуполь, 2010. Вип. 12. С. 15-17.
3. Щеглов О.М., Гринько П.А. Новые конструкции приводных и натяжных барабанов ленточных конвейеров. Підйомно-транспортна техніка. Науково-виробничий журнал. Дніпропетровськ, 2010. Вип. 2. С. 38-45.
4. Печеник М.В., Бур'ян С.О., Горбатовський А.О. Особливості підвищення енергетичної ефективності електромеханічної системи конвеєра. Вісник ХТУУ «Харківський політехнічний інститут», Серія: Проблеми автоматизованого електропривода (теорія і практика). Харків. 2013. № 36. С. 382-384.
5. Дмитриева В.В., Гершун С.В. Разработка математической модели ленточного конвейера с двухдвигательным приводом. Горный информационно-аналитический бюллетень. М., 2008. Вып. 8. С. 295-303
6. Остап О.П., Андрейко І.М., Головатюк Ю.В. Деградація матеріалів і втомна міцність тривало експлуатованих авіаконструкцій. Фіз.-хім. механіка матеріалів. 2006. №4. С. 5-16
7. Nykyforchyn H., Lunarska E., Tsyurulnyk O. Effect of the long-term service of the gas pipeline on the properties of the ferrite–pearlite steel. Mat. and Corr., 2009. № 9 (60). P. 716-725.

8. Рещенко І., Фуртатов Ю. Дослідження ступеня деградації сталей розрахункових металоконструкцій порталних кранів, які відпрацювали нормативний термін експлуатації. Теорія та практика раціонального проектування, виготовлення і експлуатації машинобудівних конструкцій: Праці конференції. Львів: КІНПАТРИ ЛТД., 2010. С. 74 -75.
9. Терезюк П.С. Влияние колебания ленты конвейера на ее техническое состояние. Технические науки : электрон. научн. журн. – 2014. № 8 (9) . С. 23-27.
10. Шевчук Н.А., Вапнічна В.В. Розробка та впровадження стартап проекту на прикладі геосинтетичного модуля-опалубки. Сучасні проблеми економіки і підприємництва. Збірник наукових праць. Вип. 23. К.: ІВЦ Видавництво «Політехніка», 2019 С. 32-40.
11. Полішук Л. К., Харченко Є. В., Піонткевич О. В., Коваль О. О. Дослідження динамічних процесів в системі керування гідропривода стрічкових конвеєрів із змінними вантажопотоками. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. Технологии машиностроения, 2016. 2/8(80). С. 22-29.
12. Бурлака С.А. Оцінка викидів автотранспорту на основі моделі GREET. Наука III тисячоліття: пошуки, проблеми, перспективи розвитку : IV міжнар. наук.-практ. інтернет-конф., м. Бердянськ, 22-23 квіт. 2020 р. 2020. С. 171-172.
13. Гевко Б.М., Ляшук О.Л., Рогатинська Л.Р. Оптимізація параметрів швидкохідних конвеєрів. Вісник інженерної академії України. 2014. Вип.2. С. 169-175.
14. Гевко Р.Б., Вітровий А.О., Пік А.І. Підвищення технічного рівня гнучких гвинтових конвеєрів: монографія. Тернопіль: Астон, 2012. 204 с.
15. Куєвда А.О., Гузенко Ю.М. Удосконалення роликоопор

стрічкових конвеєрів для транспортування кускових вантажів. Збірка матеріалів Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених та студентів «Інновації молоді – машинобудуванню». К.: «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2018. С. 49-51.

16. Шевчук С.П., Зайченко С.В. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Транспортні та підйомні машини». К.: НТУУ «КПІ», 2014. 52 с.

17. Гевко Р.Б., Рогатинський Р.М., Розум Р.І., Клендій М.Б., Клендій О.М., Вітровий А.О. Підвищення технологічного рівня процесів завантаження та перевантаження матеріалів у гвинтових конвеєрах: монографія. Тернопіль: Астон, 2018. 180 с.

18. Nevko R. B., Zalutskyi S. Z., Hladyo Y. B., Tkachenko I. G., Lyashuk O. L., Pavlova O. M., Pohrishchuk B. V., Trokhaniak O. M., Dobizha N. V. Determination of interaction parameters and grain material flow motion on screw conveyor elastic section surface. INMATEH: Agricultural engineering. Bucharest, Romania. 2019. Vol. 57. № 1. PP. 123-134.

19. Долгих В.П. Моделирование системы «груз-конвейерная лента-роlikоопоры» в программном комплексе ANSYS Workbench. Форум горняков 2014: материалы Международной конференции. – Днепропетровск: НГУ, 2014. С. 121-128.

20. Корнеев С.В., Долгих В.П. Структурирование компьютерной модели системы «груз-конвейерная лента-роlikоопоры» в программном комплексе ANSYS Workbench. Збірник наукових праць Національного гірничого університету. Днепропетровськ, 2014. № 45. С. 105-111.

21. Корнеев С.В., Долгих В.П. Анализ факторов, определяющих силу сопротивления вращению роликочных конвейеров. Сборник научных трудов ДонГТУ. Алчевск, 2013. Вып. 41. С. 33-36.

22. Nevko R. B., Strishenets O. M., Lyashuk O.L., Tkachenko I. G.; Klendii O. M., Dzyura V. O. Development of a pneumatic screw conveyor

design and substantiation of its parameters. INMATEH: Agricultural engineering. Bucharest, Romania. 2018. Vol. 54. № 1. PP. 153-160.

23. Baranovsky V. M., Hevko R. B., Dzyura V. O., Klendii O. M., Klendii M. B., Romanovsky R. M. Justification of rational parameters of a pneumoconveyor screw feeder. INMATEH: Agricultural engineering. Bucharest, Romania. 2018. Vol. 54. № 1. PP. 15-24.

24. Ловейкін В.С., Рогатинська О.Р. Оптимізація режимів роботи гвинтових конвеєрів. Підйомно-транспортна техніка. К., 2004. № 2. С. 8-15.

25. Ловейкін В.С., Човник Ю.В., Діктерук М.Г. Моделювання динаміки механізмів вантажопідйомних машин. К.: Вид-во РВВ МДАУ. Миколаїв, 2004. 286 с.

26. Гевко І.Б. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів: дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук: спец. 05.02.02 «Машинознавство». Львів, 2013. 464 с.

27. Токарчук О.А. Обґрунтування параметрів скребкових робочих органів транспортерів-змішувачів концентрованих кормів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.05.11 «машини і засоби сільськогосподарського виробництва». Вінниця, 2014. 21 с.

28. Гевко Р., Токарчук А. Теоретические исследования движения сыпучего материала с возможностью частичного перемешивания на вертикальном участке трубчатого конвейера. Polish Academy of Sciences University of Engineering and Economics in Rzeszow, MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. 2013. Vol.15. № 4. 270-277.

29. Ляшук О.Л., Дячун А.Є., Любачівський Р.О. Дослідження динаміки гвинтового секційного конвеєра. Вісник машинобудування Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». 2013. №69. С. 45-50.

30. Ляшук О.Л., Гевко Б.М. Стендове обладнання для дослідження

характеристик гвинтових робочих органів машин твердих добрив. Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Краматорськ. 2010. Вип. 26. С. 390-397.

31. Ляшук О., Гевко І., Тарасюк Ю. Обґрунтування економічної ефективності використання конвеєрів при транспортуванні насіннєвого матеріалу по криволінійних траєкторіях. Вісник ТНТУ. 2014. Т.74, №2. С. 137-143.

32. Ляшук О.Л., Гевко І.Б., Дячун А.Є. Результати експериментальних досліджень гнучких гвинтових конвеєрів. Збірник наукових праць ВНАУ. 2013. Вип.2 (79). С. 17-24.

33. Ляшук О.Л., Гевко Б.М., Пік А.І., Новосад І.Я. Підвищення експлуатаційної надійності і довговічності гнучких гвинтових робочих органів СГМ. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства. 2010. Вип.100. С. 185-190.

34. Ляшук О.Л., Комар Р.В., Любачівський Р.О., Кучвара І.М. Визначення конструктивних параметрів секційних гвинтових конвеєрів. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2014. Вип.146. С. 25-28.

35. Павлова І.О., Гевко Р.Б. Визначення контактних напружень в шарнірних елементах гнучкого валу. Науковий вісник Національного аграрного університету. Вип. 80. К.: Вид. відділ НАУ. 2005. С. 338-343.

36. Павлова І.О., Гевко Р.Б., Вітровий А.О. Розрахунок динамічних навантажень при роботі конвеєра з шарнірним гвинтовим робочим органом. Сільськогосподарські машини. Зб. наук. ст. Випуск 13. Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛДТУ. 2005. С. 137-146.

37. Гевко М.Р. Обґрунтування параметрів секційних гвинтових конвеєрів для транспортування сипких сільськогосподарських матеріалів: Дис. канд. тех. наук: 05.05.11. Тернопіль: ТНТУ. 2013. 151 с.

38. Гевко Р.Б., Вітровий А.О., Гевко М.Р., Клендій М.Б.

Вдосконалення конструкції та обґрунтування параметрів секційного шарнірного робочого органу гнучкого гвинтового конвеєра. Вісник інженерної академії України. Київ. 2009. №1. С. 212-216.

39. Гевко Б.М., Ляшук О.Л. Математичні моделі динамічного процесу горизонтальних та вертикальної віток каната трубчастого скребкового конвеєра. Міжвідомчий тематичний науковий збірник «Механізація і електрифікація сільського господарства». 2013. Вип. 98. С. 501-509.

40. Гевко Б.М., Ляшук О.Л. Математичні моделі динамічного процесу горизонтальних та вертикальної віток каната трубчастого скребкового конвеєра. Міжвідомчий тематичний 162 науковий збірник «Механізація і електрифікація сільського господарства». 2013. Вип. 98. С. 501-509

41. Ляшук О.Л. Дослідження резонансних коливань гнучких трубчастих скребкових конвеєрів двомірних елементів. Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. 2013. Вип.2(37). С.73-78.

42. Дудко М.А., Вернер И.В., Саричева Г.И. Динамика поведения тягового органа при взвешивании грузопотока на ленточном конвейере по окружному усилию привода. Горное и металлургическое оборудование. 2014. С. 26-34.

43. Гринько П.А. Исследование динамики привода ленточных конвейеров с целью повышения срока службы ленты. Захист металургійних машин від поломок : міжвузівський тематичний збірник наукових праць. 2003. Вип. 7. С 52-156.

44. Ставицкий В.Н. Динамика нагрузки регулируемого привода ленточного конвейера. Наукові праці ДонНТУ. серія: обчислювальна техніка та автоматизація. 2012 №23 (201). С. 49-53.

45. Козярук А.Е., Кривенко А.О., Жуковский Ю.Л., Бабурин С.В. Диагностика и оценка остаточного ресурса электромеханического оборудования машин и механизмов. СПб.:Горный университет, 2019. 90 с.
46. Тиханський М.П., Єфіменко Л.І. Методи й системи діагностики та прогнозування технічного стану стрічкових конвеєрів. Вісник КТУ. - 2008. Вип.21. С. 163-167.
47. Єфіменко Л.І., Тиханський М.П. Принципи побудови автоматизованої системи діагностики технічного стану конвеєра. Вісник КТУ. 2010. Вип. 25. С. 163-167.
48. Лобов В.Й., Єфіменко Л.І., Тиханський М.П., Рубан С.А. Автоматизовані системи керування конвеєрними установками. Монографія: Видавничий центр ДВНЗ «КНУ». Кривий Ріг. 2015. 450с.
49. Liudmyla Yefimenko, Mykhailo Tykhanskyi (2015). Information systems in the technological processes automatic control development by technical condition criterion. Metallurgical and Mining Industry. No 1, p. 28-31
50. Liudmyla Yefimenko, Mykhailo Tykhanskyi (2015). Analysis of the defect diagnostics methods and scanning for instructive parameters of the belt conveyor's gear. Metallurgical and Mining Industry. No 4, p. 39-44
51. Печеник М. В., Зайченко О. А. Розробка моделі електромеханічної системи стрічкового конвеєра з врахуванням енергозберігаючих режимів роботи електроприводу. Наукові вісті НТУУ «КПІ». 2007. № 1. С. 115-120.
52. Печеник М. В., Бур'ян С. О., Горбатовський А. О. Особливості підвищення енергетичної ефективності електромеханічної систем конвеєра. Вісник НТУУ «ХПІ». Серія : Проблеми автоматизованого електропривода теорія і практика. Харків: 2013. № 36. С. 382-384.
53. Pirchio M., Fontanelli M., Frasconi CE Autonomous Mower vs. Rotary Mower: Effects on Turf Quality and Weed Control in Tall Fescue Lawn. Agronomy. 2018. Vol. 8, Is. 2. P. 15-24.

54. Zastempowski M., Bochat A. Modeling of cutting process by the shear- finger cutting block. Applied engineering in agriculture. 2014. Vol. 30, Is. 3, P. 347-353.

55. Бакум М. В., Нікітін С. П., Сергєєва А. В. Проектування сільськогосподарських машин : навч. посіб. Харків : Харк. держ. техн. ун-т с.- г., 2003. 336 с.

56. Веселовська Н.Р., Малаков О.І., Бурлака С.А. Математичне моделювання механізму вивішування косарки-плющилки причіпної КПП-4.2. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2019. №4. С. 5-10.

57. Гунько І.В., Браніцький Ю.Ю., Токарчук О.А. Засоби механізації процесу збирання та подрібнення біоенергетичних культур. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2017. №2. С. 129-134.

58. Гунько І.В., Коваль Л.Г. Енергоощадні безконтактні методи діагностування показників технічного стану мобільної сільськогосподарської техніки. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2016. №3. С. 89-93.

59. Калетнік Г.М., Булгаков В.М., Черниш О.М., Кравченко І.Є., Солоня О.В., Цуркан О.В. Технічна механіка. Підручник. Київ : «Хай-Тек-Прес», 2011. 340 с.

60. Калетнік Г.М., Скорук О.П., Токарчук Д.М. Інженерний менеджмент. Методичні вказівки до виконання курсової роботи для студентів факультету механізації сільського господарства спеціальності 8.091902 «Механізація 79 сільського господарства» форма навчання денна і заочна. Вінниця: ОЦ ВДАУ, 2009. 68 с.

61. Купчук І.М., Браніцький Ю.Ю. Розробка програмного алгоритму розрахунку кінематичних параметрів робочих органів віяльно-калібрувальної машини. Вібрації в техніці та технологіях. 2018. № 2. С.80-87.

62. Серєда Л.П. Перспективи і напрямки розвитку сучасного

механізованого сільськогосподарського виробництва (Частина I «Сучасні напрямки розвитку технологій в рослинництві»: Методичні вказівки по вивченню дисципліни та виконанню практичних робіт, Вінниця РВВ ВНАУ, 2020. 128 с.

63. Сивак І.О., Деревенько І.А., Островський А.Й. Практикум з механіки матеріалів і конструкцій : навчальний посібник.. Вінниця : ВНАУ, 2011. 144 с.

64. Сивак Р.І., Деревенько І.А. Короткий курс теоретичної механіки. Вінниця: ТОВ «Вінницька міська друкарня», 2016. 200 с.

65. Солоня О. В., Купчук І.М. Теорія механізмів і машин. Курсове проектування : Навчальний посібник. Вінниця : ВНАУ, 2019. 249 с.

66. Солоня О.В., Купчук І.М. Прикладна механіка. Методичні рекомендації для виконання практичних робіт. Вінниця : ВНАУ, 2017. 116 с.

67. Солоня О.В., Купчук І.М., Паламарчук В.І. Прикладна механіка. Методичні рекомендації для виконання курсового проекту. Вінниця : ВНАУ, 2017. 84 с.

68. Цуркан О.В. Павленко В.С., Полева Ю.А. Розрахунки передач привода: Методичні вказівки до виконання курсового проекту з навчальної дисципліни «Деталі машин». Вінниця : РВВ ВНАУ, 2011. 87 с.

69. Монастирський В.Ф., Кирия Р.В., Смирнов А.Н. Определение срока службы роликов ленточных конвейеров для различных типов роликсопор. Геотехнічна механіка. 2014. №115 148-153с. ISSN 2309- 6004

70. Печеник Н.В., Бурьян С.А. Энергоэффективные режимы работы электромеханических систем ленточных конвейеров. Технічна електродинаміка. 2014. №5. С. 122-124.

ДОДАТКИ