

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМ. ДМИТРА МОТОРНОГО
ФАКУЛЬТЕТ ЕНЕРГЕТИКИ І КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

кафедра електротехніки і електромеханіки
імені професора В.В. Овчарова

Волков Сергій Миколайович

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕРОБКИ ТВЕРДОГО
БЮПАЛИВА ТА РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ
КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ШНЕКОВОГО ДОЗАТОРА**

Спеціальність: 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Спеціальність: 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Керівник: к.т.н., доцент В.В. Гузенко

Запоріжжя, 2026

РЕФЕРАТ

Волков Сергій Миколайович. Дослідження процесу переробки твердого біопалива та розробка автоматизованої системи керування електроприводом шнекового дозатора. Кваліфікаційна робота. Запоріжжя : ТДАТУ, 2026. 77 с.

Кваліфікаційна робота присвячена дослідженню технологічного процесу переробки твердого біопалива та розробці автоматизованої системи керування електроприводом шнекового дозатора для оптимізації цього процесу.

Мета: всебічне дослідження процесу переробки твердого біопалива та обґрунтування необхідності розробки ефективної та автоматизованої системи управління електроприводом шнекового дозатора.

Об'єктом дослідження є процес переробки біопалива та система керування електроприводом шнекового дозатора, предметом - дослідження переробки твердого біопалива та автоматизована система керування електроприводом шнекового дозатора.

В роботі проведено аналіз сучасних методів переробки твердого біопалива, визначено основні етапи технологічного процесу та його ключові параметри. Виявлено недоліки існуючих систем дозування біомаси та запропоновано новий підхід на базі автоматизованого електроприводу шнекового дозатора.

Розроблена система керування електроприводом дозволяє здійснювати точне дозування біомаси, регулювати швидкість подачі та забезпечувати стабільність процесу переробки. В роботі детально описано структуру системи керування, алгоритми роботи та принципи взаємодії з датчиками та виконавчими механізмами.

Результати дослідження можуть бути використані для розробки та впровадження нових технологій переробки твердого біопалива, що сприятиме розвитку екологічно чистої енергетики та вирішенню проблеми утилізації органічних відходів.

Методичною основою роботи стали загальнонаукові та прикладні методи наукових досліджень: емпіричний, аналізу та синтезу, експерименту, спостереження, узагальнення тощо.

Розглянуто питання забезпечення охорони праці та безпеки роботи з електрообладнанням.

Пояснювальна записка займає 82 сторінки. Графічний матеріал представлено 10 таблицями та 8 рисунками. Список використаних джерел вміщує 42 джерела.

Ключові слова: біологічне паливо, електродвигун, електропривод, дозування, переробка, шнековий дозатор.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПЕРЕРОБКИ ТВЕРДОГО БІОПАЛИВА	
1.1. Тверде біопаливо як джерело відновлюваної енергії	11
1.2. Види твердого біопалива та їх фізико-механічні властивості	14
1.3. Технологічні процеси переробки твердого біопалива	17
1.4. Аналіз обладнання для транспортування та дозування біопалива	20
Висновки до розділу 1	22
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ШНЕКОВОГО ДОЗАТОРА У ПРОЦЕСІ ПЕРЕРОБКИ БІОПАЛИВА	
2.1. Конструктивні особливості та принцип дії шнекового дозатора	24
2.2. Забезпечення процесу дозування твердого біопалива	28
2.3. Аналіз впливу параметрів електропривода на продуктивність шнекового дозатора	31
2.4. Експериментальні дослідження режимів роботи шнекового дозатора	34 36
2.5. Аналіз результатів досліджень та їх узагальнення	38
Висновки до розділу 2	
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ШНЕКОВОГО ДОЗАТОРА	
3.1. Обґрунтування вибору структури автоматизованої системи керування електроприводом шнекового дозатора	39
3.2. Вибір та технічна характеристика електропривода шнекового дозатора	41
3.3. Алгоритм роботи автоматизованої системи керування	44

електроприводом шнекового дозатора	
3.4. Ефективність впровадження автоматизованої системи керування електроприводом шнекового дозатора	52
Висновки до розділу 3	60
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	
4.1. Аналіз умов праці під час експлуатації шнекового дозатора	63
4.2. Заходи з охорони праці та техніки безпеки. Заходи пожежної та електробезпеки	65
Висновки до розділу 4	70
ВИСНОВКИ	72
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	76
ДОДАТКИ	79

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Сьогоднішній світ стикається з серйозними викликами, пов'язаними із забрудненням навколишнього середовища та вичерпанням викопних джерел енергії. Пошук альтернативних, екологічно чистих та відновлюваних джерел енергії є одним з найважливіших завдань сучасності. У цьому контексті тверде біопаливо, отримане з органічних відходів, виступає перспективною сировиною для виробництва тепла та електроенергії, що підтверджує актуальність теми дослідження.

Ступінь дослідженості проблеми. Питанням дослідження процесу переробки твердого біопалива та обґрунтування необхідності розробки ефективної та автоматизованої системи управління електроприводом шнекового дозатора приділяють увагу дослідники С. Кудря, П. Савченко, М. Лисиченко, О. Тищенко, В. Гузенко, М. Костенко, Л. Перельман та інші закордоні і українські науковці. Як зазначає С. В. Кудря, «біоенергетичні ресурси мають значний потенціал для використання в автономних і розподілених енергетичних системах, зокрема в установках малої та середньої потужності [16]. Тверде біопаливо охоплює деревну біомасу, сільськогосподарські відходи, пелети та брикети, які застосовуються для виробництва теплової й електричної енергії.

У контексті електроенергетики тверде біопаливо використовується в біоенергетичних установках із паровими та газовими турбінами, а також у когенераційних системах. За даними досліджень А. Хюгеса «... ефективність таких систем значною мірою залежить від стабільності подачі палива та точності керування технологічними процесами, що безпосередньо пов'язано з роботою електроприводів і автоматизованих систем управління [33].

Електромеханіка як міждисциплінарна галузь поєднує електричні та механічні процеси, що відбуваються в електроприводах, механізмах подачі, транспортування та дозування матеріалів. За дослідженнями М. П. Костенка та Л.І. Перельмана, ефективність електромеханічних систем значною мірою залежить від узгодженості електричної та механічної частин, а також від точності систем автоматичного керування (Костенко М.П., Перельман Л.І., 2006) [15].

З позицій електромеханіки важливе значення має забезпечення надійної та рівномірної подачі твердого біопалива до зони спалювання або переробки. Як підкреслюють Б. І. Басок та О. М. Лисенко, «... використання шнекових дозаторів із регульованим електроприводом дозволяє оптимізувати процес транспортування біомаси, зменшити енергоспоживання та підвищити загальну ефективність енергетичної установки» [1].

Автоматизація електроприводів у системах переробки твердого біопалива забезпечує точне регулювання швидкості обертання, синхронізацію роботи механізмів та адаптацію до змінних властивостей палива. За твердженням В. В. Шавелькіна, застосування сучасних частотних перетворювачів та мікропроцесорних систем керування є ключовим чинником підвищення надійності й енергоефективності електромеханічних систем біоенергетичних установок [23].

Але означені темою дослідження питання потребують подальшого дослідження та розвитку.

Мета дослідження. Кваліфікаційна робота спрямована на всебічне дослідження процесу переробки твердого біопалива та обґрунтування необхідності розробки ефективної та автоматизованої системи управління електроприводом шнекового дозатора.

Об'єктом дослідження є процес переробки біопалива та система керування електроприводом шнекового дозатора, предметом - дослідження переробки твердого біопалива та автоматизована система керування електроприводом шнекового дозатора.

Завдання дослідження:

- надати теоретичне обґрунтування основи переробки твердого біопалива;
- дослідити порядок роботи шнекового дозатора у процесі переробки біопалива;
- представити рекомендації щодо розробки автоматизованої системи керування електроприводом шнекового дозатора.

Практична значущість. Результати дослідження можуть бути використані для розробки та впровадження нових технологій переробки твердого біопалива, що сприятиме розвитку екологічно чистої енергетики та вирішенню проблеми утилізації органічних відходів.

Методичною основою роботи стали загальнонаукові та прикладні методи наукових досліджень: емпіричний, аналізу та синтезу, експерименту, спостереження, узагальнення тощо. Інформаційною основою - наукові та навчальні матеріали українських та закордонних авторів, нормативні документи.

Оприлюднення результатів досліджень:

1) Волков С. М. Інтеграція розумних мереж як ключовий елемент діджиталізації електроенергетики та інтеграції відновлювальних джерел енергії. Матеріали *XII Всеукраїнської науково-технічної конференції здобувачів вищої освіти ТДАТУ*. Факультет енергетики та комп'ютерних технологій (01-09 травня 2025 р.) Запоріжжя: ТДАТУ, 2025. С. 4-6 <http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/18972> [5] (додаток А);

2) Доповідь Волкова С.М. на тему «Розробка автоматизованої системи керування електроприводом шнекового дозатора». Міжнародна науково-практична конференція «Електроенергетика, електромеханіка та технології в АПК» (5 листопада 2025 р., ім. Харків, Державний біотехнологічний університет (он-лайн режим, сертифікат- додток Б).

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПЕРЕРОБКИ ТВЕРДОГО БІОПАЛИВА

- **Тверде біопаливо як джерело відновлюваної енергії**

У сучасних умовах зростання енергетичних потреб та обмеженості традиційних паливно-енергетичних ресурсів особливої актуальності набуває використання відновлюваних джерел енергії. Одним із перспективних напрямів енергетичної трансформації є застосування твердого біопалива, яке формується на основі біомаси рослинного або тваринного походження та відновлюється природним шляхом у відносно короткі проміжки часу.

Тверде біопаливо являє собою органічне паливо, отримане шляхом механічної, термічної або хіміко-технологічної переробки біомаси, зокрема деревини, сільськогосподарських відходів, енергетичних культур та побічних продуктів деревообробної і аграрної промисловості. До основних видів твердого біопалива належать дрова, тріска, пелети, брикети, лушпиння зернових культур, солома та інші біологічні матеріали.

Ключовою перевагою твердого біопалива є його відновлюваність та екологічна безпечність. Під час спалювання біопалива в атмосферу вивільняється кількість вуглекислого газу, яка приблизно дорівнює обсягу CO₂, поглинутому рослинами в процесі фотосинтезу, що забезпечує так званий вуглецево-нейтральний баланс. Завдяки цьому використання твердого біопалива сприяє зниженню рівня парникових викидів та зменшенню негативного впливу на навколишнє природне середовище.

Розвиток електроенергетики, електротехніки та електромеханіки у XXI столітті тісно пов'язаний із впровадженням відновлюваних джерел енергії, серед яких тверде біопаливо займає важливе місце. Згідно з науковими

дослідженнями, використання біомаси як енергетичного ресурсу дозволяє не лише диверсифікувати паливний баланс, але й підвищити енергетичну безпеку держави та знизити негативний вплив енергетики на навколишнє середовище [11].

Сучасний етап розвитку електроенергетики, електротехніки та електромеханіки характеризується зростанням вимог до енергоефективності, надійності та екологічної безпеки енергетичних і електромеханічних систем. У наукових дослідженнях провідних учених наголошується, що подальший розвиток галузі неможливий без інтеграції автоматизованих систем керування, сучасних електроприводів та відновлюваних джерел енергії [24].

Електроенергетика як науково-технічна галузь охоплює процеси виробництва, передачі, розподілу та споживання електричної енергії. За визначенням В. В. Шавелькіна, ключовими тенденціями розвитку є децентралізація генерації, впровадження інтелектуальних мереж та підвищення ролі автоматизованих систем диспетчерського керування (Шавелькін В.В., 2018) [23]. Такі підходи дозволяють підвищити стабільність енергосистем і зменшити втрати електроенергії.

В електротехніці особлива увага приділяється дослідженню електричних машин, силової електроніки та перетворювальної техніки. Як зазначає Р. Вас, «...застосування частотних перетворювачів і напівпровідникових пристроїв нового покоління забезпечує ефективне регулювання режимів роботи електроприводів та оптимізацію енергоспоживання» [42]. Це має вирішальне значення для промислових установок із змінними навантаженнями.

Сучасні наукові роботи підкреслюють важливість автоматизації електромеханічних систем. Зокрема, Б. І. Басок і С. М. Кухарець доводять, що впровадження автоматизованих систем керування електроприводами

дозволяє підвищити продуктивність обладнання, знизити зношування механічних вузлів і забезпечити адаптацію до змінних технологічних умов [1].

Інтеграція електроенергетичних рішень, сучасних електроприводів і автоматизованих систем керування є визначальним напрямом подальшого розвитку галузі та основою для підготовки висококваліфікованих інженерів.

Тверде біопаливо розглядається не лише як альтернативне джерело енергії, а і як об'єкт комплексного інженерного аналізу в межах спеціальності «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Ефективна переробка біомаси потребує поєднання сучасних електроенергетичних технологій, надійних електромеханічних систем і автоматизованого керування, що відкриває широкі перспективи для подальших наукових досліджень та інженерних розробок.

З економічної точки зору тверде біопаливо є конкурентоспроможним енергетичним ресурсом, особливо для регіонів із розвиненим аграрним або лісовим сектором. Його використання дозволяє зменшити залежність від імпортованих енергоносіїв, оптимізувати енергетичні витрати підприємств та створити додаткові робочі місця у сфері заготівлі й переробки біомаси.

Важливу роль тверде біопаливо відіграє у забезпеченні енергетичної безпеки держави та розвитку децентралізованих енергетичних систем. Воно широко застосовується в теплогенеруючих установках, котельнях, на промислових підприємствах, а також у системах автономного теплопостачання. Розвиток технологій переробки та автоматизації процесів подачі й дозування біопалива значно підвищує ефективність його використання та стабільність роботи енергетичного обладнання.

Таким чином, тверде біопаливо є важливим складником сучасної енергетичної системи, що поєднує екологічні, економічні та соціальні

переваги. Його подальший розвиток і впровадження потребують вдосконалення технологій переробки, транспортування та автоматизованого керування, що обумовлює актуальність досліджень у сфері використання твердого біопалива та відповідних технічних рішень.

Важливою характеристикою твердого біопалива є його енергетичний потенціал, який визначається теплотворною здатністю, вологістю, зольністю та щільністю матеріалу. Саме ці показники безпосередньо впливають на ефективність процесів згоряння, транспортування та зберігання біопалива. Зниження вологості та підвищення однорідності біопаливної сировини дозволяє суттєво підвищити коефіцієнт корисної дії енергетичних установок і зменшити втрати енергії.

У сучасній практиці широкого поширення набули технології попередньої підготовки твердого біопалива, які включають сушіння, подрібнення, пресування та гранулювання. Такі процеси спрямовані на покращення фізико-механічних властивостей палива, спрощення його дозування та автоматизованої подачі до енергетичного обладнання. Особливо ефективними вважаються пелети та брикети, які характеризуються стабільними геометричними параметрами та високою питомою теплотою згоряння.

Зростання обсягів використання твердого біопалива вимагає впровадження сучасних систем керування технологічними процесами його переробки та подачі. «Автоматизація дозволяє забезпечити рівномірність дозування палива, стабільність режимів роботи електроприводів, зниження впливу людського фактора та підвищення загальної надійності системи» [17]. Особливу роль у цьому відіграють шнекові дозатори, які широко застосовуються для транспортування і точного дозування сипких та гранульованих біоматеріалів.

Застосування автоматизованих систем керування електроприводами шнекових дозаторів забезпечує оптимальне регулювання подачі біопалива відповідно до змін навантаження, характеристик сировини та вимог технологічного процесу. Це сприяє підвищенню енергоефективності, зменшенню зношування обладнання та зниженню експлуатаційних витрат. У зв'язку з цим дослідження процесів переробки твердого біопалива та розробка автоматизованих систем керування є важливим науково-практичним завданням.

Отже, тверде біопаливо не лише виступає перспективним джерелом відновлюваної енергії, але й формує потребу у створенні ефективних, надійних та автоматизованих технологічних систем його переробки і використання. Це обумовлює необхідність комплексного підходу до аналізу властивостей біопалива, вибору технічних засобів та розробки сучасних систем керування, що є основою подальших досліджень у межах даної магістерської роботи.

- **Види твердого біопалива та їх фізико-механічні властивості**

Тверде біопаливо, як відновлюване джерело енергії, стає все більш актуальним у сучасному світі. Його переваги полягають у низькому рівні викидів шкідливих речовин, доступності сировини та можливості використання в існуючих енергетичних системах.

Серед видів твердого біопалива можна виділити такі – таблиця 1.1.

Таблиця 1.1

Види та характеристики твердого біопалива

Вид твердого	Характеристика,	Переваги, недоліки
---------------------	------------------------	---------------------------

біопалива	особливості	виду
Деревина	Класичний вид палива з високою теплотворною здатністю. Фізико-механічні властивості деревини залежать від породи дерева, вологості та стану обробки	Суха деревина має низьку щільність, високу міцність на стиск та згин
Пелети	Спресовані гранули з подрібненої деревини, лушпиння, соломи чи інших органічних відходів	Пелети мають високу щільність, стійкість до вологи та зручність транспортування і зберігання. Їх теплотворна здатність дещо нижча, ніж у деревини
Брикети	Аналогічні пелетам, але виготовлені шляхом пресування сировини без додавання зв'язуючих речовин	Брикети мають більшу щільність та міцність на стиск, ніж пелети
Торф	Рослинний матеріал, що накопичився в болотах. Торф має високу вологість, тому його необхідно сушити перед використанням	Теплотворна здатність торфу нижча, ніж у деревини, але він є доступним та відновлюваним джерелом енергії
Сільськогосподарські відходи	Солома, кукурудзяні стебла, лушпиння соняшнику тощо	Ці відходи можна використовувати для виробництва пелетів чи брикетів після їх подрібнення та сушіння

Джерело: узагальнено автором на підставі [2, 3, 7]

Фізико-механічні властивості твердого біопалива визначають його придатність до використання в різних технологічних процесах. Важливо враховувати такі параметри та властивості – таблиця 1.2.

Таблиця 1.2

Фізико-механічні властивості твердого біопалива

Властивість	Сутність
Теплотворна здатність	Кількість тепла, що виділяється при спалюванні одиниці маси палива
Вологість	Вміст води у паливі, який впливає на його теплотворну здатність та ефективність горіння
Щільність	Маса одиниці об'єму палива, що впливає на його транспортабельність та зберігання
Міцність	Опірність палива деформації під дією механічних навантажень
Розмір частинок	Впливає на горючість та ефективність спалювання

Джерело: узагальнено на основі [3, 7, 18]

Вибір виду твердого біопалива залежить від конкретних потреб та умов експлуатації. Паливо є незамінним ресурсом для виробництва енергії та тепла. Його якість визначається рядом важливих властивостей, які впливають на його ефективність та практичне застосування.

Теплотворна здатність, вимірювана в кілокалоріях на грам (ккал/г), характеризує кількість тепла, що виділяється при повній combustion одиниці маси палива. Чим вища теплотворна здатність, тим більше енергії може бути отримано з даної кількості палива.

Вологість палива, виражена у відсотках, впливає на його теплотворну здатність та ефективність горіння. Вода, що міститься в паливі, поглинає частину тепла під час процесу combustion, знижуючи загальну кількість виділеної енергії.

Щільність, вимірювана в кілограмах на кубічний метр ($\text{кг}/\text{м}^3$), характеризує масу одиниці об'єму палива. Щільність впливає на транспортабельність та зберігання палива, оскільки більш щільне паливо займає менше місця при однаковій масі.

Міцність палива визначає його здатність витримувати механічні навантаження без деформації. Міцніші типи палива менш схильні до руйнування під час транспортування та зберігання.

Розмір частинок палива також відіграє важливу роль у процесі горіння. Менші частинки мають більшу поверхню контакту з повітрям, що сприяє швидшому та ефективнішому горінню.

Зрозуміння цих властивостей дозволяє вибрати найефективніше паливо для конкретних потреб та оптимізувати процеси combustion.

Важливо проводити ретельний аналіз фізико-механічних властивостей палива, щоб забезпечити ефективне та екологічно чисте використання.

1.3. Технологічні процеси переробки твердого біопалива

Використання твердого біопалива, такого як деревна біомаса, сільськогосподарські залишки та енергетичні культури, стає все більш

актуальним у контексті переходу до відновлюваних джерел енергії. Однак для ефективного використання цього виду палива необхідні технологічні процеси переробки, які дозволяють підвищити його енергетичну щільність та покращити властивості горіння.

Серед основних технологічних процесів переробки твердого біопалива можна виділити такі – таблиця 1.3.

Вибір конкретного технологічного процесу залежить від типу біопалива, його властивостей, а також від призначення отриманого продукту. Комбінування різних методів переробки дозволяє отримати паливо з покращеними властивостями та високою ефективністю використання.

Таблиця 1.3

Основні технологічні процеси переробки твердого біопалива

Процес	Сутність процесу	Властивості, ефект
Подрібнення	Зменшення розміру частинок біомаси до оптимального для подальшої обробки	Підвищує ефективність згоряння та покращує гомогенність паливної суміш
Сушка	Зменшення вологості біомаси до рівня, який забезпечує ефективне згоряння	Висока вологість знижує енергетичну щільність палива і може призвести до неповного згоряння
Піроліз	Термічна деструкція біомаси в бескисневому середовищі, що призводить до утворення біомасла, синтез-газу та твердого залиш	Цей процес дозволяє отримати цінні продукти з різних фракцій біомаси
Газифікація	Термічна обробка біомаси в присутності обмеженої	Синтез-газ може бути використаний як паливо

	кількості кисню, що призводить до утворення синтез-газу - суміші вуглецю оксиду, водню та інших газів	або сировина для виробництва хімічних продуктів
Пелетирування	Пресування біомаси в щільні гранули (пелети)	Підвищує її енергетичну щільність та спрощує транспортування та зберігання

Джерело: узагальнено на основі [7, 18]

Розвиток технологічних процесів переробки твердого біопалива є ключовим фактором для розширення його застосування як альтернативного та відновлюваного джерела енергії.

Використання біомаси як відновлювального джерела енергії та сировини для виробництва різних продуктів стає все більш актуальним. Зростаючі потреби людства та екологічні вимоги до мінімізації впливу на навколишнє середовище стимулюють розробку новітніх технологій переробки біомаси.

Науковий підхід до розробок технологічних процесів переробки твердого біопалива дозволяє розвиватись у цьому напрямку. Серед найперспективніших методів можна виділити:

1) Суперкритичне вилучення. Ця технологія базується на використанні надкритичних рідин, таких як вуглекислий газ чи вода, для екстракції цінних компонентів з біомаси. Надкритичний стан характеризується унікальними властивостями розчинності, що дозволяють ефективно вилучати різноманітні сполуки, включаючи ліпіди, поліфеноли та інші біологічно активні речовини.

2) Мікрохвильове опромінення. Цей метод використовує мікрохвильове випромінювання для швидкого та ефективного розкладання біомаси.

Мікрохвильові хвилі вибірково поглинаються молекулами води, що призводить до їхнього нагрівання і розриву хімічних зв'язків у структурі біомаси. Такий підхід дозволяє отримати цінні продукти, такі як біопаливо, біогаз та біохімікати, з мінімальним використанням енергії та часу [7].

3) Біореактори. Ці системи використовують мікроорганізми для перетворення біомаси в цінні продукти. Мікроорганізми, такі як бактерії та гриби, здатні розщеплювати складні органічні сполуки на простіші, які можна використовувати для виробництва біопалива, біогазу, біопластиків та інших продуктів. Біореактори дозволяють здійснювати процес переробки в контрольованих умовах, оптимізуючи вихід цінних продуктів.

Застосування цих та інших новітніх технологій сприятиме розвитку біоекономіки, забезпечуючи стійке виробництво енергії та сировини з мінімальним негативним впливом на навколишнє середовище.

1.4. Аналіз обладнання для транспортування та дозування біопалива

Використання біопалива як альтернативи традиційним паливним ресурсам стає все більш актуальним у зв'язку з зростаючими цінами на нафту та необхідністю зменшення викидів парникових газів. Ефективне використання біопалива залежить не тільки від його якості, але й від обладнання, яке використовується для його транспортування та дозування.

Транспортне обладнання представляє такі види – таблиця 1.4.

При виборі обладнання для транспортування та дозування біопалива необхідно враховувати такі фактори:

- тип біопалива. Різні типи біопалива мають різні фізико-хімічні властивості, які впливають на вибір обладнання;
- обсяг виробництва/споживання. Об'єм виробництва чи споживання біопалива визначає необхідну потужність та місткість обладнання;
- вимоги до точності: Для деяких застосувань потрібна висока точність дозування, наприклад, при виробництві паливних сумішей.

Ефективне використання біопалива вимагає застосування відповідного обладнання для його транспортування та дозування. Вибір обладнання залежить від типу біопалива, об'єму виробництва/споживання та вимог до точності.

Застосування біопалива як альтернативного джерела енергії стає все більш актуальним у зв'язку з зростаючими цінами на традиційне паливо та необхідністю зменшення викидів парникових газів. Ефективне використання біопалива потребує ретельної організації процесів його транспортування та дозування. Вибір відповідного обладнання для цих операцій є ключовим

фактором, що впливає на безпеку, економічність та екологічну стійкість всієї системи.

Таблиця 1.4

Види обладнання для транспортування та дозування біопалива

Вид обладнання	Призначення	Вимоги
Обладнання для транспортування		
Цистерни	Для транспортування рідких біопалив (біодизель, біотопливо) найчастіше використовуються спеціалізовані цистерни з нержавіючої сталі	Мають бути герметичними та обладнаними системами опалення для підтримання оптимальної температури зберігання палива
Контейнери	Для транспортування твердих біопалив (біомаса, пелети) застосовуються контейнери з міцних матеріалів, таких як дерево або метал	Мають бути достатньо місткими та забезпечувати захист палива від вологи та пошкоджень під час транспортування
Обладнання для дозування		
Дозатори	Для точного дозування біопалива в процесі виробництва або заправки використовуються різні типи дозаторів, наприклад, механічні, електронні, пневматичні	Вибір типу дозатора залежить від властивостей палива та вимог до точності дозува
Системи контролю	Для моніторингу рівня біопалива в резервуарах і контролю процесу дозування	Використовуються автоматизовані системи контролю з датчиками рівня, витрат та

		температури
--	--	-------------

Джерело: узагальнено автором на підставі [10, 18, 23]

Транспортне обладнання має бути розроблене з урахуванням специфічних властивостей біопалива, таких як в'язкість, щільність та температура спалаху. Найпоширенішими видами транспорту є цистерни, призначені для перевезення рідких палив, та контейнери для транспортування твердого біопалива, наприклад, деревних пелет. Важливо забезпечити герметичність транспортного засобу, щоб запобігти випаровуванню та можливим викидам.

Обладнання для дозування повинно забезпечувати точне відмірювання необхідної кількості біопалива. Вибір конкретної системи залежить від типу біопалива та потужності установок, на яких воно буде використовуватися. Для рідких біопалив часто застосовують електронні датчики витрати та дозувальні насоси. Тверде біопаливо може дозуватися за допомогою шнекових транспортерів або пневматичних систем подачі.

Крім того, необхідно врахувати фактори безпеки під час вибору обладнання. Оскільки біопаливо є горючим матеріалом, всі системи повинні бути оснащені системами пожежогасіння та контролю температури. Важливо також дотримуватися норм і стандартів, встановлених для роботи з біопаливом.

Вибір обладнання для транспортування та дозування біопалива є складним завданням, яке вимагає врахування багатьох факторів. Проведення детального аналізу потреб та консультацій з фахівцями допоможе обрати найкращий варіант, який забезпечить ефективне, безпечне та екологічно чисте використання біопалива.

Висновки розділу 1. В даному розділі проведено детальний аналіз теоретичних основ переробки твердого біопалива.

Підкреслено важливість твердого біопалива як альтернативного та відновлювального джерела енергії, здатного замінити викопне паливо та зменшити негативний вплив на навколишнє середовище.

Розглянуто різноманітні види твердого біопалива, такі як деревна біомаса, сільськогосподарські відходи, торф тощо. Для кожного виду детально описано його фізико-механічні властивості, зокрема вологість, щільність, розмір частинок, теплотворну здатність, що є ключовими факторами для ефективної переробки та використання.

Проаналізовано основні технологічні процеси переробки твердого біопалива, включаючи подрібнення, сушку, піроліз, газифікацію та зрідження. Для кожного процесу описано його суть, переваги та недоліки, а також сфера застосування.

Вивчено різноманітне обладнання, що використовується для транспортування та дозування твердого біопалива, наприклад конвеєри, шнекові перемішувачі, пневматичні системи. Здійснено порівняльний аналіз різних типів обладнання з урахуванням їх продуктивності, точності дозування, енергетичної ефективності та вартості.

Результати дослідження цього розділу дозволяють зробити висновок про високий потенціал твердого біопалива як джерела відновлюваної енергії. Ефективна переробка твердого біопалива залежить від розуміння його властивостей, вибору відповідних технологічних процесів та використання оптимального обладнання для транспортування та дозування.

Перспективні напрямки досліджень у рамках кваліфікаційної роботи: дослідження мають бути зосереджені на оптимізації конкретних технологічних процесів переробки твердого біопалива з метою підвищення

його ефективності та мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище.

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ШНЕКОВОГО ДОЗАТОРА У ПРОЦЕСІ ПЕРЕРОБКИ БІОПАЛИВА

2.1. Конструктивні особливості та принцип дії шнекового дозатора

У сучасному промисловому виробництві точність та ефективність є ключовими факторами успіху. Оптимізація процесів дозування сипких матеріалів, таких як порошки, гранули, пісок чи зерно, відіграє вирішальну роль у гарантуванні якості кінцевого продукту та мінімізації витрат.

Дозатори для сипких матеріалів – це спеціалізоване обладнання, призначене для точного вимірювання та дозування заданої кількості речовини. Вони використовуються у широкому спектрі галузей, включаючи харчову промисловість, фармацевтику, хімічну індустрію та будівництво.

Сучасні дозатори характеризуються високою точністю дозування (часто до 0,1%), надійністю та простотою експлуатації. Існують різні типи дозаторів, що адаптовані до специфічних характеристик сипких матеріалів -
рисунок 2.1.

Гвинтині дозатори: ідеально підходять для дозування дрібнодисперсних порошків та гранул з високою точністю.

Вібраційні дозатори: використовуються для дозування крупнозернистих матеріалів, таких як зерно чи пісок.

Дозатори з пневматичним транспортом: застосовуються для дозування сипких матеріалів у трубопроводах, забезпечуючи безперервний процес дозування.

Вибір відповідного типу дозатора залежить від таких факторів, як властивості матеріалу (розмір частинок, вологість, щільність), необхідна точність дозування та об'єм виробництва.

Дозатори для сипких матеріалів є невід'ємною частиною сучасного промислового виробництва, що дозволяє підвищити ефективність, зменшити витрати та гарантувати високу якість кінцевої продукції.

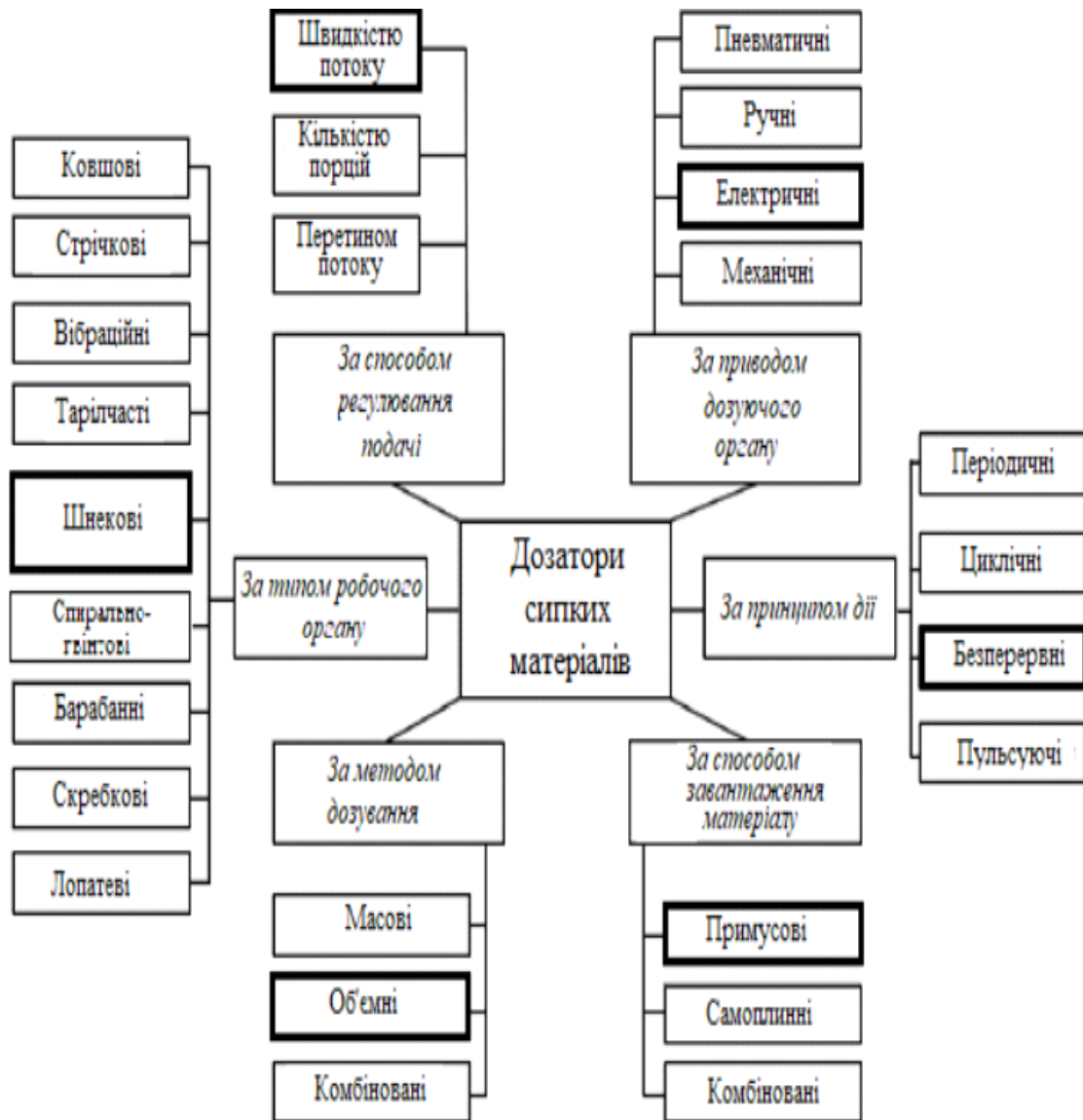


Рис. 2.1. Класифікація дозаторів для сипких матеріалів

Джерело: [18]

Шнекові дозатори належать до класу об'ємних дозувальних пристроїв і широко застосовуються в різних галузях промисловості для подавання

сипких, порошкоподібних та дрібнозернистих матеріалів. Їх використання зумовлене простотою конструкції, надійністю роботи та можливістю забезпечення стабільної продуктивності при відносно високій точності дозування.

Основними конструктивними елементами шнекового дозатора є корпус, шнековий робочий орган, завантажувальний бункер, приводний механізм та система керування. Корпус виконує захисну та напрямну функції й забезпечує замкнений простір для переміщення матеріалу. Він, як правило, має циліндричну форму та виготовляється зі сталі або інших зносостійких матеріалів. Внутрішня поверхня корпусу повинна забезпечувати мінімальний опір руху матеріалу та рівномірне заповнення міжвиткового простору шнека.

Шнек є основним робочим органом дозатора та являє собою вал із гвинтовою навивкою. Основними геометричними параметрами шнека є зовнішній діаметр (D), внутрішній діаметр вала (d), крок навивки (S) та довжина робочої частини (L). Саме ці параметри визначають об'єм матеріалу, що переміщується за один оберт шнека, а отже — продуктивність дозатора.

Теоретичний об'єм матеріалу, який переміщується шнеком за один оберт, визначається за формулою [19]:

(2.1)

де:

— зовнішній діаметр шнека, м;

— діаметр вала шнека, м;

— крок навивки шнека, м.

З урахуванням частоти обертання шнека теоретична об'ємна продуктивність дозатора визначається виразом:

де:

— теоретична продуктивність дозатора, $\text{м}^3/\text{с}$;

— частота обертання шнека, с^{-1} .

Однак у реальних умовах міжвитковий простір заповнюється матеріалом не повністю. Це пов'язано з особливостями сипкого матеріалу, його насипною густиною, кутом внутрішнього тертя та умовами подавання. Тому для визначення фактичної продуктивності вводиться коефіцієнт заповнення шнека (φ), значення якого зазвичай знаходиться в межах 0,25–0,45. З урахуванням цього фактична об'ємна продуктивність визначається як:

(2.3)

Для переходу від об'ємної продуктивності до масової використовується насипна густина матеріалу ρ . Масова продуктивність шнекового дозатора визначається за формулою:

(2.4)

де

— масова продуктивність дозатора, $\text{кг}/\text{с}$;

— насипна густина матеріалу, $\text{кг}/\text{м}^3$ [19].

Таким чином, масова подача матеріалу безпосередньо залежить від частоти обертання шнека, його геометричних параметрів та фізико-механічних властивостей дозованого матеріалу. Регулювання продуктивності найчастіше здійснюється шляхом зміни частоти обертання шнека за

допомогою частотного перетворювача, що дозволяє плавно змінювати подачу в широкому діапазоні.

Принцип дії шнекового дозатора полягає в примусовому транспортуванні матеріалу вздовж осі шнека під дією обертального руху. Матеріал із завантажувального бункера надходить у міжвитковий простір, де захоплюється витками шнека та переміщується до вихідного отвору. При цьому швидкість осьового переміщення матеріалу пропорційна кутовій швидкості обертання шнека.

У разі циклічного дозування маса віддозованого матеріалу за один цикл може бути визначена як:

(2.5)

де:

- маса матеріалу за один цикл дозування, кг;
- тривалість роботи дозатора за цикл, с [21].

Слід зазначити, що точність дозування значною мірою залежить від стабільності умов роботи, зокрема рівномірності заповнення бункера, однорідності матеріалу та відсутності злежування. Для підвищення точності в сучасних шнекових дозаторах застосовують комбіновані системи керування, що поєднують регулювання частоти обертання шнека з контролем маси або витрати матеріалу.

Отже, шнековий дозатор є ефективним технічним засобом для дозування сипких матеріалів, а використання аналітичних залежностей для визначення його продуктивності дозволяє обґрунтовано вибрати конструктивні параметри та режими роботи з урахуванням вимог конкретного технологічного процесу.

2.2. Забезпечення процесу дозування твердого біопалива

Процес дозування твердого біопалива шнековим дозатором є складним фізико-механічним процесом, що залежить від конструктивних параметрів дозатора, режимів його роботи та властивостей дозованого матеріалу. Для аналізу та оптимізації роботи дозуючого обладнання доцільно застосовувати розрахунки, які дозволяють встановити кількісні залежності між вхідними параметрами та вихідними характеристиками процесу.

Тверде біопаливо (пелети, гранули, подрібнена біомаса) характеризується змінною насипною густиною, неоднорідністю фракційного складу та підвищеною схильністю до злежування. Це обумовлює необхідність врахування коригувальних коефіцієнтів у математичному описі процесу дозування.

В основі розрахунку лежить залежність масової продуктивності шнекового дозатора від частоти обертання шнека та його геометричних параметрів. Масова витрата твердого біопалива може бути описана виразом:

(2.6)

де

- масова продуктивність дозатора, кг/с;
- насипна густина біопалива, кг/м³;
- коефіцієнт заповнення міжвиткового простору;
- зовнішній діаметр шнека, м;
- діаметр вала, м;

- крок навивки шнека, м;
- частота обертання шнека, s^{-1} [19].

З наведеного рівняння випливає, що при сталих геометричних параметрах та фізичних властивостях матеріалу масова продуктивність є лінійною функцією частоти обертання шнека. Це дозволяє використовувати частоту обертання як основний керуючий параметр у системах автоматичного регулювання подачі біопалива.

Однак у реальних умовах коефіцієнт заповнення не є сталим і залежить від швидкості обертання шнека, стану матеріалу та рівня його ущільнення. Для урахування цього впливу коефіцієнт заповнення можна подати у вигляді функції:

(2.7)

де

- коефіцієнт заповнення при мінімальній швидкості;
- емпіричний коефіцієнт, що враховує розпушення матеріалу при зростанні швидкості [21].

З урахуванням цієї залежності математична модель набуває вигляду:

(2.8)

Отриманий вираз описує нелінійну залежність масової продуктивності від частоти обертання шнека, що характерно для дозування твердого біопалива при підвищених швидкостях подачі.

Для оцінки динамічних властивостей процесу дозування доцільно розглянути модель у вигляді аперіодичної ланки першого порядку:

(2.9)

де

T — стала часу процесу дозування, с;

$G(t)$ — масова витрата біопалива у часі, кг/с;

K — коефіцієнт підсилення дозатора;

$n(t)$ — частота обертання шнека, об/с [19, 21, 23].

Представлена формула залежості дозволяє описати інерційність процесу, яка зумовлена заповненням шнека, тертям матеріалу та затримками переміщення біопалива вздовж робочої зони дозатора. Вона є зручною для подальшого синтезу системи автоматичного керування подачею палива в теплотехнічних установках.

2.3. Аналіз впливу параметрів електропривода на продуктивність шнекового дозатора

Електропривод шнекового дозатора є ключовим елементом, що визначає стабільність та точність процесу дозування твердого біопалива. Саме параметри електропривода формують кінематичний режим роботи шнека (рисунок 2.2), впливають на динаміку подачі матеріалу та визначають можливості регулювання продуктивності в широкому діапазоні. Аналіз впливу електропривода доцільно проводити з урахуванням як механічних характеристик дозатора, так і особливостей керування електродвигуном.

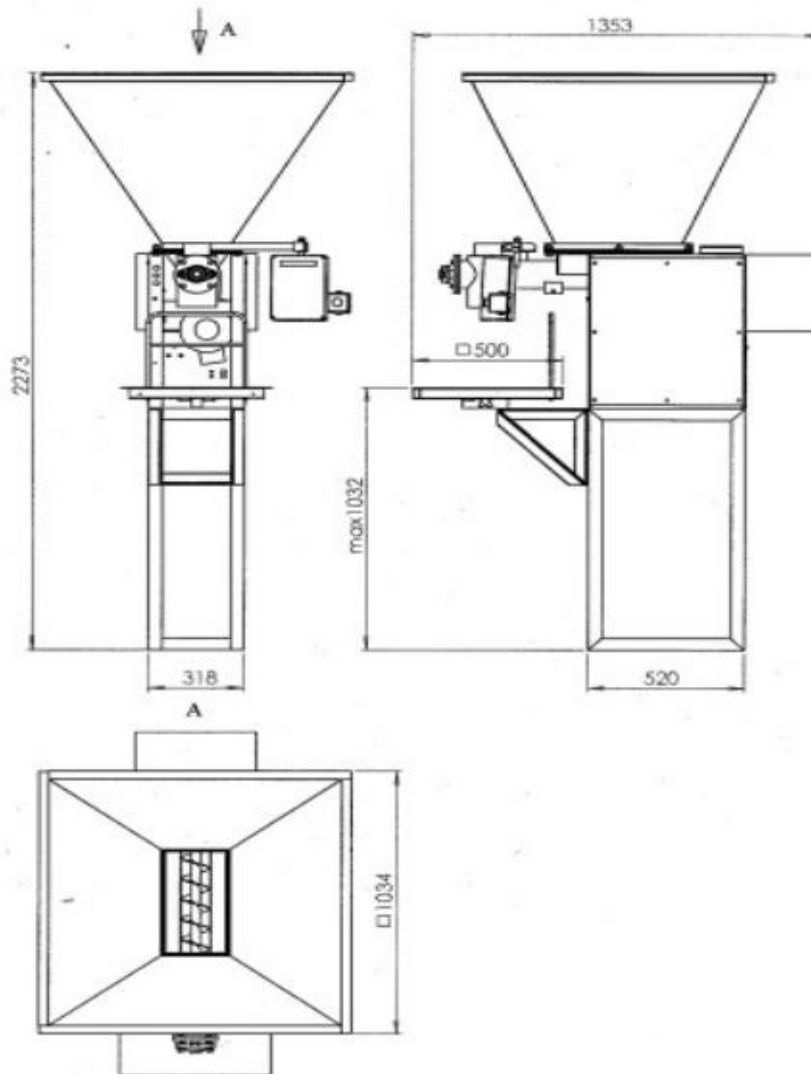


Рис. 2.2. Габаритні розміри шнекового дозатора з ваговою платформою

У більшості сучасних шнекових дозаторів застосовуються асинхронні електродвигуни з короткозамкненим ротором, які працюють у поєднанні з редуктором або частотним перетворювачем. Номінальна кутова швидкість обертання двигуна визначається частотою живильної напруги та кількістю пар полюсів, що описується співвідношенням:

(2.10)

де:

- синхронна частота обертання, об/хв;
- частота живлення, Гц;
- число пар полюсів електродвигуна [19, 21]..

Фактична частота обертання вала двигуна є дещо меншою за синхронну та залежить від ковзання, величина якого змінюється під дією навантаження. Зі зростанням крутного моменту, необхідного для транспортування та ущільнення біопалива, ковзання збільшується, що призводить до зменшення швидкості обертання шнека та, відповідно, зниження продуктивності дозатора.

Продуктивність шнекового дозатора, як було показано в попередніх підрозділах, є функцією частоти обертання шнека. З урахуванням передавального числа редуктора i частота обертання шнека визначається виразом:

(2.11)

де:

- частота обертання шнека, об/хв;
- частота обертання вала електродвигуна, об/хв;
- i — передавальне число редуктора.

Таким чином, зміна параметрів електропривода безпосередньо відображається на продуктивності дозування. Особливо суттєвий вплив має спосіб регулювання швидкості електродвигуна. Використання частотного перетворювача дозволяє плавно змінювати частоту живлення електродвигуна,

а отже — і частоту обертання шнека, без втрати крутного моменту в робочому діапазоні.

Крутний момент, необхідний для приводу шнека, визначається опором руху матеріалу та силами тертя в механічній частині дозатора. Орієнтовно необхідний момент на валу шнека може бути оцінений за залежністю:

(2.12)

де

- крутний момент на валу шнека, Н·м;
- осьова сила опору переміщенню матеріалу, Н;
- зовнішній діаметр шнека, м [19].

З урахуванням ККД редуктора η крутний момент електродвигуна визначається як:

(2.13)

Якщо електродвигун не забезпечує необхідного моменту, виникають перевантаження, що призводять до нестабільної роботи дозатора, коливань швидкості та зниження точності дозування. Це особливо характерно для процесів подавання твердого біопалива з підвищеною вологістю або неоднорідним гранулометричним складом.

Потужність електропривода, що споживається під час роботи дозатора, визначається співвідношенням:

(2.14)

де

— потужність електродвигуна, Вт;

— кутова швидкість обертання вала, рад/с [19].

Збільшення швидкості обертання шнека призводить до зростання продуктивності дозування, проте супроводжується підвищенням споживаної потужності та зростанням динамічних навантажень. Тому вибір параметрів електропривода повинен здійснюватися з урахуванням компромісу між продуктивністю, енергоефективністю та надійністю роботи.

Таким чином, параметри електропривода — частота обертання, крутний момент, потужність та спосіб регулювання — мають визначальний вплив на продуктивність шнекового дозатора. Застосування регульованого електропривода з частотним керуванням дозволяє забезпечити стабільну подачу твердого біопалива, зменшити вплив змінних властивостей матеріалу та підвищити загальну ефективність технологічного процесу.

2.4. Експериментальні дослідження режимів роботи шнекового дозатора

Експериментальні дослідження режимів роботи шнекового дозатора проводилися з метою оцінки впливу швидкості обертання шнека та властивостей твердого біопалива на стабільність і рівномірність дозування. Дослідження також були спрямовані на підтвердження адекватності теоретичних положень і математичної моделі, наведених у попередніх підрозділах.

Експериментальна установка складалася зі шнекового дозатора з електроприводом, обладнаного частотним перетворювачем,

завантажувального бункера та приймальної ємності для збору дозованого матеріалу. Як об'єкт дослідження використовувалося тверде біопаливо у вигляді гранул, що є типовим для систем подавання палива до теплотехнічних установок. Перед початком експериментів біопаливо витримувалося в однакових умовах з метою мінімізації впливу вологості на результати вимірювань.

Дослідження проводилися при різних режимах роботи дозатора шляхом зміни швидкості обертання шнека. Для кожного режиму здійснювалося кілька повторних вимірювань, що дозволило оцінити відтворюваність результатів та зменшити вплив випадкових похибок. Тривалість кожного досліду була сталою, після чого визначалась маса біопалива, поданого дозатором за відповідний проміжок часу.

У ході експериментів встановлено, що зі збільшенням швидкості обертання шнека спостерігається зростання продуктивності дозатора. При цьому в області малих і середніх швидкостей подача біопалива має стабільний характер, без різких коливань та переривань. Це свідчить про рівномірне заповнення міжвиткового простору та сталий характер руху матеріалу вздовж робочої зони шнека.

При подальшому збільшенні швидкості обертання шнека було зафіксовано появу нерівномірності подачі, що проявлялося у збільшенні розкиду експериментальних значень продуктивності. Така поведінка пояснюється зменшенням ступеня заповнення шнека та порушенням умов стабільного захоплення біопалива з бункера. Крім того, за високих швидкостей спостерігалось часткове розпушення матеріалу, що також впливало на результати дозування.

Для оцінки рівномірності дозування було проаналізовано коливання продуктивності при фіксованій швидкості обертання шнека. Отримані

результати свідчать, що мінімальні коливання характерні для режимів середньої продуктивності. У зоні малих швидкостей нестабільність зумовлена нерівномірним надходженням біопалива з бункера, тоді як у зоні великих швидкостей — динамічними ефектами та неповним заповненням шнека.

Аналіз результатів досліджень показав, що режим роботи шнекового дозатора суттєво впливає не лише на величину продуктивності, але й на стабільність процесу дозування. Отримані експериментальні дані узгоджуються з теоретичними положеннями та підтверджують доцільність використання регульованого електропривода для забезпечення оптимальних режимів подачі твердого біопалива.

Таким чином, експериментальні дослідження дозволили визначити раціональні режими роботи шнекового дозатора, за яких забезпечується поєднання достатньої продуктивності та високої рівномірності дозування, що є важливим для ефективної роботи систем подавання біопалива.

2.5. Аналіз результатів досліджень та їх узагальнення

У ході виконання досліджень, представлених у другому розділі кваліфікаційної роботи, було комплексно проаналізовано процес дозування твердого біопалива шнековим дозатором з урахуванням його конструктивних особливостей, режимів роботи та параметрів електропривода. Отримані результати дозволяють зробити низку узагальнених висновків щодо закономірностей формування продуктивності та стабільності подачі біопалива.

На основі аналізу конструкції та принципу дії шнекового дозатора встановлено, що геометричні параметри шнека та умови його заповнення є

визначальними чинниками, які впливають на величину подачі матеріалу. Забезпечення рівномірного надходження біопалива в зону роботи шнека є необхідною умовою стабільної роботи дозатора, особливо при експлуатації в автоматизованих системах подавання палива. Недостатня узгодженість параметрів бункера та шнекового робочого органа може призводити до порушення рівномірності дозування та виникнення перехідних режимів.

Розроблена математична модель процесу дозування дозволила встановити характер залежності продуктивності дозатора від частоти обертання шнека та властивостей твердого біопалива. Модель підтвердила, що в робочому діапазоні швидкостей подача матеріалу змінюється прогнозовано та може ефективно регулюватися за допомогою зміни параметрів електропривода. Разом із тим, результати моделювання вказують на зниження ефективності дозування при надмірному збільшенні швидкості обертання, що пов'язано зі зменшенням ступеня заповнення шнека.

Аналіз впливу параметрів електропривода показав, що стабільність роботи дозатора значною мірою визначається можливістю плавного регулювання частоти обертання шнека та забезпечення необхідного крутного моменту в усьому робочому діапазоні. Використання регульованого електропривода з частотним керуванням дозволяє зменшити вплив змінних властивостей біопалива, таких як насипна густина та вологість, а також підвищити точність дозування при змінних навантаженнях. У порівнянні з нерегульованими приводами такий підхід забезпечує більш стабільний характер подачі матеріалу.

Експериментальні дослідження режимів роботи шнекового дозатора підтвердили основні теоретичні положення та результати математичного моделювання. Встановлено, що найбільш стабільні режими дозування реалізуються в середньому діапазоні швидкостей обертання шнека, де

забезпечується поєднання достатньої продуктивності та мінімальних коливань подачі. При роботі в зоні підвищених швидкостей спостерігається зростання нестабільності дозування, що обмежує доцільність використання таких режимів у практичних умовах експлуатації.

Отримані результати дозволили визначити раціональні режими роботи шнекового дозатора для дозування твердого біопалива, які можуть бути рекомендовані для використання в системах подавання палива до теплогенеруючих установок. Узагальнення теоретичних і експериментальних даних свідчить про доцільність застосування комплексного підходу до вибору конструктивних параметрів дозатора та налаштування електропривода з урахуванням конкретних умов експлуатації.

Таким чином, проведений аналіз результатів досліджень підтверджує, що ефективність роботи шнекового дозатора визначається сукупністю конструктивних, кінематичних та електромеханічних чинників. Отримані узагальнення створюють підґрунтя для подальшого вдосконалення систем дозування твердого біопалива та можуть бути використані при розробленні рекомендацій щодо проєктування та експлуатації аналогічного обладнання.

Висновки до розділу 2.

У другому розділі магістерської роботи було проведено комплексне дослідження процесу дозування твердого біопалива шнековим дозатором з урахуванням його конструктивних особливостей, режимів роботи та параметрів електропривода. Отримані результати дозволяють сформулювати такі основні висновки.

Проаналізовано конструктивні особливості та принцип дії шнекового дозатора, встановлено, що геометричні параметри шнека, умови його заповнення та конфігурація завантажувального бункера мають визначальний вплив на стабільність і точність процесу дозування твердого біопалива.

Розроблено математичну модель процесу дозування, яка дозволяє описати залежність продуктивності дозатора від частоти обертання шнека та фізико-механічних властивостей біопалива. Модель підтвердила можливість ефективного регулювання подачі матеріалу за рахунок зміни параметрів електропривода.

Проведено аналіз впливу параметрів електропривода на продуктивність шнекового дозатора. Показано, що застосування регульованого електропривода з частотним керуванням забезпечує плавну зміну швидкості обертання шнека, стабільну роботу дозатора та зменшення впливу змінних властивостей твердого біопалива.

За результатами експериментальних досліджень встановлено, що найбільш раціональні режими роботи шнекового дозатора реалізуються в середньому діапазоні швидкостей обертання шнека, де досягається оптимальне співвідношення між продуктивністю та рівномірністю подачі біопалива.

Узагальнення теоретичних і експериментальних результатів підтвердило адекватність обраної математичної моделі та доцільність

використання регульованого електропривода для підвищення ефективності процесу дозування твердого біопалива в практичних умовах експлуатації.

Отримані у другому розділі результати є науково обґрунтованою основою для подальшого розроблення технічних рішень і рекомендацій, які будуть використані в наступних розділах кваліфікаційної роботи.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ШНЕКОВОГО ДОЗАТОРА

3.1. Обґрунтування вибору структури автоматизованої системи керування електроприводом шнекового дозатора

Ефективність функціонування сучасних технологічних об'єктів значною мірою визначається рівнем автоматизації процесів керування. У зв'язку з підвищенням вимог до точності, надійності та енергоефективності виробництва особливої актуальності набуває обґрунтований вибір структури автоматизованої системи керування (АСК), яка забезпечує оптимальну взаємодію між об'єктом керування, засобами вимірювання, виконавчими механізмами та керуючими пристроями [17].

Об'єкт керування, що розглядається в даній роботі, характеризується наявністю кількох взаємопов'язаних параметрів, динамічними змінами режимів роботи та впливом зовнішніх збурень. За таких умов застосування ручного або локального керування є недостатньо ефективним, що обумовлює необхідність впровадження автоматизованої системи з замкненою структурою.

Вибір структури АСК здійснювався з урахуванням функціонального призначення системи, характеристик об'єкта керування, вимог до точності регулювання, швидкодії, надійності та можливості подальшої модернізації. Аналіз існуючих підходів до побудови систем керування показав, що найбільш доцільною для даного об'єкта є багаторівнева ієрархічна структура із замкненими контурами регулювання.

Запропонована структура автоматизованої системи керування включає такі основні рівні:

- рівень первинних вимірювальних перетворювачів;
- рівень локальних регуляторів;
- рівень центрального керування та диспетчеризації.

На нижньому рівні системи розташовані первинні вимірювальні перетворювачі, призначені для безперервного контролю технологічних параметрів об'єкта. Використання сучасних цифрових датчиків дозволяє забезпечити високу точність вимірювань, зменшити вплив шумів та підвищити завадостійкість системи в цілому. Інформація з датчиків передається на наступний рівень у стандартизованому вигляді, що спрощує інтеграцію різних компонентів системи.

Середній рівень структури представлений локальними регуляторами, які реалізують алгоритми автоматичного керування в реальному часі. Застосування замкнених контурів регулювання з негативним зворотним зв'язком дозволяє компенсувати вплив зовнішніх збурень та забезпечити стабілізацію заданих параметрів. Вибір саме такої структури обумовлений її універсальністю, простотою налаштування та доведеною ефективністю в умовах невизначеності параметрів об'єкта керування.

Як керуючий пристрій доцільно використовувати програмований логічний контролер (ПЛК), що забезпечує гнучку реалізацію алгоритмів керування, високу надійність та можливість розширення функціональних можливостей системи [19]. Перевагою ПЛК є підтримка стандартних промислових протоколів обміну даними, що дозволяє легко інтегрувати систему в загальну автоматизовану інфраструктуру підприємства.

Верхній рівень системи керування призначений для моніторингу, візуалізації та аналізу роботи об'єкта. На цьому рівні реалізується людино-

машинний інтерфейс, який забезпечує оператору доступ до поточних та архівних даних, можливість коригування уставок та оперативного реагування на аварійні ситуації. Такий підхід підвищує інформативність системи та зменшує ймовірність помилок, пов'язаних з людським фактором.

Обрана структура автоматизованої системи керування також забезпечує необхідний рівень надійності за рахунок розподілу функцій між рівнями та можливості локального функціонування окремих підсистем у разі відмови центрального рівня. Крім того, ієрархічна побудова системи спрощує процес її масштабування та адаптації до змін технологічного процесу.

Таким чином, запропонована структура автоматизованої системи керування є технічно обґрунтованою та відповідає сучасним вимогам до систем автоматизації. Вона забезпечує ефективне керування об'єктом, високу точність регулювання, надійність роботи та можливість подальшого розвитку, що підтверджує доцільність її використання в рамках даного магістерського дослідження.

3.2. Вибір та технічна характеристика електропривода шнекового дозатора електроприводом шнекового дозатора

Шнекові дозатори (рисунок 3.1) широко застосовуються в промисловості для безперервного або порційного подавання сипких та дрібнодисперсних матеріалів. Якість роботи такого обладнання безпосередньо залежить від стабільності обертання шнека, точності підтримання заданої швидкості та здатності електропривода працювати в умовах змінного навантаження. У зв'язку з цим обґрунтований вибір електропривода є важливим етапом проектування автоматизованої системи керування шнековим дозатором.

Механічна частина включає в себе: приймальний бункер (1), стрічковий транспортер (2) з приймальною горловиною (3), котра спрямовує горловину (4) з кожухом аспірації, вагову горловину дозатора (5) з тензодатчиком і механізмом притиску мішка і загальну раму (6) [22].

Вимірювально-керуюча частина включає в себе тензодатчик, ваговий процесор ПВ-310(7), шкаф(8) з частотним перетворювачем і комплектом електропневмоприводу.

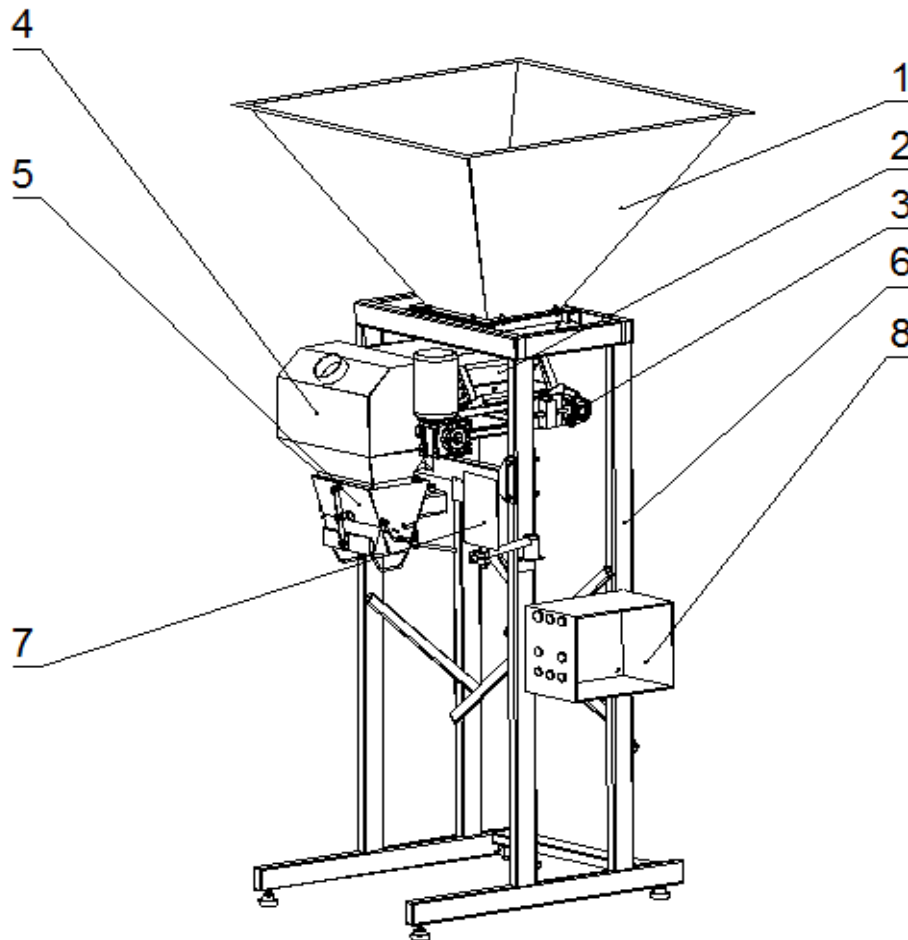


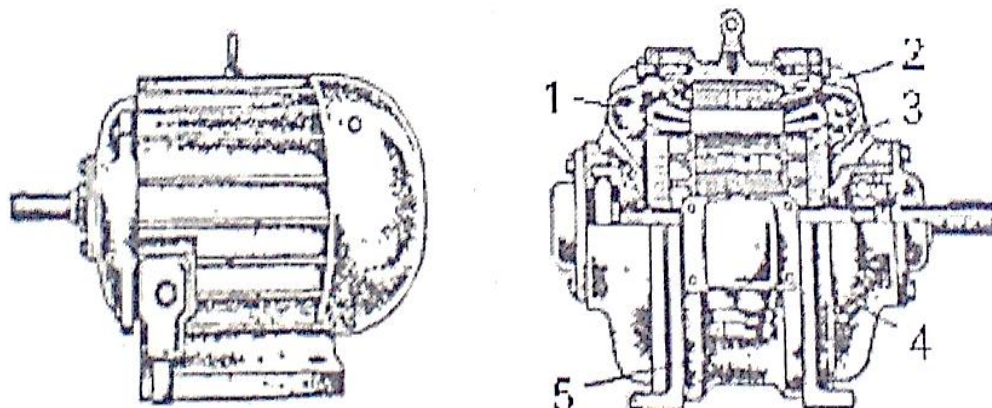
Рис. 3.1. Автоматичний шнековий дозатор

Джерело: [15]

Основною вимогою до електропривода шнекового дозатора є забезпечення плавного регулювання частоти обертання вала шнека в широкому діапазоні. Це необхідно для зміни продуктивності дозатора залежно від технологічних потреб, властивостей матеріалу та режимів роботи обладнання. Крім того, електропривод повинен мати достатній пусковий момент для подолання опору матеріалу, особливо в момент запуску, коли шнек заповнений продуктом.

З урахуванням зазначених вимог а також аналізу сучасних технічних рішень, для приводу шнекового дозатора доцільно застосувати асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором у поєднанні з частотним перетворювачем. Такий тип електропривода є найбільш поширеним у промислових системах дозування завдяки своїй надійності, простоті конструкції та відносно низьким експлуатаційним витратам.

Асинхронний двигун (рисунок 3.2) з короткозамкненим ротором характеризується високою механічною міцністю та стійкістю до перевантажень.



Пояснення:

- Обмотка статора.
- Осердя статора.
- Ротор.
- Підшипниковий вал.
- Корпус статора.

Рис. 3.2. Загальний вигляд і розріз асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором

Джерело: [17]

Для передачі крутного моменту від електродвигуна до робочого органа використовується редуктор, який забезпечує зниження частоти обертання та збільшення моменту на валу шнека. Вибір передаточного числа редуктора здійснюється з урахуванням необхідної швидкості подавання матеріалу та допустимих навантажень на елементи привода. У більшості випадків доцільним є застосування циліндричного або черв'ячного редуктора, який забезпечує компактність конструкції та достатню плавність ходу.

Технічні характеристики електродвигуна визначаються на основі розрахункового навантаження шнекового дозатора. Номінальна потужність двигуна повинна перевищувати розрахункову потужність на валу з урахуванням коефіцієнта запасу, що компенсує можливі перевантаження та нерівномірність подавання матеріалу. Як правило, для шнекових дозаторів малої та середньої продуктивності використовуються електродвигуни потужністю від 0,75 до 3 кВт Джерело: [15].

Номінальна частота обертання двигуна обирається з урахуванням стандартних значень та можливостей частотного регулювання. Застосування двигуна з номінальною швидкістю 1500 об/хв є оптимальним з точки зору поєднання крутного моменту, габаритних розмірів та енергоефективності. Частотний перетворювач забезпечує зміну швидкості обертання в діапазоні, достатньому для реалізації необхідної точності дозування.

3.3. Алгоритм роботи автоматизованої системи керування електроприводом шнекового дозатора

Ефективна робота електропривода значною мірою визначається якістю алгоритму керування, який забезпечує узгоджену взаємодію між керуючими сигналами, виконавчим механізмом та об'єктом керування. У випадку шнекового дозатора алгоритм керування повинен гарантувати стабільність швидкості обертання шнека, точність дозування матеріалу та надійну роботу електропривода в умовах змінного навантаження.

Основною метою розробки алгоритму керування є забезпечення підтримання заданої продуктивності дозатора шляхом регулювання частоти обертання електродвигуна. При цьому необхідно враховувати інерційні

властивості механічної частини привода, можливі коливання моменту опору, а також вимоги до плавності пуску та зупинки.

Алгоритм керування електроприводом реалізується на базі частотно-регульованого асинхронного двигуна з використанням програмованого логічного контролера. Контролер виконує функції формування керуючих сигналів, обробки інформації від датчиків та реалізації логіки керування відповідно до заданих умов роботи.

На першому етапі алгоритму здійснюється ініціалізація системи керування. Після подавання живлення контролер перевіряє працездатність основних елементів системи, наявність зв'язку з частотним перетворювачем та коректність сигналів від вимірювальних пристроїв. У разі виявлення несправностей запуск електропривода блокується, а на операторський інтерфейс виводиться відповідне повідомлення.

Після успішної ініціалізації система переходить у режим очікування команди на пуск. Запуск електропривода здійснюється за сигналом оператора або автоматично відповідно до технологічного завдання. При цьому алгоритм передбачає плавний розгін електродвигуна шляхом поступового збільшення вихідної частоти частотного перетворювача. Такий підхід дозволяє зменшити пускові струми, знизити механічні навантаження на елементи привода та запобігти різким змінам подавання матеріалу.

У робочому режимі алгоритм керування забезпечує підтримання заданої швидкості обертання шнека. Для цього використовується замкнений контур регулювання з негативним зворотним зв'язком. Поточне значення швидкості визначається за сигналом датчика або обчислюється на основі параметрів частотного перетворювача. Різниця між заданим та фактичним значеннями швидкості обробляється регулятором, який формує коригуючий вплив на частоту живлення електродвигуна.

Як регулятор швидкості доцільно використовувати пропорційно-інтегральний закон керування, який забезпечує достатню швидкодію та мінімальну статичну похибку. Налаштування параметрів регулятора здійснюється з урахуванням динамічних характеристик електропривода та механічної частини дозатора Джерело: [15]. Це дозволяє досягти стійкої роботи системи без коливань і перерегулювань.

На рисунку 3.3 показано технологічну схему потокової лінії зі шнековим дозатором біопалива.

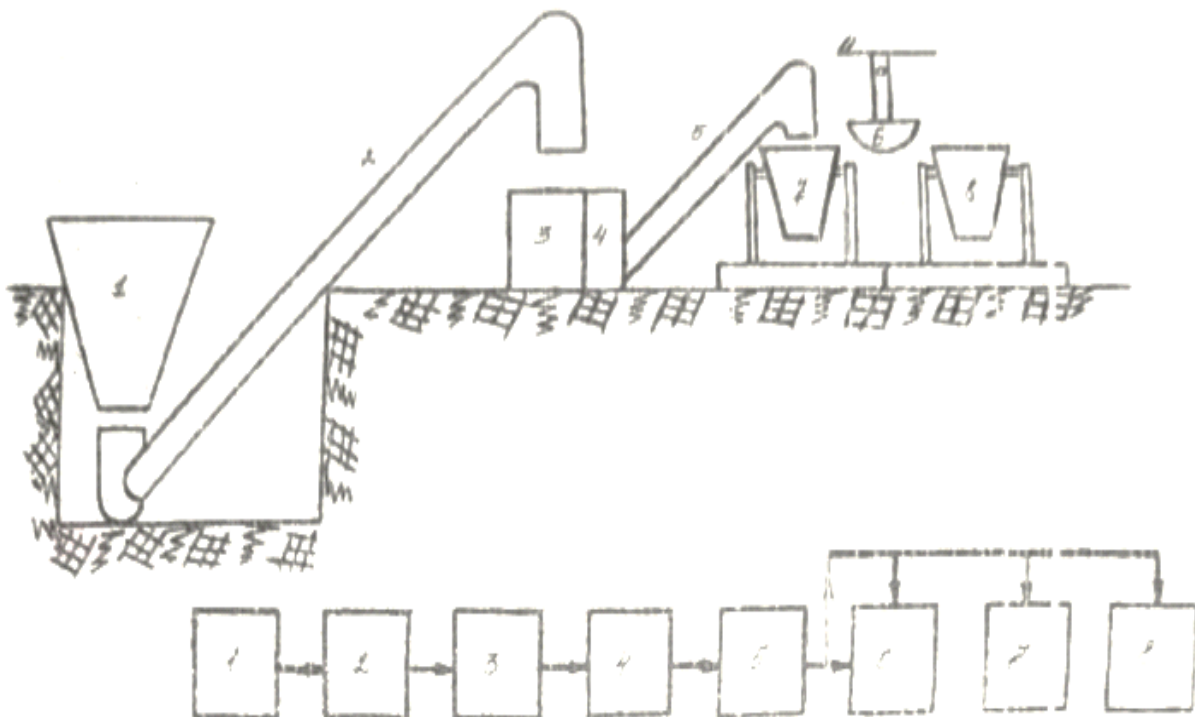


Рис. 3.3. Технологічна схема потокової лінії зі шнековим дозатором біопалива

Джерело: [10]

Асинхронний двигун є широко використовуваним приводом для шнекових дозаторів завдяки своїй надійності, простоті конструкції та відносній дешевизні. Процес підключення такого двигуна до дозатора вимагає чіткого розуміння електричної схеми та механічних особливостей обох пристроїв.

Особливу увагу при виборі електропривода слід приділяти умовам експлуатації. Шнекові дозатори часто працюють у запилених середовищах або при підвищеній вологості, тому електродвигун повинен мати відповідний ступінь захисту оболонки, не нижче IP54 [12]. Клас ізоляції обмоток не нижче F забезпечує надійну роботу двигуна при тривалих навантаженнях та підвищених температурах.

Застосування частотно-керованого електропривода дозволяє реалізувати додаткові функції захисту, зокрема захист від перевантаження, перегріву та заклинювання шнека. Це підвищує загальну надійність роботи дозатора та зменшує ризик аварійних зупинок технологічного процесу.

Таким чином, вибір асинхронного електропривода з короткозамкненим ротором у поєднанні з редуктором та частотним перетворювачем є технічно та економічно обґрунтованим рішенням для шнекового дозатора. Запропонований електропривод забезпечує необхідну точність регулювання, стабільність роботи та відповідність сучасним вимогам до енергоефективності й надійності, що підтверджує доцільність його застосування в межах даного магістерського дослідження

Алгоритм керування також передбачає компенсацію впливу змінного моменту опору, який виникає внаслідок нерівномірної подачі матеріалу або зміни його фізичних властивостей. У разі зростання навантаження система

автоматично збільшує крутний момент електродвигуна за рахунок корекції частоти та напруги живлення, зберігаючи стабільність швидкості обертання.

Асинхронний двигун є широко використовуваним приводом для шнекових дозаторів завдяки своїй надійності, простоті конструкції та відносній дешевизні. Процес підключення такого двигуна до дозатора вимагає чіткого розуміння електричної схеми та механічних особливостей обох пристроїв.

Охарактеризуємо етапи підключення. Початковим кроком є вибір двигуна з відповідною потужністю та швидкістю обертання для конкретного шнекового дозатора. Потужність двигуна повинна бути достатньою, щоб подолати опір матеріалу, що дозується, та забезпечити необхідну швидкість подачі.

Двигун необхідно підключити до мережі живлення відповідно до його номінальної напруги та частоти. Важливо перевірити правильність фазування для трифазних двигунів.

Шнековий вал дозатора з'єднується з валом двигуна за допомогою еластичної муфти. Муфта поглинає вібрації та захищає обидва вузли від перевантажень.

Важливо ретельно вирівняти осі двигуна та дозатора, щоб уникнути додаткових навантажень на підшипники та можливих пошкоджень механізму.

Після завершення монтажу двигун запускається на короткий час для перевірки його роботи та відсутності сторонніх шумів.

Перед підключенням двигуна необхідно уважно вивчити інструкцію виробника та дотримуватися всіх рекомендацій з безпеки.

Для захисту двигуна від перевантажень та короткого замикання рекомендується використовувати відповідні захисні пристрої, такі як запобіжники та автоматичні вимикачі.

Підключення асинхронного двигуна до шнекового дозатора є відносно простим процесом, якщо дотримуватися всіх необхідних кроків та правил безпеки. Правильне підключення та налаштування двигуна забезпечать ефективну та безперебійну роботу дозатора (рисунок 3.4).

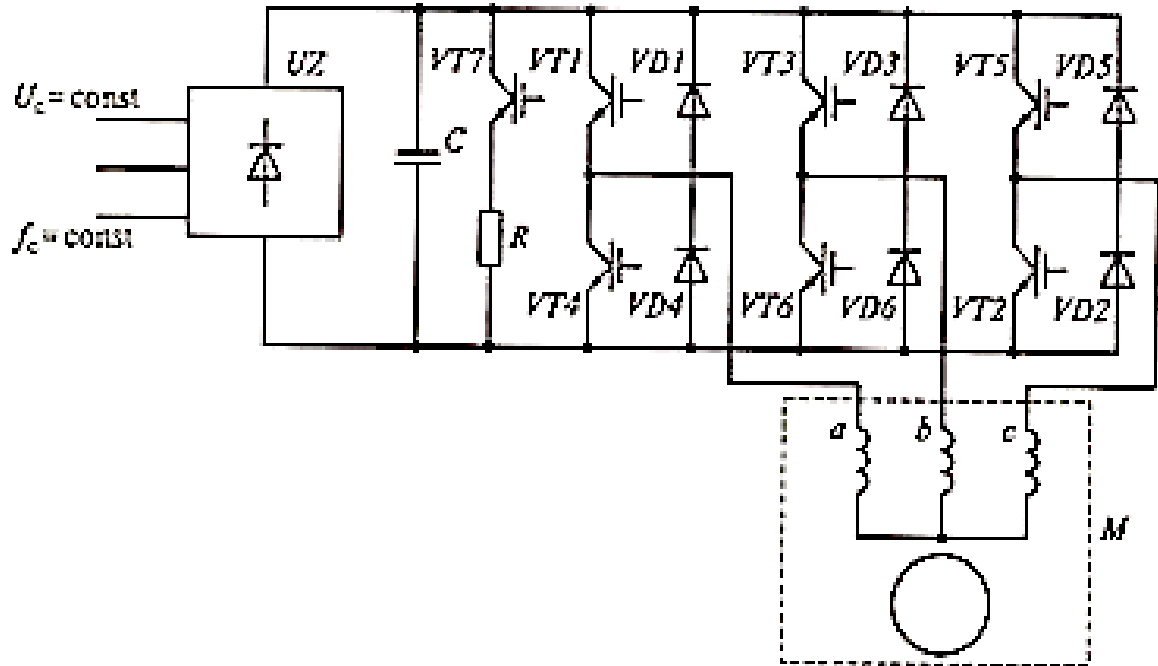


Рис. 3.4. Схема підключення асинхронного двигуна шнекового дозатора біопалива

Джерело: [10, 15, 17]

Особливу увагу при виборі електропривода слід приділяти умовам експлуатації. Шнекові дозатори часто працюють у запилених середовищах або при підвищеній вологості, тому електродвигун повинен мати відповідний ступінь захисту оболонки, не нижче IP54 [12]. Клас ізоляції обмоток не нижче F забезпечує надійну роботу двигуна при тривалих навантаженнях та підвищених температурах.

Застосування частотно-керованого електропривода також дозволяє реалізувати додаткові функції захисту, зокрема захист від перевантаження,

перегріву та заклинювання шнека. Це підвищує загальну надійність роботи дозатора та зменшує ризик аварійних зупинок технологічного процесу.

Таким чином, вибір асинхронного електропривода з короткозамкненим ротором у поєднанні з редуктором та частотним перетворювачем є технічно та економічно обґрунтованим рішенням для шнекового дозатора. Запропонований електропривод забезпечує необхідну точність регулювання, стабільність роботи та відповідність сучасним вимогам до енергоефективності й надійності, що підтверджує доцільність його застосування в межах даного магістерського дослідження

Окремим елементом алгоритму є реалізація режиму зупинки електропривода. Зупинка може здійснюватися у штатному або аварійному режимі. У штатному режимі алгоритм забезпечує плавне зниження швидкості обертання до нульового значення, що запобігає різкому припиненню подавання матеріалу. В аварійному режимі передбачено негайне відключення електропривода з одночасною сигналізацією про причину зупинки.

Для підвищення надійності роботи електропривода в алгоритм керування включено функції захисту. Зокрема, здійснюється контроль перевантаження електродвигуна, перегріву обмоток, втрати фази та заклинювання шнека. У разі виникнення небезпечних режимів система автоматично переходить у безпечний стан з блокуванням повторного пуску до усунення несправності.

Таким чином, розроблений алгоритм керування електроприводом забезпечує стабільну та ефективну роботу шнекового дозатора в різних режимах експлуатації. Запропонована структура алгоритму дозволяє реалізувати плавний пуск і зупинку, точне регулювання швидкості та необхідний рівень захисту обладнання, що відповідає вимогам сучасних

автоматизованих систем керування і є доцільним для застосування в межах даної магістерської роботи.

Моделювання автоматизованих систем керування є важливим етапом їх проектування, оскільки дозволяє дослідити динамічні властивості системи, оцінити якість регулювання та перевірити працездатність розроблених алгоритмів без проведення натурних експериментів. У межах даної магістерської роботи моделювання використовується як інструмент для аналізу роботи системи керування електроприводом шнекового дозатора в різних режимах експлуатації.

Основною метою моделювання є перевірка здатності автоматизованої системи керування забезпечувати стабільність швидкості обертання шнека при змінному навантаженні, а також оцінка перехідних процесів під час пуску, зупинки та зміни заданих параметрів. Для досягнення поставленої мети була побудована математична модель, яка адекватно відображає взаємодію основних елементів системи.

Модель автоматизованої системи керування включає електропривод, механічну частину дозатора та контур керування зі зворотним зв'язком. Електропривод представлений моделлю асинхронного двигуна з частотним регулюванням, параметри якого обрані відповідно до технічних характеристик реального двигуна. У моделі враховано електромагнітні та механічні властивості двигуна, а також обмеження, пов'язані з роботою частотного перетворювача [17].

Механічна частина системи описується інерційною ланкою, що характеризує сумарний момент інерції вала двигуна, редуктора та шнека. Момент опору на валу задається як змінна величина, що дозволяє імітувати реальні умови роботи дозатора, зокрема нерівномірне надходження матеріалу

та зміну його фізичних властивостей. Такий підхід дає змогу дослідити поведінку системи керування при виникненні зовнішніх збурень.

Контур керування в моделі реалізований у вигляді замкненої системи з негативним зворотним зв'язком за швидкістю обертання. Задане значення швидкості формується у відповідності до технологічних вимог і подається на вхід регулятора. Похибка між заданим та фактичним значеннями швидкості використовується для формування керуючого сигналу, який впливає на частоту живлення електродвигуна [15].

Для регулювання швидкості у моделі застосовано пропорційно-інтегральний регулятор. Параметри регулятора підібрані таким чином, щоб забезпечити компроміс між швидкодією та стійкістю системи. У процесі моделювання виконувалося коригування коефіцієнтів регулятора з метою зменшення перерегулювання та скорочення часу встановлення перехідного процесу.

Моделювання проводилося для кількох характерних режимів роботи автоматизованої системи керування. У режимі пуску аналізувалися динаміка наростання швидкості обертання та рівень пускових перевантажень. Отримані результати показали, що застосування частотного регулювання забезпечує плавний розгін електропривода без різких стрибків струму та моменту.

У сталому режимі роботи досліджувалася здатність системи підтримувати задану швидкість при зміні моменту опору. Результати моделювання підтвердили ефективність використаного алгоритму керування, оскільки відхилення швидкості від заданого значення залишалось в допустимих межах, а система швидко поверталася до сталого режиму після дії збурень.

Окремо було проаналізовано перехідні процеси при зміні уставки швидкості. Моделювання показало, що система керування забезпечує достатньо швидке відпрацювання нових значень без виникнення коливань, що є важливим для забезпечення точності дозування матеріалу.

У режимі зупинки електропривода досліджувалася поведінка системи при плавному зниженні швидкості. Отримані результати свідчать про відсутність різких гальмівних моментів, що позитивно впливає на надійність механічної частини дозатора та зменшує зношування його елементів.

Таким чином, проведене моделювання підтвердило працездатність і ефективність розробленої автоматизованої системи керування. Отримані результати дозволяють зробити висновок про доцільність обраної структури системи, параметрів електропривода та алгоритму керування. Модель може бути використана на подальших етапах проєктування для оптимізації параметрів системи та підготовки до впровадження її в реальних виробничих умовах.

3.4. Ефективність впровадження автоматизованої системи керування електроприводом шнекового дозатора

Впровадження автоматизованих систем керування є одним із ключових напрямів підвищення ефективності сучасних виробничих процесів. Оцінка ефективності автоматизованої системи дозволяє обґрунтувати доцільність її застосування з технічної та економічної точок зору, а також визначити основні переваги порівняно з традиційними методами керування.

У межах даної кваліфікаційної роботи оцінка ефективності проводиться для автоматизованої системи керування електроприводом шнекового дозатора. Аналіз виконується з урахуванням впливу системи на точність

дозування, стабільність технологічного процесу, енергоспоживання та експлуатаційні витрати.

Одним із основних показників ефективності є підвищення точності дозування матеріалу. Використання автоматизованого керування зі зворотним зв'язком дозволяє підтримувати задану швидкість обертання шнека незалежно від змін навантаження та властивостей матеріалу. Це забезпечує зменшення відхилень фактичної маси або об'єму дозованого продукту від заданих значень. У результаті знижується кількість браку та втрат сировини, що має безпосередній економічний ефект.

Важливим аспектом ефективності є підвищення стабільності роботи технологічного обладнання. Автоматизована система керування забезпечує плавний пуск і зупинку електропривода, що зменшує динамічні навантаження на механічні елементи дозатора. Це сприяє зниженню інтенсивності зносу шнека, редуктора та підшипникових вузлів, а також збільшує міжремонтні інтервали обладнання.

Висока продуктивність шнекових дозаторів (таблиця 3.1) обумовлена їхньою конструкцією та принципом роботи. Обертовий шнек створює постійний тиск на матеріал, виштовхуючи його з дозатора з заданою швидкістю. Ця властивість робить шнекові дозатори ідеальним рішенням для автоматизації виробничих процесів, де потрібна точність та стабільність подачі.

Таблиця 3.1

Залежність продуктивності дозатора від частоти обертання шнеків

Частота обертання, об /хв	Продуктивність, кг/с	Продуктивність, т/год
30	0,30	1,08
60	0,53	1,90
90	0,72	2,60
120	0,96	3,45
150	1,20	4,32

Джерело: [10]

На рисунку 3. 5 зображено залежність масової продуктивності Q від частоти обертання шнеків п у діапазоні від 20 до 150 об/хв.

Продуктивність шнекових дозаторів доводить, що вони є незамінними інструментами в сучасній промисловості, що забезпечують точність, стабільність та високу продуктивність. Їх універсальність та можливість налаштування під різні типи матеріалів роблять їх ідеальним рішенням для широкого кола застосувань.

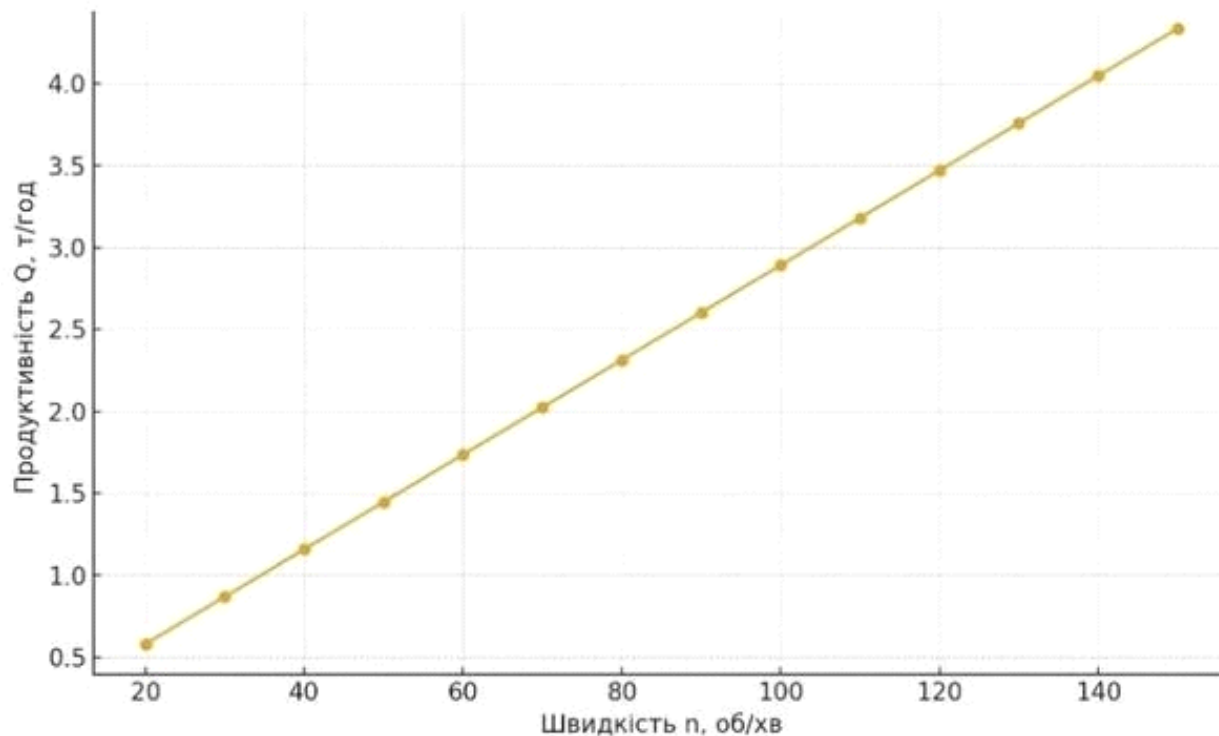


Рис. 3.5. Залежність продуктивності дозатора від частоти обертання шнеків [10]

Крива є майже лінійною, що підтверджує пропорційну залежність подачі матеріалу від швидкості обертання. У зоні 30-120 об/хв подача зростає рівномірно, досягаючи 2,6 т/год при $n = 90$ об/хв.

Після 120 об/хв темп росту зменшується через гідродинамічні втрати, вібрації та можливе «розпилення» сипкої сировини. Рекомендований робочий діапазон - 60-100 об/хв.

Застосування частотно-регульованого електропривода позитивно впливає на енергоефективність системи. Регулювання швидкості електродвигуна відповідно до фактичних потреб технологічного процесу

дозволяє уникнути надлишкового споживання електроенергії. Порівняно з нерегульованими приводами, у яких двигун працює на номінальній швидкості незалежно від навантаження, запропоноване рішення забезпечує більш раціональне використання енергетичних ресурсів.

Впровадження автоматизованої системи керування електроприводом шнекового дозатора біопалива спрямоване на підвищення ефективності технологічного процесу, зниження експлуатаційних витрат та покращення стабільності дозування палива. Економічна доцільність проєкту оцінюється на основі умовних показників витрат і результатів від упровадження системи автоматизації.

Здійснимо економічне обґрунтування ефективності впровадження автоматизованої системи керування електроприводом шнекового дозатора для біопалива та визначимо строк окупності інвестицій.

Для початку необхідно визначити поточні витрати на процес дозування біопалива. Це включає: вартість людської праці, витрати на електроенергію при ручному управлінні дозатором, можливі втрати біопалива через неточне дозування.

Наступним кроком є визначення вартості придбання та встановлення автоматизованої системи керування електроприводом шнекового дозатора. Ця вартість включатиме:

- вартість самого обладнання;
- вартість монтажу та налаштування;
- вартість програмного забезпечення.

Витрати на впровадження автоматизованої системи представлено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Показники витрат у процесі впровадження автоматизованої системи керування електроприводом шнекового дозатора для біопалива

Стаття витрат	Сума, грн
Частотний перетворювач	125 000
Програмований логічний контролер (ПЛК)	53 000
Датчики (струму, швидкості, рівня)	7 000
Елементи силового та керуючого кола	5 000
Монтажні та налагоджувальні роботи	10 000
Загальні капітальні витрати (К)	200 000

Для оцінки економічної ефективності впровадження будемо використовувати наступні умовні показники – таблиця 3.3.

Таблиця 3.3

Експлуатаційно-витратні показники

Показник	Значення
Вартість мануального дозування	1000 грн/тонна біопалива
Вартість автоматизованого дозування	900 грн/тонна біопалива
Обсяг переробки біопалива	100 тонн/місяць
Річні витрати на біопаливо (умовно)	500 000 грн. / рік

Розрахуємо економічну ефективність впровадження.

- Економія від автоматизації (E_a):

$$E_a = (1000 - 900) \text{ грн/т} * 100 \text{ т/місяць} = 10000 \text{ грн / місяць}$$

Також слід зазначити, що економічний ефект досягається ще й за рахунок:

- зниження споживання електроенергії;
- зменшення втрат біопалива через перевантаження.

2) Економія електроенергії:

Потужність електропривода шнекового дозатора – 7,5 кВт

Середній річний фонд часу роботи – 3 000 год

Зменшення споживання електроенергії завдяки частотному регулюванню – 15 %

Річна економія електроенергії складе:

$$7,5 \times 3000 \times 0,15 = 3375 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

За тарифу 5,0 грн / кВт·год річна економія становить:

$$3375 \times 5,0 = 16875 \text{ грн}$$

- Зменшення втрат біопалива. Завдяки стабілізації подачі та усуненню перевантажень втрати біопалива зменшуються на 3 %.

Річна економія: $500000 \times 0,03 = 15000$ грн

4) Скорочення витрат на технічне обслуговування. З практики експлуатації подібного обладнання, автоматизація процесу дозволяє знизити аварійність та знос обладнання, що забезпечує економію витрат на ремонт і обслуговування в розмірі 6 000 грн / рік.

Загальний річний економічний ефект представлено у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4

Загальний річний економічний ефект автоматизованої системи керування електроприводом шнекового дозатора біопалива

Показник	Ефект
Економія від автоматизації	10000 грн/місяць; 120000 / рік
Економія електроенергії	16875 грн / рік
Зменшення втрат біопалива	15000 грн / рік
Скорочення витрат на технічне обслуговування	6 000 грн / рік
Разом:	157875 грн / рік

Сумарний річний економічний ефект становить 157,875 тисяч гривень на рік.

5) Розрахунок строку окупності. Строк окупності визначається як період часу, протягом якого інвестиції в автоматизовану систему окупляться за рахунок економії ресурсів. Строк автоматизовану систему окупляться за рахунок економії ресурсів.

Формула для розрахунку строку окупності:

Срок окупності = Вартість автоматизованої системи / Щорічна економічна вигода

Використовуючи дані, розрахуємо строк окупності:

$$Co = 200\ 000 \text{ грн} / 157875 \text{ грн} / \text{рік} = 1,27 \text{ року (464 дня)}$$

Важливо врахувати, що умовні показники можуть відрізнятись залежно від конкретних умов виробництва. Тому на практиці рекомендується провести детальний аналіз з урахуванням всіх факторів, що впливають на ефективність впровадження автоматизованої системи.

Результати розрахунків свідчать, що впровадження автоматизованої системи керування електроприводом шнекового дозатора для біопалива є економічно доцільним. Строк окупності проєкту становить менше ніж 1,5 роки, що підтверджує ефективність інвестицій у автоматизацію технологічного процесу. Окрім економічного ефекту, впровадження АСК забезпечує підвищення надійності роботи обладнання, стабільність подачі біопалива та зниження впливу людського фактора.

Крім того, автоматизована система керування дозволяє зменшити вплив людського фактора на роботу дозатора. Оператору не потрібно постійно контролювати параметри процесу та вручну коригувати режими роботи електропривода. Це знижує ймовірність помилок, пов'язаних із запізнілою реакцією або некоректними діями персоналу, та підвищує загальний рівень безпеки виробництва.

Витрати, пов'язані з упровадженням автоматизованої системи керування, включають придбання електропривода з частотним перетворювачем, програмованого логічного контролера, датчиків, а також витрати на монтаж і налаштування системи. Однак зазначені витрати компенсуються за рахунок зменшення втрат матеріалу, скорочення

енергоспоживання та підвищення надійності роботи обладнання. У більшості випадків термін окупності таких систем є відносно невеликим, що робить їх упровадження економічно доцільним.

З технічної точки зору впровадження автоматизованої системи керування створює умови для подальшого розвитку та модернізації технологічного процесу. Система може бути інтегрована в загальну структуру автоматизації підприємства, що дозволяє здійснювати централізований моніторинг, збір статистичних даних та оптимізацію режимів роботи обладнання.

Висновки до розділу 3.

У кваліфікаційній роботі здійснено комплексне дослідження, спрямоване на розробку та обґрунтування автоматизованої системи керування електроприводом шнекового дозатора. Актуальність обраної теми зумовлена зростанням вимог до точності дозування, енергоефективності та надійності технологічного обладнання, а також необхідністю зменшення впливу людського фактора на перебіг виробничих процесів.

На початковому етапі роботи проведено аналіз умов функціонування шнекового дозатора та визначено основні вимоги до системи керування. На основі цього обґрунтовано вибір структури автоматизованої системи керування, яка базується на використанні замкнених контурів регулювання та ієрархічному розподілі функцій між рівнями системи. Такий підхід забезпечує стабільну взаємодію між об'єктом керування, вимірювальними засобами та виконавчими механізмами, а також створює передумови для розширення функціональних можливостей системи в майбутньому.

У процесі досліджень та висновків обрано електропривода шнекового дозатора з урахуванням характеру навантаження, режимів роботи та

особливостей експлуатації обладнання. Обґрунтовано доцільність застосування асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором у поєднанні з частотним перетворювачем та механічним редуктором. Запропоноване технічне рішення забезпечує необхідний крутний момент на валу шнека, можливість плавного регулювання швидкості обертання та зниження динамічних навантажень на елементи механічної частини дозатора.

Наступним етапом роботи стала розробка алгоритму керування електроприводом. Алгоритм орієнтований на підтримання заданих параметрів роботи дозатора в умовах змінного моменту опору та нестабільних властивостей дозованого матеріалу. Передбачено реалізацію плавного пуску і зупинки електропривода, замкненого регулювання швидкості з використанням пропорційно-інтегрального закону керування, а також системи захисту від перевантажень і аварійних режимів. Запропонований алгоритм дозволяє забезпечити стійку роботу системи та мінімізувати відхилення фактичних параметрів від заданих.

Для перевірки правильності прийнятих рішень та оцінки динамічних властивостей системи виконано моделювання роботи автоматизованої системи керування. У процесі моделювання проаналізовано перехідні процеси під час пуску, зміни уставок та дії зовнішніх збурень. Отримані результати свідчать про задовільну швидкодію системи, відсутність значних коливань та здатність ефективно компенсувати зміну навантаження. Це підтверджує відповідність розробленої системи вимогам, що висувуються до сучасних систем автоматичного керування дозувальним обладнанням.

Проведена оцінка ефективності впровадження автоматизованої системи керування електроприводом шнекового дозатора свідчить про її технічну та економічну доцільність. Результати розрахунків свідчать, що впровадження автоматизованої системи керування електроприводом шнекового дозатора для

біопалива є економічно доцільним. Строк окупності проєкту становить менше ніж 1,5 роки, що підтверджує ефективність інвестицій у автоматизацію технологічного процесу. Окрім економічного ефекту, впровадження АСК забезпечує підвищення надійності роботи обладнання, стабільність подачі біопалива та зниження впливу людського фактора.

Запропоноване рішення забезпечує підвищення точності дозування, зниження енергетичних та експлуатаційних витрат, а також покращення надійності та безпеки роботи обладнання, що підтверджує доцільність його застосування в сучасних виробничих умовах. Автоматичний контроль аварійних та передаварійних режимів дозволяє своєчасно виявляти перевантаження, перегрів та інші небезпечні стани електропривода. Це знижує ймовірність серйозних відмов і, відповідно, витрати на ремонт і простої обладнання.

Сучасні тенденції розвитку енергетики передбачають зростання частки відновлюваних джерел енергії, зокрема біопалива. Ефективна логістика та дозування біопалива є ключовими факторами успішного його використання. Впровадження автоматизованої системи керування електроприводом шнекового дозатора дозволяє підвищити точність дозування, оптимізувати витрати та покращити загальну ефективність процесу.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Аналіз умов праці під час експлуатації шнекового дозатора

Експлуатація електрообладнання неминуче супроводжується певними ризиками для здоров'я та життя працівників. Щоб уникнути несприятливих наслідків, необхідно дотримуватись чітких правил охорони праці та безпеки.

Основні загрози під час експлуатації електрообладнання: електричний струм - контакт з відкритими проводами або несправним обладнанням може призвести до ураження електричним струмом, що спричиняє опіки, порушення серцевого ритму та навіть летальний результат; механічні травми: неправильна експлуатація електрообладнання може призвести до травм рук, ніг або інших частин тіла через заклинювання, падіння предметів чи зіткнення чи несправності ізоляції можуть спричинити пожежі. В окремих випадках, залежно від типу обладнання та навколишнього середовища, можливі вибухи.

Заходи з охорони праці:

1) **Обов'язкове навчання.** Перед початком роботи з електрообладнанням усі працівники повинні пройти відповідне навчання з питань безпеки та правил експлуатації;

2) **Використання індивідуальних засобів захисту.** Залежно від типу робіт, працівники повинні використовувати діелектричні рукавички, взуття з ізоляційною підошвою тощо;

3) Регулярний огляд та технічне обслуговування: електрообладнання повинно бути періодично оглянуте та обслуговане кваліфікованими спеціалістами для виявлення та усунення потенційних несправностей.

Існують правила безпечної експлуатації, зокрема, такі:

1) вимкнення напруги перед проведенням будь-яких робіт з електрообладнанням;

2) використання ізольованого інструменту. Для роботи з електрообладнанням слід використовувати лише ізольований інструмент, щоб запобігти ураженню електричним струмом;

3) працівники мають дотримуватись всіх правил техніки безпеки, які стосуються експлуатації електрообладнання, та не допускати самовільних модифікацій чи ремонтів.

Основні потенційні небезпеки, пов'язані з експлуатацією шнекового дозатора представлений таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Небезпеки, пов'язані з експлуатацією шнекового дозатора

Небезпека	Прояв небезпеки
Механічні травми	Рухомі частини дозатора (шнек, приводний вал) можуть спричинити травмування рук або інших частин тіла працівників у випадку необережного поводження
Запилення та забруднення повітря	Під час роботи дозатора може утворюватися пил або дрібні частки

	матеріалу, що дозується. Це може призвести до подразнення дихальних шляхів та інших проблем зі здоров'ям
Пожежа та вибух	Якщо дозується горючий або вибухонебезпечний матеріал, існує ризик виникнення пожежі чи вибуху

Джерело: узагальнено автором на підставі []

Охорона праці та безпека є пріоритетом під час експлуатації електрообладнання. Дотримання вищезазначених правил, використання ІЗЗ та регулярне обслуговування обладнання дозволять звести до мінімуму ризик травм та аварій на робочому місці.

4.2. Заходи з охорони праці та техніки безпеки. Заходи пожежної та електробезпеки

Експлуатація шнекового дозатора, як і будь-якого іншого обладнання, пов'язана з певними ризиками для здоров'я та безпеки працівників. Тому важливо провести детальний аналіз умов праці під час експлуатації даного пристрою, з метою розробки ефективних заходів з охорони праці та запобігання можливим нещасним випадкам.

Заходи з охорони праці під час експлуатації шнекового дозатора (рис. 4.1).

Надамо пояснення щодо зазначених заходів.

Монтаж захисних огорож: необхідно встановити міцні огорожі навколо рухомих частин дозатора, щоб запобігти потраплянню рук або інших предметів у зону дії.

Використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ): працівники повинні використовувати ЗІЗ відповідно до типу матеріалу, що дозується: маски для захисту дихальних шляхів, окуляри, рукавиці тощо.

Регулярне технічне обслуговування: щоб уникнути поломок та несправностей, необхідно проводити регулярне технічне обслуговування дозатора відповідно до інструкції виробника.



Рис. 4.1. Заходи з охорони праці під час експлуатації шнекового дозатора біопалива

Джерело: узагальнено автором на основі [7, 8, 16, 20]

Навчання працівників: працівники, які експлуатують дозатор, повинні пройти навчання з правил безпечної роботи та знати як діяти в надзвичайних ситуаціях.

Дотримання вищевказаних заходів допоможе мінімізувати ризики для здоров'я та безпеки працівників під час експлуатації шнекового дозатора.

Забезпечення пожежної та електробезпеки при експлуатації електрообладнання є важливою складовою системи охорони праці на підприємстві. Недотримання встановлених вимог може призвести до ураження електричним струмом, виникнення пожеж, пошкодження обладнання та загрози життю і здоров'ю працівників.

З метою запобігання аварійним ситуаціям електрообладнання повинно відповідати чинним нормативно-правовим актам, технічним регламентам та вимогам стандартів безпеки. Усі електричні установки мають бути справними, мати надійну ізоляцію струмопровідних частин, заземлення або занулення, а також бути обладнаними автоматичними вимикачами, запобіжниками та пристроями захисного вимкнення, що унеможливають перевантаження мережі та коротке замикання.

Важливим елементом пожежної безпеки є недопущення експлуатації пошкоджених електричних кабелів, розеток, подовжувачів та інших елементів електромережі. Забороняється використання саморобних електроприладів і перевищення допустимого навантаження на електромережу. Електрообладнання повинно розміщуватися на безпечній відстані від легкозаймистих матеріалів, а в приміщеннях необхідно передбачити наявність первинних засобів пожежогасіння, зокрема вогнегасників відповідного типу.

Для дотримання електробезпеки працівники повинні мати засоби індивідуального захисту, такі як діелектричні рукавиці, взуття, килимки та інструмент з ізольованими ручками. Роботи з обслуговування та ремонту електрообладнання дозволяється виконувати лише після повного знеструмлення установки та перевірки відсутності напруги.

Організаційні заходи відіграють ключову роль у запобіганні нещасним випадкам. До роботи з електрообладнанням допускаються лише працівники, які пройшли відповідне навчання, інструктаж з пожежної та електробезпеки, а також мають необхідну групу допуску з електробезпеки. На підприємстві повинні бути розроблені та затверджені інструкції з безпечної експлуатації електрообладнання, а також забезпечено регулярний контроль технічного стану електроустановок.

Таким чином, дотримання комплексу технічних, організаційних та профілактичних заходів пожежної та електробезпеки дозволяє мінімізувати ризики виникнення аварійних ситуацій, забезпечити безпечні умови праці та знизити рівень виробничого травматизму.

Працюючи з будь-яким обладнанням, що має рухомі частини та використовує електрику, необхідно дотримуватися суворих правил безпеки. Шнековий дозатор не є винятком.

Для пожежної безпеки та електробезпеки необхідними є такі заходи – таблиця 4.1.

Таблиця 4.1

Заходи пожежної при роботі зі шнековим дозатором

Заходи	Проблеми, спрямування заходів
Пожежна безпека	

Регулярна чистка	Забруднення та скупчення матеріалу навколо шнекового дозатора можуть спричинити займання. Тому необхідно регулярно очищати обладнання від залишків матеріалу та пилу
Вогнегасник	В зоні роботи з дозатором має бути доступний вогнегасник відповідного типу (наприклад, порошковий)
Виявлення джерел займання	Перед запуском дозатора необхідно перевірити стан кабелів, двигунів та інших електричних компонентів на предмет пошкоджень або перегрівання
Електробезпека	
Заземлення	Шнековий дозатор повинен бути належним чином заземлений для запобігання ураження електричним струмом
Ізоляція	Переконайтеся, що всі електропроводи та кабелі знаходяться в хорошому стані ізоляції. Замініть пошкоджені дроти

Продовження таблиці 4.1

Вимикач захисту	Використовувати вимикачі захисного відключення (ВЗО) для автоматичного відключення живлення при виникненні короткого замикання або перевантаження
Сухе робоче середовище	Не допускати попадання води на обладнання, оскільки це може спричинити ураження електричним струмом
Додаткові заходи безпеки	
Інструктаж	Усі працівники, які працюють зі шнековим дозатором, повинні пройти інструктаж з правил безпеки та отримати необхідні навички
Охоронна сигналізація	Встановлення світлових або звукових сигналів може попередити інших про роботу дозатора і запобігти нещасним випадкам
Спеціальний одяг	Працівники повинні носити захисний одяг, такий як рукавички, окуляри та міцне взуття

Джерело: узагальнено на основі [7, 8, 9, 14]

Дотримання цих правил допоможе забезпечити безпечне використання шнекового дозатора та запобігти можливим нещасним випадкам.

Висновки до розділу 4.

В результаті аналізу умов праці під час експлуатації шнекового дозатора було встановлено, що основними факторами ризику є:

- механічні небезпеки: рухомі частини дозатора (шнек, вал, шестерні) можуть спричинити травми рук та інших частин тіла;
- пилові утворення: робота з сипучими матеріалами може призвести до утворення пилу, що негативно впливає на органи дихання працівників;
- ризик перегрівання: тривала робота дозатора може спричинити перегрів двигуна та інших компонентів, що може призвести до пожежі.

Для мінімізації ризиків, пов'язаних з експлуатацією шнекового дозатора, необхідно вжити наступних заходів:

1) технічні:

- встановлення захисних кожухів на рухомі частини дозатора;
- використання систем пиловидалення для уловлювання та видалення пилу;
- регулярне технічне обслуговування дозатора з перевіркою стану всіх його компонентів.

2) організаційні:

- проведення інструктажів з працівниками з правил експлуатації дозатора та заходів безпеки;
- забезпечення працівників засобами індивідуального захисту (рукавичками, окулярами, респіраторами);
- встановлення чітких процедур для зупинки та запуску дозатора.

3) пожежна та електробезпека:

- встановлення пожежних оповісчувачів та систем пожежогасіння в приміщенні, де експлуатується дозатор;
- регулярна перевірка електричного обладнання дозатора на предмет несправностей;
- заземлення електрообладнання дозатора для запобігання ураження електричним струмом.

Дотримання цих заходів дозволить створити безпечні умови праці під час експлуатації шнекового дозатора та запобігти виникненню нещасних випадків.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Проведені у рамках підготовки кваліфікаційної роботи дослідження дозволяють зробити висновки.

Розглянуто різноманітні види твердого біопалива, такі як деревна біомаса, сільськогосподарські відходи, торф тощо. Для кожного виду детально описано його фізико-механічні властивості, зокрема вологість, щільність, розмір частинок, теплотворну здатність, що є ключовими факторами для ефективної переробки та використання. Тверде біопаливо є альтернативним та відновлювальним джерелом енергії, здатним замінити викопне паливо та зменшити негативний вплив на навколишнє середовище.

Обґрунтовано наявність високого потенціалу твердого біопалива як джерела відновлюваної енергії. Ефективна переробка твердого біопалива залежить від розуміння його властивостей, вибору відповідних технологічних процесів та використання оптимального обладнання для транспортування та дозування.

Проаналізовано основні технологічні процеси переробки твердого біопалива, включаючи подрібнення, сушку, піроліз, газифікацію та зрідження. Для кожного процесу описано його суть, переваги та недоліки, а також сфера застосування.

Охарактеризовано обладнання, що використовується для транспортування та дозування твердого біопалива: конвеєри, шнекові перемішувачі, пневматичні системи. Здійснено порівняльний аналіз різних типів обладнання з урахуванням їх продуктивності, точності дозування, енергетичної ефективності та вартості.

Дослідження мають бути зосереджені на оптимізації конкретних технологічних процесів переробки твердого біопалива з метою підвищення

його ефективності та мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище.

У другому розділі магістерської роботи було проведено комплексне дослідження процесу дозування твердого біопалива шнековим дозатором з урахуванням його конструктивних особливостей, режимів роботи та параметрів електропривода. Отримані результати дозволяють сформулювати такі основні висновки.

Проаналізовано конструктивні особливості та принцип дії шнекового дозатора, встановлено, що геометричні параметри шнека, умови його заповнення та конфігурація завантажувального бункера мають визначальний вплив на стабільність і точність процесу дозування твердого біопалива.

Розроблено алгоритм процесу дозування, яка дозволяє описати залежність продуктивності дозатора від частоти обертання шнека та фізико-механічних властивостей біопалива. Модель підтвердила можливість ефективного регулювання подачі матеріалу за рахунок зміни параметрів електропривода.

Проведено аналіз впливу параметрів електропривода на продуктивність шнекового дозатора. Показано, що застосування регульованого електропривода з частотним керуванням забезпечує плавну зміну швидкості обертання шнека, стабільну роботу дозатора та зменшення впливу змінних властивостей твердого біопалива.

За результатами експериментальних досліджень встановлено, що найбільш раціональні режими роботи шнекового дозатора реалізуються в середньому діапазоні швидкостей обертання шнека, де досягається оптимальне співвідношення між продуктивністю та рівномірністю подачі біопалива.

Узагальнення теоретичних і експериментальних результатів підтвердило доцільність обраної математичної моделі та доцільність використання регульованого електропривода для підвищення ефективності процесу дозування твердого біопалива в практичних умовах експлуатації.

Актуальність обраної теми зумовлена зростанням вимог до точності дозування, енергоефективності та надійності технологічного обладнання, а також необхідністю зменшення впливу людського фактора на перебіг виробничих процесів.

Проведено аналіз умов функціонування шнекового дозатора та визначено основні вимоги до системи керування. На основі цього обґрунтовано вибір структури автоматизованої системи керування, яка базується на використанні замкнених контурів регулювання та ієрархічному розподілі функцій між рівнями системи. Такий підхід забезпечує стабільну взаємодію між об'єктом керування, вимірювальними засобами та виконавчими механізмами, а також створює передумови для розширення функціональних можливостей системи в майбутньому.

Здійснено вибір електропривода шнекового дозатора з урахуванням характеру навантаження, режимів роботи та особливостей експлуатації обладнання. Обґрунтовано доцільність застосування асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором у поєднанні з частотним перетворювачем та механічним редуктором. Запропоноване технічне рішення забезпечує необхідний крутний момент на валу шнека, можливість плавного регулювання швидкості обертання та зниження динамічних навантажень на елементи механічної частини дозатора.

Розроблено алгоритм керування електроприводом. Алгоритм орієнтований на підтримання заданих параметрів роботи дозатора в умовах змінного моменту опору та нестабільних властивостей дозованого матеріалу.

Передбачено реалізацію плавного пуску і зупинки електропривода, замкненого регулювання швидкості з використанням пропорційно-інтегрального закону керування, а також системи захисту від перевантажень і аварійних режимів. Запропонований алгоритм дозволяє забезпечити стійку роботу системи та мінімізувати відхилення фактичних параметрів від заданих.

Проаналізовано перехідні процеси під час пуску, зміни уставок та дії зовнішніх збурень. Отримані результати свідчать про задовільну швидкодію системи, відсутність значних коливань та здатність ефективно компенсувати зміну навантаження. Це підтверджує відповідність розробленої системи вимогам, що висуваються до сучасних систем автоматичного керування дозувальним обладнанням.

Аналіз показав, що використання автоматизованого керування дозволяє підвищити точність дозування матеріалу, зменшити втрати сировини та знизити енергоспоживання електропривода. Крім того, автоматизація процесу сприяє підвищенню надійності роботи обладнання, зменшенню кількості аварійних зупинок і скороченню витрат на технічне обслуговування.

Для мінімізації ризиків, пов'язаних з експлуатацією шнекового дозатора, необхідно вжити наступних заходів:

- встановлення захисних кожухів на рухомі частини дозатора;
- використання систем пиловидалення для уловлювання та видалення пилу;
- регулярне технічне обслуговування дозатора з перевіркою стану всіх його компонентів.
- проведення інструктажів з працівниками з правил експлуатації дозатора та заходів безпеки;

- забезпечення працівників засобами індивідуального захисту (рукавичками, окулярами, респіраторами);
- встановлення чітких процедур для зупинки та запуску дозатора.
- встановлення пожежних оповіщувачів та систем пожежогасіння в приміщенні, де експлуатується дозатор;
- регулярна перевірка електричного обладнання дозатора на предмет несправностей;
- заземлення електрообладнання дозатора для запобігання ураження електричним струмом.

Дотримання цих заходів дозволить створити безпечні умови праці під час експлуатації шнекового дозатора та запобігти виникненню нещасних випадків.

У результаті виконання кваліфікаційної роботи досягнуто поставленої мети та вирішено всі основні завдання дослідження. Запропонована автоматизована система керування електроприводом шнекового дозатора є технічно обґрунтованою, функціонально повною та економічно доцільною. Отримані результати можуть бути використані як при практичному впровадженні на промислових підприємствах, так і в подальших наукових дослідженнях, пов'язаних з удосконаленням систем автоматизації дозувальних і транспортуючих механізмів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

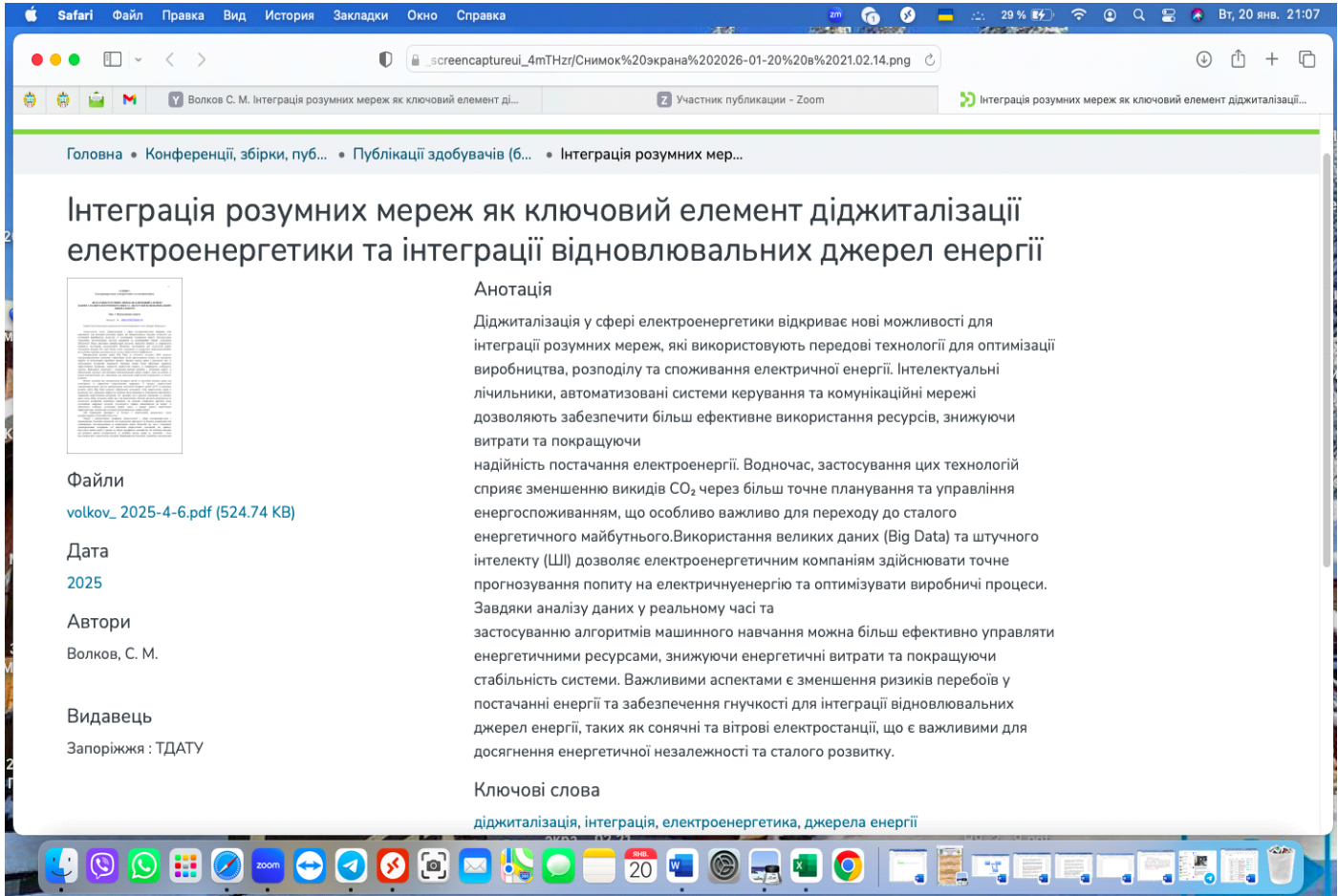
- Басок Б. І. Енергетичні системи з відновлюваними джерелами енергії. Київ : Наукова думка, 2018. 356 с.
- Басок Б. І., Кухарець С. М. Тверде біопаливо та технології його використання. Київ : Наукова думка, 2020. 284 с.
- Басок Б. І., Лисенко О. М. Біоенергетика в Україні: стан і перспективи розвитку // Відновлювана енергетика. 2020. № 3. С. 5–17.
- Бойко В. С. Автоматизація технологічних процесів. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2016. 260 с.
- Волков С. М. Інтеграція розумних мереж як ключовий елемент діджиталізації електроенергетики та інтеграції відновлювальних джерел енергії. Матеріали *XII Всеукраїнської науково-технічної конференції здобувачів вищої освіти ТДАТУ*. Факультет енергетики та комп'ютерних технологій (01-09 травня 2025 р.) Запоріжжя: ТДАТУ, 2025. С. 4-6
- Герман-Галкін С. Г. Автоматизовані системи керування електроприводами. Київ : КПІ, 2014. 304 с.
- Гончаренко О. М. Автоматизація біоенергетичних установок // Енергетика. 2021. № 2. С. 45–52.
- ДСТУ EN 60204-1:2015 Безпека машин. Електрообладнання машин.
- ДСТУ EN 50549-1:2019 Вимоги до приєднання електрогенераторів до мереж.
- Електропривод у питаннях і відповідях / Савченко П. І., Лисиченко М.Л., Тищенко О.К., Гузенко В.В. // Харків : ХНТУСГ, 2012. 500 с.

- Жежеленко І. В. Якість електричної енергії в електричних мережах. Київ : Техніка, 2015. 176 с.
- Жуйков В. Я. Мікропроцесорні системи керування електроприводами. Київ : КПІ, 2017. 304 с.
- Клименко В. М. Енергоефективні електромеханічні системи. Харків : ФОП Панов, 2020. 240 с.
- Коваленко І. О. Автоматизовані системи керування. Одеса : ОНПУ, 2018. 286 с.
- Костенко М. П., Перельман Л. І. Електричні машини. Київ : Вища школа, 2006. 432 с.
- Кудря С. В. Відновлювана енергетика : навч. посіб. Київ : Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2019. 312 с.
- Кузнєцов В. Г. Автоматизований електропривод. Харків : ХНУРЕ, 2017. 240 с.
- Кухарець С. М. Технології переробки біомаси. Житомир : ЖНАЕУ, 2019. 198 с.
- Мірошник М. А. Електроприводи шнекових механізмів // Вісник НТУ «ХПІ». 2020. № 4. С. 67–73.
- Півняк Г. Г. Електроенергетичні системи та мережі. Дніпро : НГУ, 2018. 412 с.
- Плахотний О. В. Основи електропривода. Київ : Ліра-К, 2016. 198 с.
- Сенько В. І. Силова електроніка. Київ : КНЕУ, 2019. 512 с.
- Шавелькін В. В. Електромеханічні системи автоматизованих установок. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 256 с.

- Ackermann T. Wind power in power systems. Chichester : Wiley, 2012. 1060 p.
- Basu P., et al. Biomass gasification and pyrolysis: an overview. 2017.
- Blaabjerg F. Power electronics for renewable energy systems // IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics. 2013. Vol. 1, No. 1. P. 3–20.
- Boldea I. Electric generators and motors. Boca Raton : CRC Press, 2016. 672 p.
- Bridgwater A. V. Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass. 2012.
- Chapman S. J. Electric machinery fundamentals. New York : McGraw-Hill, 2011. 688 p.
- Chen X., et al. Thermochemical conversion of biomass: a review. 2015.
- Demirbas A. Biofuels from agricultural residues. 2009.
- Holtz J. Sensorless control of induction motor drives // Proceedings of the IEEE. 2002. Vol. 90. P. 1359–1394.
- Hughes A., Drury B. Electric motors and drives. Oxford : Butterworth-Heinemann, 2019. 480 p.
- Leonhard W. Control of electrical drives. Berlin : Springer, 2001. 420 p.
- Liserre M., Sauter T., Hung J. Y. Future energy systems // IEEE Industrial Electronics Magazine. 2010. Vol. 4, No. 1. P. 18–37.
- Mata-Alvarez J., et al. Anaerobic digestion of organic solid waste. An overview of research achievements and perspectives. 2014.

- Mohan N. Power electronics: converters, applications, and design. Hoboken : Wiley, 2012. 824 p.
- Pansini A. J. Electrical power distribution systems. Lilburn : Fairmont Press, 2015. 320 p.
- Pillay P., Krishnan R. Modeling of permanent magnet motor drives // IEEE Transactions on Industrial Electronics. 1988. Vol. 35. P. 537–541.
- Rashid M. H. Power electronics handbook. Oxford : Elsevier, 2017. 1440 p.
- Sørensen B. Renewable energy: physics, engineering, environmental impacts. Oxford : Academic Press, 2011. 872 p.
- Vas P. Sensorless vector and direct torque control. Oxford : Oxford University Press, 1998. 744 p.

ДОДАТКИ



The screenshot shows a Safari browser window with a document page. The browser's address bar contains a file path: `file:///.../screenshot_4mTHzr/Снимок%20экрана%202026-01-20%20в%2021.02.14.png`. The page title is "Інтеграція розумних мереж як ключовий елемент діджиталізації електроенергетики та інтеграції відновлювальних джерел енергії". The page content includes a thumbnail of a document, a list of files, and a detailed abstract in Ukrainian. The abstract discusses the opportunities of digitalization in the energy sector, the role of smart grids, and the integration of renewable energy sources. It mentions the use of Big Data, AI, and smart meters to optimize energy production and distribution, reduce CO2 emissions, and ensure energy security.

Головна • Конференції, збірки, пуб... • Публікації здобувачів (б... • Інтеграція розумних мер...

Інтеграція розумних мереж як ключовий елемент діджиталізації електроенергетики та інтеграції відновлювальних джерел енергії

Анотація

Діджиталізація у сфері електроенергетики відкриває нові можливості для інтеграції розумних мереж, які використовують передові технології для оптимізації виробництва, розподілу та споживання електричної енергії. Інтелектуальні лічильники, автоматизовані системи керування та комунікаційні мережі дозволяють забезпечити більш ефективне використання ресурсів, знижуючи витрати та покращуючи надійність постачання електроенергії. Водночас, застосування цих технологій сприяє зменшенню викидів CO₂ через більш точне планування та управління енергоспоживанням, що особливо важливо для переходу до сталого енергетичного майбутнього. Використання великих даних (Big Data) та штучного інтелекту (ШІ) дозволяє електроенергетичним компаніям здійснювати точне прогнозування попиту на електричну енергію та оптимізувати виробничі процеси. Завдяки аналізу даних у реальному часі та застосуванню алгоритмів машинного навчання можна більш ефективно управляти енергетичними ресурсами, знижуючи енергетичні витрати та покращуючи стабільність системи. Важливими аспектами є зменшення ризиків перебоїв у постачанні енергії та забезпечення гнучкості для інтеграції відновлювальних джерел енергії, таких як сонячні та вітрові електростанції, що є важливими для досягнення енергетичної незалежності та сталого розвитку.

Ключові слова

діджиталізація, інтеграція, електроенергетика, джерела енергії

Файли

[volkov_2025-4-6.pdf \(524.74 KB\)](#)

Дата

2025

Автори

Волков, С. М.

Видавець

Запоріжжя : ТДАТУ



СЕРТИФІКАТ

Волков С. М.

виступав(ла) із доповіддю

**РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ
ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ШНЕКОВОГО ДОЗАТОРА**

на Міжнародній науково-практичній конференції
**ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА
ТА ТЕХНОЛОГІЇ В АПК**

5 листопада 2025 р.

(on-line)

м. Харків

Секція NES

В.о.ректора



Андрій КУДРЯШОВ

