

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра механіки та інженерії
агроекосистем

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Купрійчук Владислав Сергійович

УДК 621.8

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

ОБґРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПНЕВМАТИЧНОГО РУШІЯ З
ЕЛАСТИЧНОЮ ОБОЛОНКОЮ ДЛЯ НАПІЛЬНОГО ТРАНСПОРТНОГО
ЗАСОБУ У БАГАТОПРОЛЬОТНИХ ПРОМИСЛОВИХ ТЕПЛИЦЯХ

208 „Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістра

кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

/В.С. Купрійчук/

Керівник роботи

Б.А.Шелудченко

К.т.н., професор

Житомир – 2020

АНОТАЦІЯ

В.С. Купрійчук Обґрунтування параметрів пневматичного рушія з еластичною оболонкою для напільного транспортного засобу у багатопрольотних промислових теплицях. Кваліфікаційна робота на правах рукопису. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 «Агроінженерія». Поліський національний університет, Житомир, 2020.

В роботі обґрунтована доцільність застосування пневматичного рушія в в одній з технологічних систем промислової теплиці. Теплиця представлена як система, що використовує відновлювані джерела енергії з низьким потенціалом її віддачі. Застосування такої системи дозволяє не використовувати промислову енергетику, що вписується в сучасні тенденції „декарбонізації” майбутньої економіки.

SUMMARY

V.S. Kupriychuk Substantiation of parameters of the pneumatic propulsion with an elastic cover for the floor vehicle in multi-span industrial greenhouses. Qualification work on the rights of the manuscript. Qualifying work for a master's degree in specialty 208 - agroengineering. - Polissia National University, Zhytomyr, 2020.

The expediency of application of the pneumatic propulsion in in one of technological systems of the industrial greenhouse is proved in the work. The greenhouse is presented as a system that uses renewable energy sources with low potential for its return. The application of such a system allows not to use industrial energy, which fits into the current trends of "decarbonization" of the future economy.

ЗМІСТ

Анотація	2
Вступ	4
Розділ I Концепції зеленого переходу та декарбонізація економіки	6
1.1 Концепції зеленого переходу	6
1.2. Промислова теплиця і сучасні технології	8
РОЗДІЛ II Пневматичні рушії та інші енергоспоживаючі системи теплиці	12
2.1. Основи використання руху пневматичних рушіїв	12
2.2. Теплиця як замкнена енерготехнічна система	15
РОЗДІЛ III Особливості конструкції і параметрів пневматичного рушія...	20
Висновки	23
Список використаних джерел	24

ВСТУП

Головною тенденцією розвитку сучасної промисловості залишається зменшення обсягів споживання енергії, що опосередковано приводить до зменшення споживання викопних копалин. Ця тенденція пов'язана з кліматичними змінами, кількістю викидів, забрудненням середовища.

Тому сучасне виробництво спрямоване на так звану декарбонізацію економіки і концепцію зеленого переходу, коли основними напрямками видобутку енергії стають відновлювані джерела, такі як сонце, вітер, відходи виробництва.

Важливу частину економіки людства становить виробництво сільськогосподарської продукції. В виробництві продуктів харчування зменшення енергетичних затрат, викидів, споживання органічного палива будуть в подальшому тільки зростати, також вписуючись в концепцію зеленого переходу економіки [3].

В роботі розглянута можливість застосування відновлюваних джерел енергії на прикладі промислової теплиці. Головною особливістю цих пристроїв є досить низький і повільний рівень віддачі енергії, виробництво якої залежить від змінюваних погодних умов. Тому виробничі процеси, які використовуються на прикладі даного господарства повинні бути низькопотенційними, щоб мінімально перевантажувати енергетичну мережу.

Як приклад можна навести розробки в використанні пневматичних рушіїв на основі гнучких оболонки.

Актуальність роботи: Робота досліджує можливість побудови системи з низьким споживанням енергії та використання в ній відновлюваних джерел енергії, таких як вітрова та сонячна енергетика. Обґрунтовано використання низькоенергетичних технологічних процесів. Ці принципи вписуються в концепцію зеленого переходу промисловості та її декарбонізації.

Мета роботи: обґрунтувати можливість створення замкненої системи з власним виробництвом енергії для використання в промислових теплицях.

Завдання досліджень:

- 1.Розробити принципи виробництва та витрат енергії в промисловій теплиці.
- 2.Обґрунтувати використання еластичних надувних пневматичних рушіїв в технологічних процесах виробництва в теплиці.

Публікації:

1.Матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики «Наукові читання – 2020», Житомир, ЖНАЕУ, с.46-47.

2.<http://www.intellectualarchive.com/?link=find#PNU>

Kupriyuchuk Vladislav Sergeevich Substantiation of parameters of the pneumatic propulsion with an elastic cover for the floor vehicle in multi-span industrial greenhouses.

Структура та обсяг роботи. Робота виконана на 24 сторінках друкованого тексту, містить вступ, 3 розділи, висновки, список використаної літератури із 25 джерел.

РОЗДІЛ I

КОНЦЕПЦІЇ ЗЕЛЕНОГО ПЕРЕХОДУ ТА ДЕКАРБОНІЗАЦІЯ ЕКОНОМІКИ

1.1 Концепції зеленого переходу

Погіршення кліматичної ситуації на планеті Земля, потребує міжнародного співробітництва та відповідно низки міжнародних домовленостей і документів: зокрема Рамкової Конвенції ООН про зміну клімату, або ще як її називають Кіотський протокол. Нещодавно, на зміну Кіотському протоколу прийшла Паризька угода. Україна безумовно підтримує і ратифікує всі вищеназвані угоди та документи [7].

Зокрема в Україні ратифікація Паризької угоди відбулася 14.08.2016 року, Україна цю угоду ратифікувала однією із найперших у світі. До чого її спонукають кліматичні зміни, що відбиваються на веденні аграрного виробництва [7].

Серед негативних та шкідливих наслідків зміни клімату є [1]:

- значний вплив на коливання рівня здоров'я в населення;
- значний вплив на врожайність аграрних культур;
- виникнення проблем із водопостачанням;
- водна дефляція та вітрова ерозія ґрунтів;
- вимирання лісів;
- знищення агроєкосистем;
- підвищення рівня аварійності інфраструктури.

В кінці 2018 року ЄвроКомісія розробила концептуальні положення щодо зменшення викидів парникових газів на тривалу перспективу, до 2050 року [3]. Вона містить сім основних стратегічних складових:

1. максимізація енергоефективності;
2. максимальне розгортання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) та електрифікації;
3. перехід до екологічно-чистого транспорту;
4. запровадження циркулярної економіки (економіки замкнутого циклу);
5. розробки «розумних» мереж та комунікацій;
6. розширення біоенергетики та природного поглинання вуглецю;
7. поглинання решти викидів CO₂ за рахунок технологій поглинання та зберігання вуглецю (carbon capture and storage).

Відновлювана енергетика та питання енергоефективності є локомотивом для України в цьому питанні. Необхідний великий прогрес із ефективним використанням енергії в побуті, виробництві, промисловості, житлово-комунальному господарстві. Необхідні структурні зміни і в самих системах постачання енергії, перехід, наприклад на біоводень чи біометан, сонячну та вітрову енергію [3].

Це все вищезазначене дозволить [3]:

- здобути для України енергонезалежність;
- стабілізувати виробництво та споживання енергії;
- стати Україні кліматично нейтральною.

Поліпшення енергетичної проблеми дозволить поліпшити і стан малого та середнього бізнесу [3].

ОСНОВНІ НАПРЯМИ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ ЕКОНОМІКИ

1. Енергоефективність та енергозбереження;
2. Відновлювані джерела енергії;
3. Поводження з відходами;
4. Інноваційне сільське та лісове господарство;
5. Диджиталізація (цифровізація) економічних процесів.

Отже, всі системи, які будуть розроблятися в подальшому, повинні враховувати вищезазначені концепції.

1.2. Промислова теплиця і сучасні технології

Недоліками закритого ґрунту є висока складність тепличного господарства.
[4].

Приклад залу промислової теплиці наведені на рис 1.1 нижче.



Рис 1.1 Виробництво в теплиці

Промислові теплиці розробляються та будуються для цілорічної експлуатації. Технологія вирощування тепличних рослин дещо відрізняється від звичайного відкритого агровиробництва. Обсяги робіт залежать від масштабу теплиць [5].

В основі класифікації теплиць лежать [7]:

- технологія виробництва;
- масштабність;
- структура.

За технологією виробництва теплиці класифікують на:

- наземні чи ґрунтові;
- та навісні чи стелажні.

За масштабністю така класифікація:

- комплекси (від 0,5 га);
- фермерські (від 500 м² до 5000 м²);
- малі (до 500 м²).

За структурою бувають такі конструкції теплиць (Рис 1.2):

- одно- або двосхила прямокутна;
- у формі арки;
- у вигляді багатокутника;
- у формі купола.

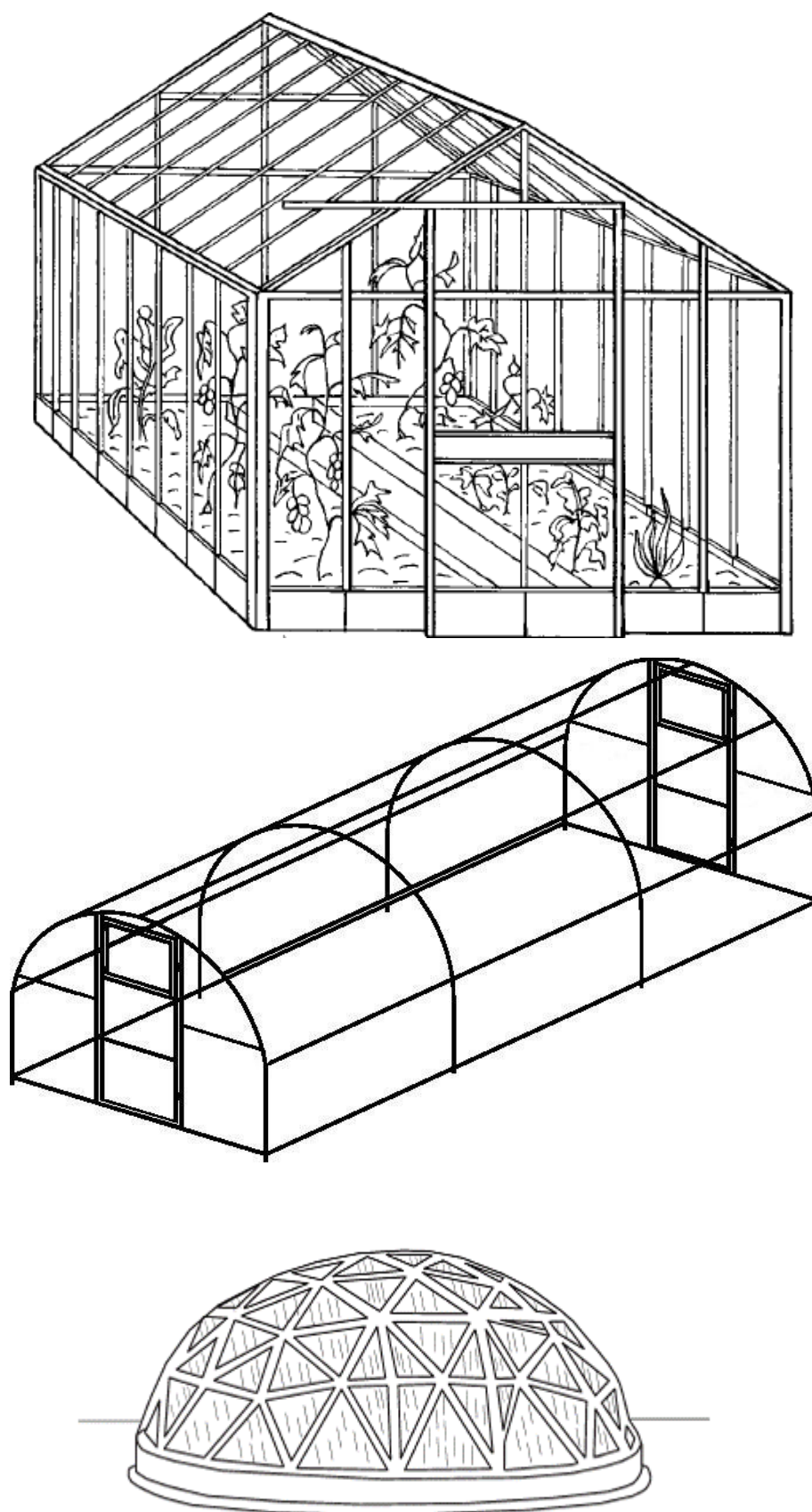


Рис 1.2 Форми сучасних теплиць

Форма теплиці впливає на розміщення комунікацій та систем обслуговування. До основних енергоспоживаючих систем сучасної промислової теплиці відносять [4]:

- Систему освітлення, необхідну в темні, хмарні та короткі дні;
- Систему обігріву, яка підтримує актуальну для різних періодів росту температуру;
- Водогін з системою зрошення або поливу;
- Транспортну систему – обробіток ґрунту, доставка саджанців, внесення добрив, збір і транспортування врожаю тощо ;
- Системи вентиляції, провітрювання, зашторювання.

Всі ці системи можуть працювати як в автоматичному (процесорному), так і ручному режимах.

РОЗДІЛ II

ПНЕВМАТИЧНІ РУШІЇ ТА ІНШІ ЕНЕРГОСПОЖИВАЮЧІ СИСТЕМИ ТЕПЛИЦІ

2.1. Основи використання руху пневматичних рушіїв

В сучасному машинобудуванні, авіації, судноплаванні задачу руху розглядають як фізичний корпус, який має опір, і двигун, який створює сили для подолання цього опору. Людство зараз знаходиться в пошуку нових джерел енергії і збільшення ефективності використання використовуваних джерел [2].

Високоєфективні та високопотенціальні (з точки зору віддачі енергії) сучасні джерела (атомні і теплові електростанції, двигуни внутрішнього згорання) використовують викопні непоновлювані ресурси, кількість яких постійно зменшується [2].

Відновлювальні джерела (вітро-генератори, сонячні батареї, перетворювачі енергії хвиль) мають відносно низьку ефективність або низький потенціал віддачі енергії.

Сумарна низькопотенціальна енергія – енергія оточуючого середовища (тепло атмосфери, землі і води, енергія електромагнітних хвиль) розсіяна навколо нас, є екологічно чистою і по сучасним міркам невичерпною або відновлюваною. Однак при її використанні виникає складна задача переносу енергії від низькопотенціальних джерел до споживача, або задача накопичення і зберігання такої енергії [2].

Низькопотенційна енергія оточуючого середовища може бути екстрагована за допомогою вихрових, кавітаційних, коливальних і хвильових та інших процесів. Середовище та енергія можуть бути будь-які: механічна, теплова, електромагнітна, гравітаційна, градієнтна відомих та ще невідомих фізичних полів [2].

Одним з джерел низькопотенційної енергії є градієнтна енергія стиснутого середовища (газу), який знаходиться в замкненій еластичній оболонці. Рухомість і

силові якості м'яких еластичних оболонок використовують в різноманітних еластичних механізмах і м'яких рушіях [2].

В залежності від виду використання м'які рушії поділяють на:

- Рушії, що приводяться в дію вітром;
- Рушії, які безпосередньо впливають на повітря;
- Рушії, які безпосередньо впливають на воду;
- Реактивні рушії;
- Еластичні перетворювачі м'язових зусиль;
- Пневморушії, які використовують різницю натягу оболонки;
- Еластичні елементи механічних перетворювачів.

По типу конструкції м'які рушії поділяють на оболонкові конструкції замкненого та незамкненого об'єму. Спільними їх елементами є еластичні оболонки і текуче робоче середовище (газ, який стискається або нестискувана рідина), а також повітряний потік або гідравлічний напір [2].

По компоновці та напрямку прикладеного навантаження рушії поділяють на [2]:

- Поступово – вертикальний (підйомний над чи під вантажем);
- Горизонтальний (розсовує або штовхає);
- Обертаючий;
- Більш складні конструкції змішаної дії.

Таким чином, в загальному вигляді до м'яких рушіїв відносять еластичні механізми, які керуються системою контрольно – виконавчих приладів. Приклади рушіїв наведені на рис 2.1.

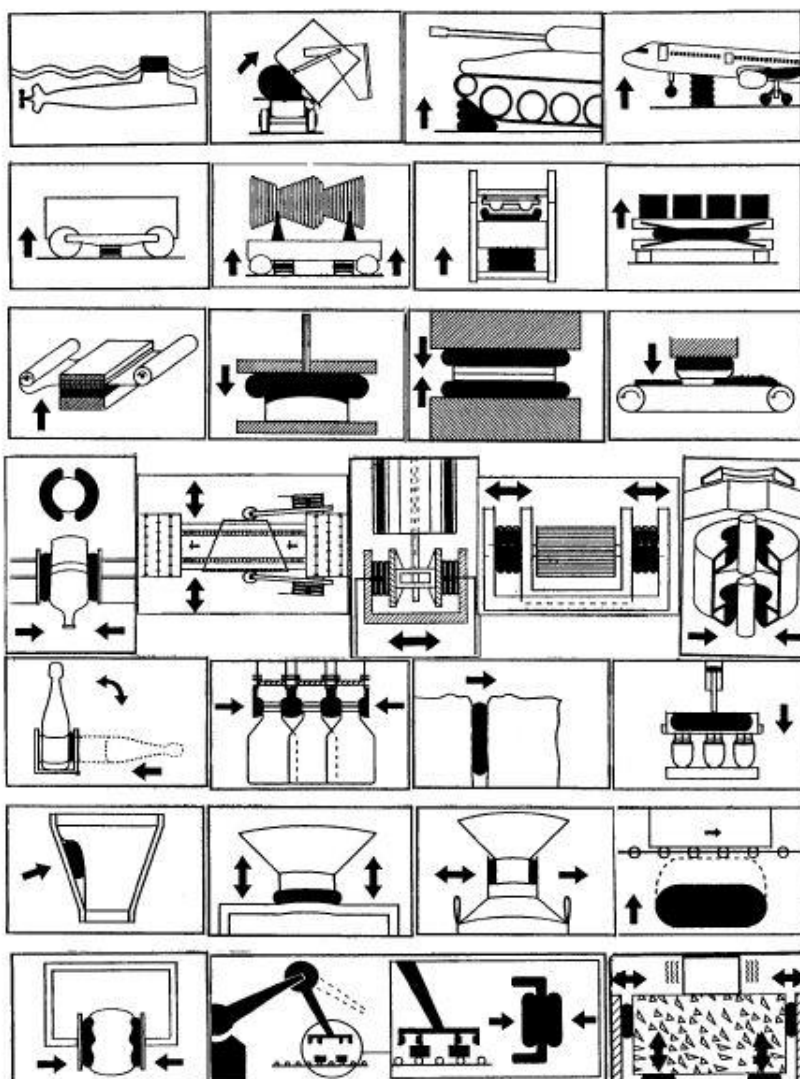


Рис 2.1. Приклади м'яких еластичних рушіїв

Подібні конструкції використовуються для виконання механічної роботи по перетворенню енергії стиснутого робочого середовища в механічну енергію переміщення. Таким чином до еластичних механізмів відносять в першу чергу м'які силові елементи, наприклад підйомники або домкрати [2].

2.2. Теплиця як замкнена енерготехнічна система.

Згідно визначеної вище концепції зеленого переходу, виробництво сільськогосподарської продукції також буде потребувати зниження традиційних енергетичних затрат [3]. Шляхами такого зниження є використання відновлюваних джерел енергії та зниження рівнів споживання енергії за рахунок технологій. Поєднуючи використання «чистих» джерелам енергії та енергоефективності можна створити малозатратну з точки зору споживання систему (Рис 2.2) [7].



Рис 2.2. Відновлювані джерела

Зокрема, для відновлюваних джерел енергії господарства можуть встановити:

- сонячні панелі або вітроелектростанції, щоб генерувати власну електроенергію;
- теплові насоси або твердопаливні котли – для опалення;
- геліоколектори – для нагріву води.

«Використовуючи відновлювані джерела енергії, господарства можуть повністю забезпечити свої потреби в електроенергії, тепловій енергії та гарячій воді. Це надійне енергозабезпечення, незалежність від енергопостачальників [3].

На рис 2.3 наведена умовна схема енергетичного забезпечення теплиці.

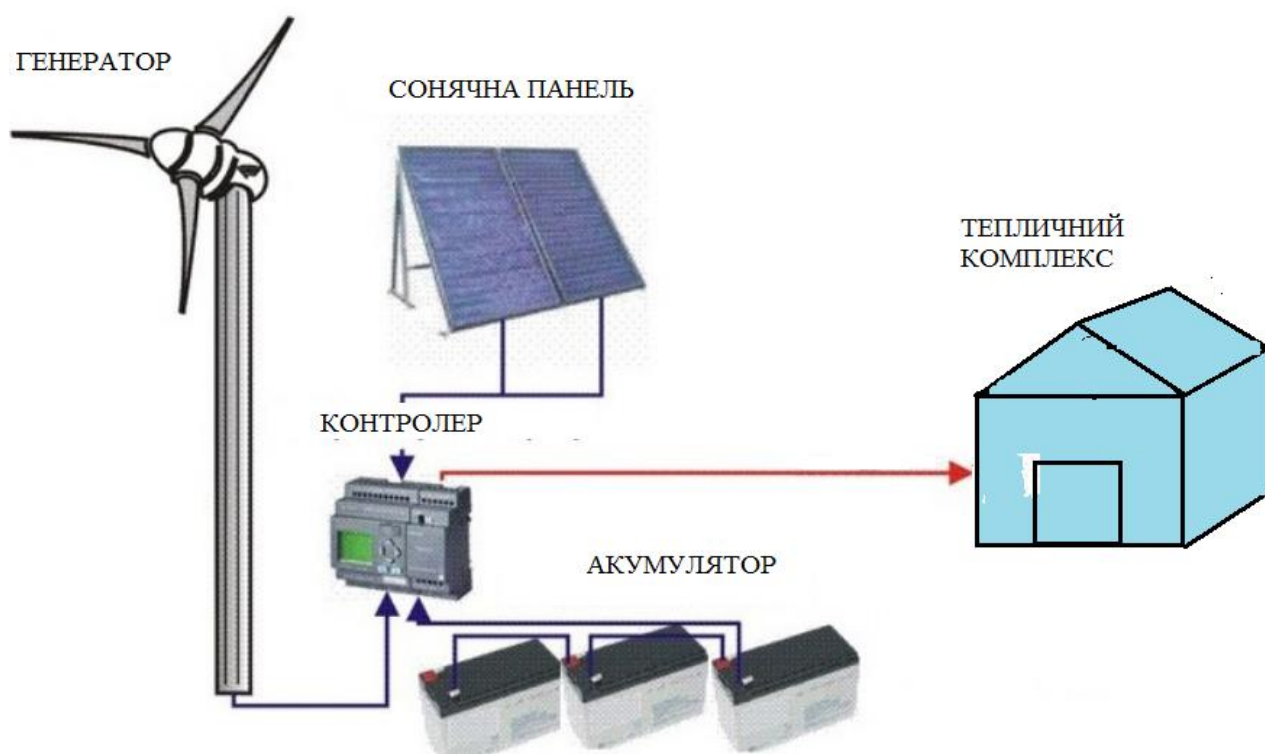


Рис 2.3. Схема енергетичного забезпечення теплиці

Основними відновлюваними джерелами енергії для більшості регіонів України є вітряні електростанції та сонячні батареї. Такі пристрої на сьогоднішній день досить розвинені, доступні з точки зору ціни та установки. Поєднання використання як вітрової так і сонячної енергії дозволить знівелювати як хмарні дні, так і час з відсутністю вітру [10].

Для стабільної роботи системи окрім відновлюваних джерел енергії необхідною є система її накопичення. Самі джерела в більшості кліматичних зон України є нестабільними, тому система накопичення дозволить запасати енергію під час різних погодних умов та різного споживання енергії тепличним комплексом [10].

В якості накопичувача можуть бути використані як звичайні акумулятори типу автомобільних, так і більш сучасні системи (Рис2.4).



Рис 2.4. Сучасні накопичувачі енергії

На сучасному ринку доступна велика кількість різноманітних накопичувачів, які мають ємність від «побутової» - від декількох кВт/год до десятків МВт/год. Установлення таких накопичувачів не має ніякої технічної складності.

Другою важливою частиною зеленого переходу разом з використанням джерел відновлюваної енергії є застосування технологій, які можуть використовувати низькопотенційну енергію таких джерел. На Рис 2.5 представлена схема, яка показує як джерела, так і споживачі енергії на прикладі теплиці.

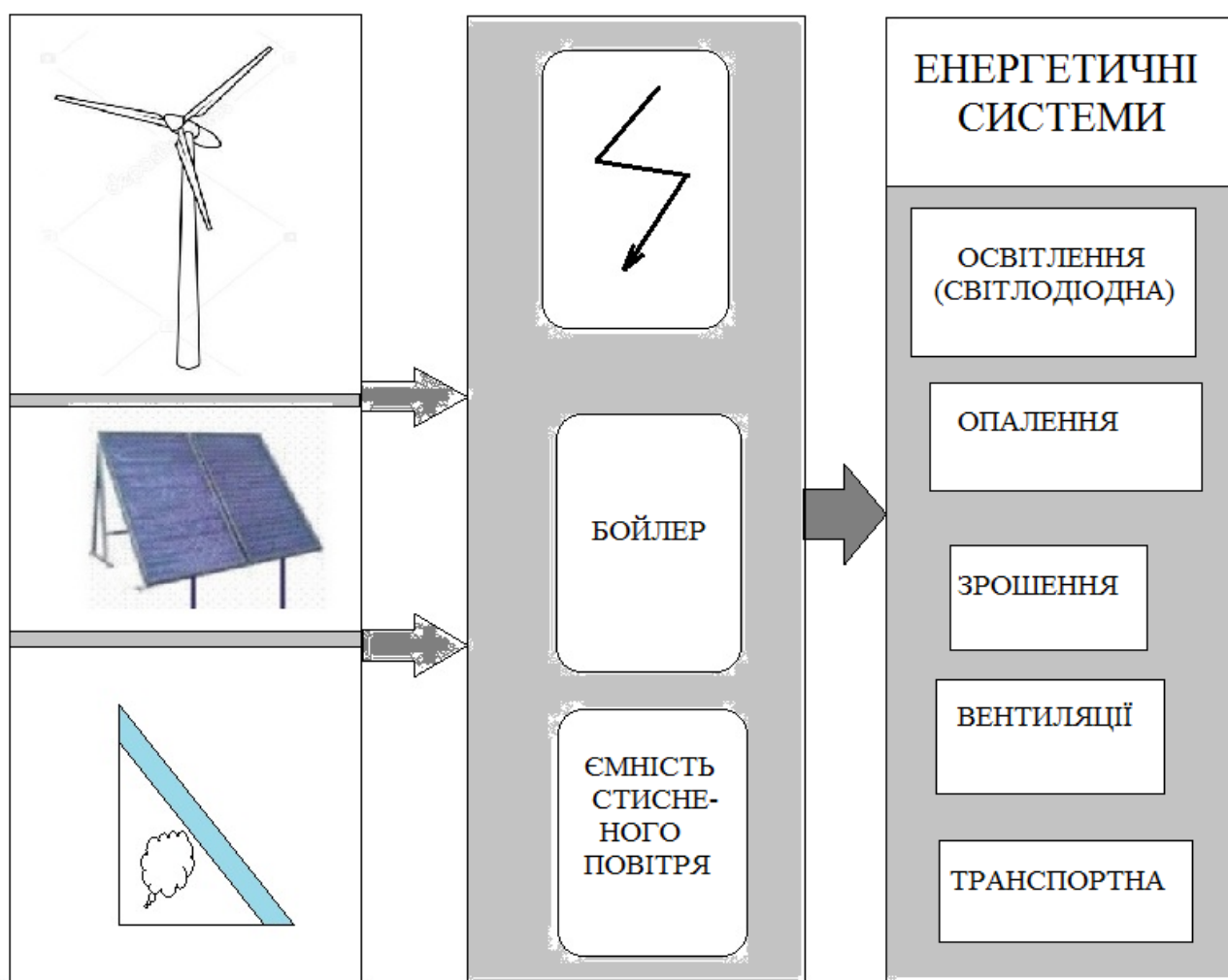


Рис 2.5. Джерела енергії та системи її споживання

До відновлюваних джерел енергії для замкненої системи – теплиці на даній схемі відноситься вітроелектростанція і сонячні панелі, які можуть накопичувати енергію для використання її в несприятливі періоди (вночі, взимку), сонячний колектор, який дозволяє мати в бойлері запас підігрітої води.

Важливим накопичувачем в даній системі є ресивери стиснутого повітря. Використання повітря в теплиці можливе як для систем вентиляції, так і можливо для транспортної системи на основі пневматичного рушія з еластичною оболонкою.

РОЗДІЛ III

ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ І ПАРАМЕТРІВ ПНЕВМАТИЧНОГО РУШІЯ

В основі транспортної системи з низьким споживанням енергії ми розглядаємо пневматичні рушії з еластичною оболонкою. Такі рушії можуть бути застосовані як для горизонтального, так і для вертикального переміщення вантажів або виконання супутніх робіт [3]. Типова конструкція пневматичного рушія наведена на малюнку Рис 3.1.

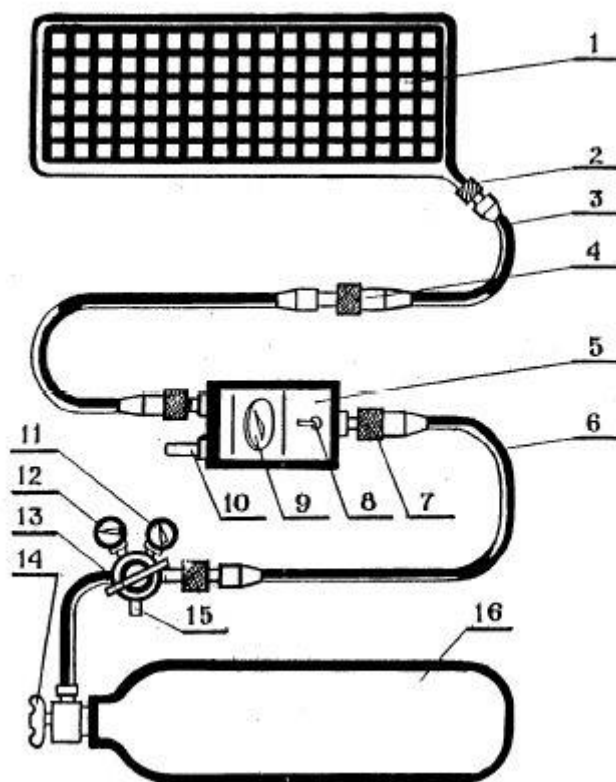


Рис 3.1. Схема механізму еластичного рушія

Такий механізм включає в себе надувну еластичну подушку 1, яка виробляється з армованого гумовою матеріалу. Поверхня подушки може бути ребристою для збільшення поверхневого зчеплення. Окрім різноманітних роз'ємів

та з'єднувальних рукавів в конструкції передбачена ємність стиснутого повітря 16 та пульт керування 10.

Окрім форми подушки відомі рушії у формі циліндру, тору, панелі, сфери, поєднання різних складних форм. Як приклад на Рис 3.2 представлена можлива конструкція підйомника з балонним горизонтальним переміщенням.

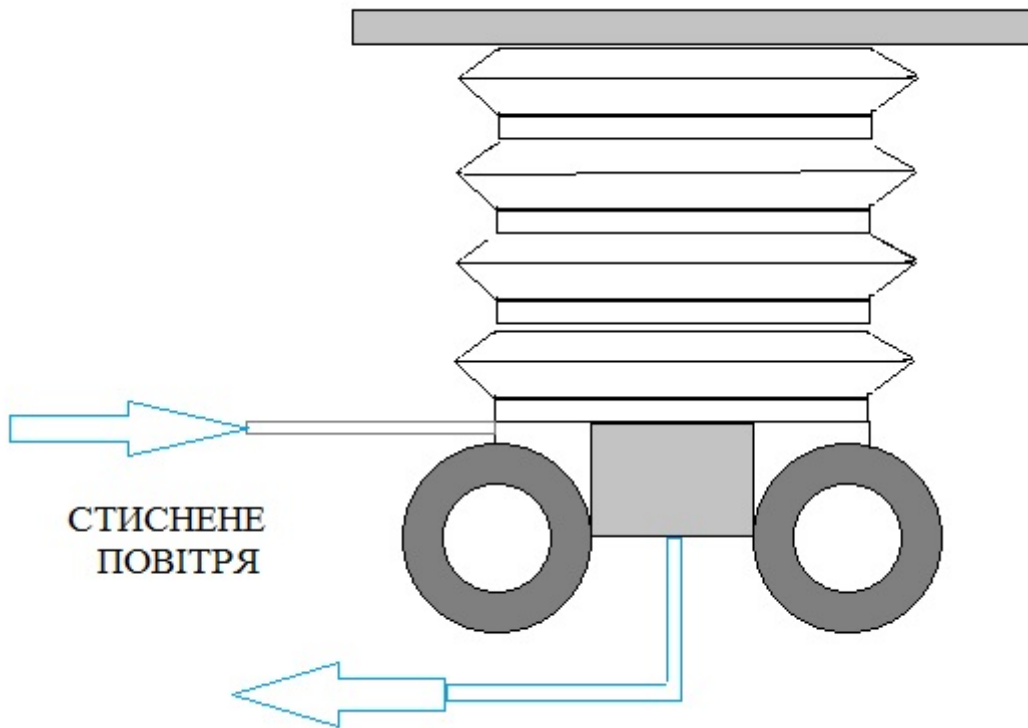


Рис 3.2. Еластичний механізм підйомника.

В запропонованій (Рис 2.5) енергетично-виробничій системі промислової теплиці всі елементи повинні працювати під управлінням складної програмної системи, яка наближена до штучного інтелекту. Запропоновані відновлювані джерела енергії під зовнішніми впливами працюють нестабільно, тому важливу роль відіграють накопичувачі, які певним чином забезпечують роботу систем теплиці безперервно [5].

Накопичувачі дозволяють зберігати енергію при «надлишковому» виробництві, та використовувати її в моменти нестачі її виробництва.

Окрім «розумного» управління виробничі системи повинні бути малозатратними з точки зору споживання енергії. До таких можна віднести використання економним світлодіодів в освітленні, точних ефективних систем опалювання та вентиляції, малозатратної транспортної системи.

Саме пневматичні еластичні рушії, розроблені з використанням сучасних матеріалів е потребують для своєї роботи пікових навантажень, як потужні електродвигуни.

Окрім транспортних функції дані механізми можуть виконувати виробничі технічні завдання (внесення добрив, обробка, посадка та ін.)

ВИСНОВКИ

1.Тенденції розвитку сучасної промисловості та технологій потребують зниження енергетичних затрат, ефективного використання енергії, заощадливого споживання ресурсів. Ці вимоги втілені в концепції «зеленого» енергетичного переходу, який передбачає поступове зменшення частки вуглеводнів у виробництві енергії та подальшу повну декарбонізацію економіки, використання відновлюваних джерел енергії.

2.Такі тенденції і вимоги є актуальними в сільському господарстві. Прикладом складної енергоспоживаючої системи є промислова теплиця, яка потребує при виробництві великої кількості тепла та освітлення.

3.На прикладі теплиці розглянута побудова ситеми з малим споживанням енергії, яка використовує відновлювальні джерела енергії, накопичувачі енергії та молозатратні технології виробництва, що дозволяє зменшити до мінімуму використання зовнішніх джерел енергії та вписується в напрямки декарбонізації виробництва.

4.Використання накопичувачів енергії дозволить не використовувати зовнішні джерела у несприятливих для її виробництва (погані погодні умови) дні, маючи певні запаси енергоносіїв в системі.

5.Як приклад низькоенергетичної технології розглянуто використання сучасних пневматичних рушіїв у якості транспортної системи теплиці, що значно знижує пікові споживання енергії за рахунок в програшу часу виконання роботи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Статистична інформація. Сільське господарство. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: <http://www.vn.ukrstat.gov.ua/index.php/statistical-information/228/2013--1995-2010.html>
2. Шихирин В.Н., Ионова В.Ф., Шальнев О.В., Котляренко В.И. Эластичные механизмы и конструкции. Монография. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2006. – 286 с.
3. Міністерство енергетики та захисту довкілля: «Концепція зеленого енергетичного переходу України до 2050р.», Київ, 2017р.
4. Семенов В.Г. Компьютерное моделирование при исследовании системы управления микроклиматом теплицы / Семенов В.Г., Алейникова Е.А. // Современные наукоемкие технологии. – 2007. – С. 75-77.
5. Мартыненко И.И. Автоматика и автоматизация производственных процессов / Мартыненко И.И., Головинский Б.Л., Проценко Р.Д., Резниченко Т.Ф. // М.: Агропромиздат - 2005. - 335 с.
6. Кэмп П. Компьютерное управление микроклиматом в теплицах / Кэмп П, Тиммерман Г. // Центр инноваций и практического обучения в Эдде - 2007. – 193с.
7. Технологічні процеси галузей промисловості: Навч. посібник / Д.М. Колотило, А.Т. Соколовський, С.В. Гарбуз; За наук. ред. Д.М. Колотила, А.Т.Соколовського. — К.: КНЕУ, 2003. — 380 с.
8. Емельянова Н.З. Основы построения автоматизированных информационных систем: Учебное пособие/ Н.З. Емельянова, Т.Л. Партыка, И.И. Попов.- М.: Форум: ИНФРА-М, 2005.- 416 с.
9. Инфосфера: Информационные структуры, системы и процессы в науке и обществе / Арский Ю.М., Гиляревский Р.С., Туров И.С., Чёрный А.И.– М.: ВИНТИ, 1996.– 489 с.

10. Попов И.И. Автоматизированные информационные системы (по областям применения): Учебн. пособ. / Под общей редакцией К.И. Курбакова.- М.: Изд-во РЭА, 1999.- 103 с.

11. Анизотропная токопроводящая резина «зебра». MVS.BY. Microvideosystems co.Ltd, 2004.

12. Артоболевский И. И. Механизмы в современной технике: В 7 т. –М.: Наука, 1981.

13. Белицин М.Н. Текстильное материаловедение: Учеб. пособие. – М.:Изд-во ВЗМИ, 1983. – 82 с.

14. Берд У. У. Стеклоткань, покрытая тефлоном, - уникальный новый материал для тканевых сооружений. // Пневматические строительные конструкции /Под ред. В.В. Ермолова. – М.: Стройиздат, 1983.-С.239-261.

15. Богуславский Л.И., Винников А.В. Органические полупроводники и биополимеры. Электропроводность и физико-химические свойства.- М.: Наука, 1968. – 180 с.

16. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике. – М.: Наука, 1980 – 976 с.

17. Бубнер Э. Материалы и конструктивные формы пневматических сооружений и их применение в ФРГ // Пневматические строительные конструкции / Под ред. В. В. Ермолова. – М.: Стройиздат, 1983 – С. 83 – 112.

18. Васильев В., Барынин В., Бунаков В., Марцыновский В., Резина.Композиты – материалы XXI века //Химия и рынок. – 2000. – №1.– С.70–74.

19. Полуэктов, Р.А. Модели продукционного процесса ельскохозяйственных культур / Р.А. Полуэктов, Э.И. Смоляр, В.В. Терлеев, А.Г. Топаж. – СПб.: Изд-во С-Петербур. ун-та, 2006. – 396 с.

20. Rehman, A. A review of wireless sensors and networks' applications in agriculture / A. Rehman, A.Z. Abbasi, N. Islam, Z.A. Shaikh // Computer Standards & Interfaces. – Amsterdam, 2014. – № 36 (2). – P. 263–270.

21. Laktionov, I. Concept of low cost computerized measuring system for microclimate parameters of greenhouses // I. Laktionov, O. Vovna, A. Zori // Bulgarian Journal of Agricultural Science. – Sofia, 2017. – Vol. 23 (No 4). – P. 668 – 673.

22. Laktionov, I.S. Planning of remote experimental research on effects of greenhouse microclimate parameters on vegetable crop-producing // I.S. Laktionov, O.V. Vovna, A.A. Zori // International Journal On Smart Sensing and Intelligent Systems. – Palmerston North, 2017. – Vol. 10 (4). – P. 845 – 862.

23. Li, Zh. Design of greenhouse environment remote monitoring system based on android platform / Zh. Li, C. Li, Yu. Jia, Zh. Xiao // Chemical engineering transactions. – Milan, 2015. – № 46. – P. 739–744.

24. Shirsath, D.O. IoT based smart greenhouse automation using Arduino / D.O. Shirsath, P. Kamble, R. Mane, A. Kolap, R.S. More // International Journal of Innovative Research in Computer Science & Technology. – Lucknow, 2017. – № 5 (2). – P. 234–238.

25. Chaudhary, D.D. Application of wireless sensor networks for greenhouse parameter control in precision agriculture / D.D. Chaudhary, S.P. Nayse, L.M. Waghmare // Journal of Wireless & Mobile Networks. – Dubai, 2011. – № 3 (1). – P. 140–149.

26. Веников, В.А. Теория подобия и моделирования (применительно к задачам электротехники): учеб. пособ. для вузов / В.А. Веников. – Изд. 2-е, доп. и перераб. – М.: Высшая школа, 1976. – 479 с.