

Подільський державний університет
Факультет енергетики та інформаційних технологій
Кафедра енергозберігаючих технологій та енергетичного менеджменту

ДИПЛОМНА РОБОТА

на тему:

Дослідження системи оптимального керування режимами роботи електропривода стрічкового конвеєра насипних вантажів

Виконав:

здобувач вищої освіти денної форми навчання
освітнього ступеня «Магістр», освітньо-
професійної програми «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

_____ **Ігор КІРИК**

Керівник: кандидат економічних наук, доцент

_____ **АНДРІЙ ПЕЧЕНЮК**

Оцінка захисту:

Національна шкала _____

Кількість балів _____ Шкала ECTS _____

Допускається до захисту:

«___» _____ 2023 р.

Керівник проектної групи
(гарант освітньої програми)

«Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

кандидат технічних наук, доцент _____ **Ігор ГАРАСИМЧУК**

м. Кам'янець-Подільський, 2023р.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ СТРІЧКОВИХ КОНВЕЄРІВ	13
1.1 Загальна характеристика установки.....	13
1.2 Класифікація.....	14
1.3 Конструкція, принцип роботи.....	15
Висновки до розділу	19
РОЗДІЛ 2 ОГЛЯД МЕТОДІВ І МЕТОДИК ОПТИМІЗАЦІЇ РЕЖИМІВ РОБОТИ СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА ЗА ОСНОВНИМИ КРИТЕРІЯМИ .	20
2.1 Аналіз ефективності експлуатації стрічкових конвеєрів в умовах змінного вантажопотоку	20
2.2 Підвищення енергетичної ефективності частотно-регульованих електроприводів стрічкових конвеєрів	25
2.3 Методика підвищення енергоефективності частотно-регульованих електроприводів стрічкових конвеєрів	30
2.4 Аналіз нерівномірності завантаженості стрічкових конвеєрів.	37
2.5 Енергоефективність роботи стрічкових конвеєрів з урахуванням специфіки споживання електроенергії.....	43
2.6 Моніторинг та оптимізація обслуговування й експлуатації стрічкового конвеєра на основі цифрового подвійного методу	51
Висновки до розділу	56
РОЗДІЛ 3 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА	58
3.1 Технологічний розрахунок конвеєра	58
3.1.1 Вихідні дані для проектування	58
3.1.2 Розрахунок параметрів і вибір елементів конвеєрної установки.....	59
3.1.3 Визначення основних параметрів роликкоопор	61
3.1.4 Тяговий розрахунок конвеєра.....	62

3.1.5 Проектування приводної станції	3
3.1.6 Вибір електродвигуна	67
Висновки до розділу	69
РОЗДІЛ 4 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ	73
4.1 Сучасні системи електроприводу, рекомендовані для стрічкових конвеєрів	74
4.1.1 Нерегульований електропривод за схемою ППП	76
4.1.2 Низьковольтний асинхронний частотно-регульований електропривод	79
4.1.3 Високовольтний частотно-регульований електропривод.....	82
4.1.4 Безтрансформаторний частотно-регульований електропривод.....	86
4.2 Частотно-регульований електропривод стрічкових конвеєрів	89
4.2.1 Загальні відомості щодо застосування частотно-регульованих електроприводів.....	89
4.2.2 Побудова структурної схеми швидкісної системи управління стрічковим конвеєром, розрахунок параметрів.....	92
4.2.3 Синтез імітаційної моделі системи оптимального керування стрічковим конвеєром за критерієм сталості погонного навантаження.....	96
Висновки до розділу	101
ВИСНОВКИ.	102
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	103

ВСТУП

На сьогодні конвеєри визнаються як найбільш економічно вигідний та зручний транспорт для доставки вантажів в межах підприємства. Спеціально стрічкові конвеєри, віднесені до категорії механізмів безперервної дії, характеризуються статичним режимом роботи, де пуск і гальмування виконуються рідко. Ці конвеєри славляться своєю високою продуктивністю та надійністю в роботі. Вони є найпоширенішим типом транспортних машин безперервної дії у всіх галузях промисловості.

Актуальність.

Частка витрат на транспортування вантажу за допомогою стрічкових конвеєрів у його собівартості є досить значною і може сягати до 20%. Ця проблема має велике значення для транспортних систем в цілому. Один із потенційних шляхів вирішення даної проблеми полягає у використанні регульованих електроприводів для стрічкових конвеєрів, зокрема з використанням частотного регулювання швидкості. Це може сприяти ефективнішому управлінню та оптимізації витрат енергії, що є важливим аспектом для підвищення ефективності транспортної системи та зниження витрат на транспортування.

Мета і задачі дослідження.

Мета даної роботи полягає в підвищенні енергоефективності роботи конвеєрної установки шляхом оптимізації режиму роботи, враховуючи критерій стабілізації погонного навантаження на стрічці за допомогою регулювання швидкості конвеєра.

Основні завдання дослідження включають:

Визначення основних підходів до створення оптимальних систем управління електроприводом стрічкового конвеєра.

Розробка імітаційної моделі для дослідження технологічних режимів роботи конвеєра при змінному вантажопотоці.

Оцінка ефективності роботи системи з точки зору споживання електроенергії та визначення можливостей покращення цієї ефективності.

Ці завдання спрямовані на вдосконалення управління конвеєрною установкою з метою оптимізації її робочих параметрів та зменшення енерговитрат, що в кінцевому підсумку покликане підвищити загальну продуктивність та стабільність системи.

Об'єкт дослідження.

Процес транспортування насипних вантажів стрічковим конвеєром при змінному вантажопотоці є складним та важливим аспектом в ефективному функціонуванні конвеєрної системи. Розглянемо основні етапи цього процесу:

Завантаження вантажу: Насипні вантажі, такі як вугілля, пісок чи зерно, завантажуються на стрічку конвеєра. У разі змінного вантажопотоку важливо забезпечити рівномірне та стабільне завантаження для уникнення перевантаження або недозавантаження.

Транспортування: Стрічка конвеєра переносить вантаж вздовж визначеного маршруту. У випадку змінного вантажопотоку, система повинна бути здатною адаптуватися до змін, забезпечуючи оптимальну швидкість та режим роботи для ефективного перенесення вантажу.

Розвантаження вантажу: На кінцевому пункті конвеєра вантаж розвантажується. Цей процес повинен бути плавним і контрольованим, незалежно від змін у вантажопотоці.

Регулювання швидкості: Змінний вантажопотік вимагає постійного регулювання швидкості конвеєра. Використання технологій частотного регулювання електроприводу дозволяє ефективно впоратися з цими змінами та забезпечити оптимальні умови транспортування.

Моніторинг та управління: Система контролю та управління повинна постійно моніторити параметри вантажопотоку та автоматично адаптувати режим роботи конвеєра для забезпечення ефективності та безпеки.

Враховуючи змінний вантажопотік, важливо мати систему, яка може швидко реагувати на зміни та забезпечувати стабільність та ефективність всього процесу транспортування.

Предмет дослідження.

Система частотно-регульованого електропривода стрічкового конвеєра є важливою технологічною складовою, яка дозволяє ефективно управляти швидкістю та режимом роботи конвеєра в залежності від змінних умов. Нижче розглядаються основні елементи цієї системи:

Частотно-регульований привід (ЧРП): Це електропривід, який дозволяє регулювати частоту та напругу, що подається на електродвигун конвеєра. Використання ЧРП дозволяє змінювати швидкість конвеєра з високою точністю, що особливо важливо при змінному вантажопотоці.

Електродвигун: Частотно-регульований електродвигун, який отримує живлення від ЧРП, забезпечує потрібну потужність та керовану швидкість обертання відповідно до змін у вантажопотоці.

Система контролю: Вона включає в себе датчики та програмне забезпечення для моніторингу параметрів конвеєра та регулювання режиму роботи в реальному часі. Це може включати контроль швидкості, температури, ступеня навантаження тощо.

Панель керування: Це інтерфейс для оператора, за допомогою якого можна встановлювати параметри роботи конвеєра, відстежувати його стан та вчасно реагувати на зміни.

Захисні пристрої: Система може включати захисні пристрої, такі як аварійне гальмо чи системи безпеки, для уникнення аварійних ситуацій та забезпечення безпеки експлуатації.

Використання частотно-регульованого електропривода дозволяє оптимізувати роботу стрічкового конвеєра, забезпечуючи енергоефективність, стабільність та адаптивність до змін у вантажопотоці.

Методи дослідження.

Використовуючи систему MATLAB на базі пакету Simulink, була синтезована імітаційна модель для дослідження системи оптимального управління стрічковим конвеєром з урахуванням змінного вантажопотоку. Нижче подано загальний опис структури та функціональності цієї імітаційної моделі:

Частотно-регульований привід (ЧРП): Використовуючи блоки Simulink, реалізований ЧРП, який дозволяє налаштовувати частоту та напругу, що подається на електродвигун конвеєра.

Механічна частина конвеєра: Модель включає в себе механічну частину конвеєра, що визначає його динаміку руху та взаємодію з вантажем.

Система контролю: Використовуючи Simulink, розроблений блок системи контролю, який моніторить параметри конвеєра та відповідає на зміни у вантажопотоці. Це може включати алгоритми регулювання швидкості та оптимізації енергоспоживання.

Датчики та засоби вводу: В імітаційній моделі використовуються віртуальні датчики та засоби вводу для отримання даних про стан конвеєра та вантажопотік.

Панель керування: Введена інтерактивна панель керування для можливості оператора вручну встановлювати параметри роботи конвеєра та відстежувати його стан.

Графічне відображення результатів: Розроблено візуальне представлення результатів досліджень, таке як графіки швидкості конвеєра, витрати електроенергії та інші параметри.

Використання MATLAB і Simulink дозволяє проводити детальне моделювання та аналіз системи управління стрічковим конвеєром, реалізуючи ефективне та оптимальне управління в умовах змінного вантажопотоку.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в розробці моделі системи оптимального керування стрічковим конвеєром з використанням критерію сталості погонного навантаження. Основні аспекти, які вносять новаторство у дослідження, включають:

Оптимізація керування при змінному вантажопотоці: Розроблена модель управління дозволяє адаптивно регулювати швидкість конвеєра відповідно до змін у вантажопотоці, забезпечуючи сталість погонного навантаження.

Використання критерію сталості погонного навантаження: Введений критерій сталості погонного навантаження стає основою для розробки оптимальних стратегій управління, спрямованих на забезпечення стабільності роботи конвеєра при змінних умовах вантажопотоку.

Використання MATLAB і Simulink: Використання потужних інструментів MATLAB і Simulink для створення імітаційної моделі, що дозволяє детально вивчати та аналізувати різні сценарії управління та їх вплив на сталість погонного навантаження.

Практична застосовність: Розроблена модель має потенційне застосування у реальних промислових умовах, де стрічкові конвеєри використовуються для транспортування вантажів зі змінним вантажопотоком.

Ці результати можуть бути корисні для оптимізації процесів транспортування на стрічкових конвеєрах в умовах змінного вантажопотоку, сприяючи ефективнішому та стабільному управлінню системою.

Отримані результати з використання синтезованої імітаційної моделі підтверджують ефективність системи частотно-регульованого електроприводу в управлінні стрічковим конвеєром. Нижче наведено ключові висновки, які доводять цю ефективність:

Точне відпрацювання пропорційного закону зміни кутової швидкості: Результати моделювання свідчать, що система частотно-регульованого електроприводу забезпечує точне відпрацювання потрібного пропорційного закону зміни кутової швидкості валу двигуна від заданого характеру зміни погонного навантаження на стрічці.

Можливість підтримання сталості погонного навантаження: Система частотно-регульованого електроприводу демонструє здатність підтримувати сталість погонного навантаження на стрічці у всіх режимах роботи конвеєра. Це є

ключовим фактором для забезпечення стабільності та ефективності процесу транспортування.

Відповідність вимогам практичного застосування: Отримані результати роботи моделі підтверджують, що система електроприводу може бути успішно використана в реальних умовах промислового виробництва, де стрічкові конвеєри мають змінний вантажопотік.

У цілому, отримані висновки підтверджують можливість та ефективність використання системи частотно-регульованого електроприводу для забезпечення сталості погонного навантаження та оптимізації роботи стрічкового конвеєра у різних умовах роботи.

Апробація роботи. Ефективне використання енергії стан і перспективи. Всеукраїнська студентська науково-практична конференція. 9 листопада 2023 р. (ЗВО «ПДУ», м. Кам'янець-Подільський).

Публікації. Ігор КІРИК. АНАЛІЗ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ ВИСОКОВОЛЬТНОГО БЕЗТРАНСФОРМАТОРНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЧАСТОТИ З ІНВЕРТОРОМ СТРУМУ / Ігор КІРИК, Віктор ДУБІК, Олег ГОРБОВИЙ // Ефективне використання енергії стан і перспективи: збірник наукових праць III Всеукраїнської студентської науково-практичної конференції. 9 листопада 2023 р. (ЗВО «ПДУ», м. Кам'янець-Подільський). – Кам'янець-Подільський, 2023. – С.

ВИСНОВКИ.

Оптимізація режимів роботи стрічкових конвеєрів за різними критеріями дозволяє підвищити надійність, енергоефективність та забезпечити ресурсозбереження.

Основним критерієм оптимізації, спрямованим на зменшення споживаної потужності при транспортуванні, є підтримання постійного погонного навантаження на стрічці за рахунок регулювання швидкості конвеєра.

Найбільш перспективним вважається застосування частотно-регульованого асинхронного електропривода, що сприяє покращенню енергетичних показників та забезпечує ресурсозбереження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лукомский Л.В., Ставицкий В. Н. Автоматизация технологических объектов и процессов. Поиск молодых. - 2011 // Материалы XI Международной научно-технической конференции. - Донецьк, ДонНТУ - 2011.
2. Малиновский. А.К. Автоматизированный электропривод машин и установок шахт и копалень : Підручник для внз. - К.: Надра, 1987. - 277 з
3. Фигаро Б.И., Павлячик Л.Б. Регулирование электроприводов переменного тока - Мн.: Техноперспектива, 2006. - 383 с.
4. Семькина И.Ю., Негадаев В. А. Методика повышения энергоэффективности многоручовых частотно-регулируемых электроприводов магистральных ленточных конвейеров : Харків. 2017. № 3, с.134-142
5. Zaklika M., Kollek M. and Tytko C. Belt conveyors with adjustable speed, BSS BARTEC, plant "Menden", Germany, CARBO - BARTEC, Poland, mine "ANNA", Poland, 2016. The original source of material: <http://www.bartec-sst.ru/images/work/Media/for-conveyance.pdf>.
6. Браславский, И.Я. Энергоэкономичный асинхронный электропривод: навчальн. посібник для студ. высш. навчальн. закладів / И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, В. Н. Поляків. - Львів, 2004. - 256 с.
7. Beshta O.S. Electric drives adjustment for improvement of energy efficiency of technological processes, Scientific Bulletin NSU, 2012, Vol. 4, pp. 98-107. The original source of material: <http://nv.nmu.org.ua/index.php/ru/component/jdownloads/finish/34-04/530-2012-4-beshta/0>.
8. Краснов И.Ю. Методы и средства энергосбережения на промышленных предприятиях: учебный посібник. - Київ, 2012. - 186 с.

9. Електропривод і автоматизація промислових установок як засоби енергозбереження / И.А. Авербах, Е.И. Барац, И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов. - Харків, 2002. - 28 с.
10. Частотно-регульований асинхронний електропривод як засіб енергозбереження / И.А. Авербах, Е.И. Барац, И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов // Энергетика регіону. - Єкатеринбург, 2002. - №2(45). - С. 34-35.
11. Бабокин Г. І. Енергозбереження в електроприводі конвеєра // Изв. внз. Гірський журнал. - 2002. - №1. - С. 122-125.
12. Zaklika M., Kollek M. and Tytko C. Belt conveyors with adjustable speed, BSS BARTEC, plant "Menden", Germany, CARBO - BARTEC, Poland, mine "ANNA", Poland, 2016. The original source of material: <http://www.bartec-sst.ru/images/work/Media/for-conveyance.pdf>.
13. Семенченко А.К., Стаднік М. І., Белицький П. В., Семенченко Д.А./ Математична модель цільової функції оптимізації режимів роботи приводу стрічкового конвеєра// Геотехнічна механіка. - 2017. - №134.- С. 163-177.
14. Функціональна модель комбайна для підвищених темпів проведення вироблень / А.К.Семенченко, О. Е.Шабает, А.И.Хиценко, Е.Ю.Степаненко // Наукові праці ДонНТУ. Серія "Гірничо-електромеханічна". - Донецьк, 2012. -Вип. 23/196. - с. 219-226.
15. Уайлд, Д. Optimal planning / of Д. Уфйлд. - М., 1981. - 272 с.Лаухофф, Х. Действительно регулирование скорости ленточных конвейеров способствует экономии энергии? // Глюкауф - Эссен - М., 2006. - № 1 (март) - с. 9-15
16. Natalia Suchorab/ Specific energy consumption - the comparison of belt conveyors// of Mining Science, vol. 26, 2019, 263-274.
17. Manfred Ziegler, Digital of twin based method to monitor and optimize belt conveyor maintenance and operation, in of Naj Aziz and of Bob Kininmonth (eds.), Proceedings of of the 2019 Coal Operators Conference, Mining Engineering, University of of of Wollongong, 18-20 February 2019, 125-132.

18. Danfoss of engineering [Electronic ресурс]: database. it is access Mode: <https://drives.ru/stati/primeneniya - preobrazovateley - chastoty/>

19. Автоматизированный of электропривод ленточных конвейеров: [Электронный ресурс]. it is Mode of доступа : <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=698140>.

20. Стартуп-проект. Recommendations to implementation of division of master's degree dissertation of "Development of стартап-проекту" [the Electronic resource] : train aid for the students of specialties : a 101 "Ecology", 141 "Electroenergy, electrical engineering and electromechanics", 144 "Heating engineering", specializations: "Engineering ecology and ресурсозбереження", "Engineering of electrical engineering complexes", "Electromechanics and мехатронні systems of power-hungry productions", "System of power supply", "Power management and енергоефективність" the "Power management and engineering" / of П. Ін. Круш, Н. Анд. Шевчук, О. Анд. Андрусь ; КПІ the name of Ihor Сікорського. - Electronic to the test given (1 file: 127 КБ). it is Kyiv КПІ the name of Ihor Сікорського, 2019. - 50 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/27914>

21. Startup-project: Recommendations for the elaboration of the Master's thesis section «Startup Project Elaboration» [Electronic resource] : teach. edition for studio specialties 101 «Ecology», 141 «Power, electrical engineering and electromechanics», 144 «Thermal engineering» specializations «Engineering Ecology and Resource saving», «Engineering of Automated Electrotechnical Complexes», «Electromechanical and Mechatronic Systems of Power-intensive Industries», «Power Supply Systems», «Energy Management and Energy Efficiency», «Energy Management and Engineering» / P. Krush, N. Shevchuk, O. Andrus ; Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute. – Electronic test data (1 file: 109 Kb). – Kyiv : Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2019. – 50 p. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/27938>

22. Шевчук Н.А. Розробка та впровадження стартап проекту на прикладі геосинтетичного модуля-опалубки / Шевчук Н.А., Вапнічна В.В. // Сучасні проблеми економіки і підприємництва [Текст]: Збірник наукових праць. – Вип.

23. – К.: ІВЦ Видавництво «Політехніка», 2019 С.32-40.
[file:///C:/Users/user/Downloads/165788-384771-1-PB%20\(6\).pdf](file:///C:/Users/user/Downloads/165788-384771-1-PB%20(6).pdf)

23. Шевчук Н.А., Зайченко С.В., Кривда О.В. Впровадження та реалізація стартап проекту геомехатронного комплексу Сучасні проблеми економіки і підприємництво [Текст]: Збірник наукових праць. – Вип. 21. – К.: ІВЦ Видавництво «Політехніка», 2018 С. 94-101. <http://sb-keip.kpi.ua/article/viewFile/130546/132655>

24. Шевчук Н.А. Впровадження та реалізація стартапів в гірництві / Шевчук Н.А. / Міжнародна науково-технічна конференція, присвячена 120 – річчю КПІ «ПРОБЛЕМИ ГЕОІНЖЕНЕРІЇ ТА ПІДЗЕМНОЇ УРБАНІСТИКИ», м. Київ, 17-18 травня 2018 р.– К.: НТУУ «КПІ», 2018. – С. 89-90.