

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерно-технологічний

Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти
магістр

на тему: «Проект установки для примусового конвективного сушіння зерна»

КРМ 133ГМмз_21.04.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти
за освітньо-професійною програмою
«Машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва»
спеціальності 133 «Галузеве
машинобудування»
ступеня вищої освіти магістр
групи 133ГМмз_21
ЄВТІН Олександр
Керівник: докт. техн. наук, доцент
ВЕТОХІН Володимир

Полтава – 2023 року

ВСТУП

Відсутність відповідних і стійких технологій сушіння зерна є серйозною проблемою для фермерів, які живуть у жарких і вологих умовах субтропічного клімату. Вартість складного обладнання для сушіння зерна та відсутність стійкої, екологічно чистої теплової або електричної енергії для швидкого сушіння зерна вказується як головний фактор, що підтримує післязбиральну кількість та втрату якості, зафіксовану в більшості країн, що розвиваються. Зараження основного зерна токсигенними пліснявами та іншими патогенами також відбувається в результаті тривалого витримування після збору врожаю в теплому та вологому кліматі.

За підрахунками, одна третина продуктів харчування в світі втрачається на етапі між фермою та кінцевим споживачем, причому обробка та управління після збору врожаю є критичним ризиком і контрольною причиною втрат. Наприклад, на крайній південній території України може витрачатися від 14 до 25% виробленого зерна, а щорічні втрати зерна після збору врожаю у прямому грошовому вираженні оцінюються приблизно в 4 мільярди доларів за світовою статистикою [1, 2]. Окрім величезних втрат, які призводять до зубожіння фермерів з низькими доходами, погано висушене зерно з високим вмістом вологи є чудовим середовищем для росту та розповсюдження цвілі та інших патогенів у сприятливому теплому та вологому кліматі.

Кількісно оцінити вплив споживання зараженого зерна на людей важко через одночасні сприяючі фактори, особливо в країнах, що розвиваються, де погане ведення обліку та неефективна реалізація харчової політики ускладнює чітке визначення хронічних захворювань, при тривалому споживанні низьких доз ушкоджених зерен. Таким чином, забруднення зерна стало тихим вбивцею. Однак у країнах, де в зерні споживали високі дози афлатоксину, токсину цвілі, були зареєстровані гострі розлади, що призводять до смерті [3].

Офіційні документи [4] припускають, що споживання ряду мікотоксинів у зерні часто виступає індикатором канцерогенезу, тератогенезу та мутагенезу. Цей тісний зв'язок між захворюваністю, що спричиняється забруднювачами харчових

продуктів, і місцями із субтропічними кліматичними умовами, а також велика залежність від зерна злаків як основного продукту вимагає більшої уваги до проблеми належного зберігання зерна після збору врожаю.

Втрати зерна після збору врожаю в жаркому та вологому кліматі, який часто класифікують як субтропічний, є наслідком субтропічної екології, в якій екологічні біотичні фактори оптимізують розкішне поєднання умов росту в мезофільному середовищі для максимального поширення. У широкому огляді 2018 року [5] було показано, що для вирішення проблеми післязбиральних втрат зерна та забруднення мікотоксинами у вологому кліматі потрібен підхід, зосереджений на зниженні високої вологості навколишнього середовища. Цей підхід називають «сухим ланцюгом», і вологість визначена як проблема, тоді як швидке сушіння після збирання зерна з подальшим зберіганням у вологостійких контейнерах було запропоновано як рішення. Таким чином, фраза «сушити і зберігати сухим» підсумовує основну тему боротьби з втратами після збору врожаю в країнах, що розвиваються, де зберігання при низькій температурі є дорогим і потребує енергії.

З іншого боку, щоб досягти швидкого видалення вологи із зерна в умовах високої вологості, потрібні деякі інженерні та біотичні втручання. Ці втручання спрямовані на зміну умов, які сприяють швидкому псуванню біологічних продуктів, шляхом підвищення швидкості передачі вологи. Для досягнення мети видалення вологи вартість зменшення вмісту вологи є основною проблемою, і втручання має бути екологічно та соціально-економічно стійким. Іншими словами, технологія повинна враховувати навколишнє середовище та сільськогосподарську практику регіону. Вирощування кукурудзи в регіонах з помірним кліматом, наприклад, відбувається протягом одного сезону на рік із збиранням урожаю на початку осені, коли температура навколишнього середовища низька, і, отже, допомагає пригнічувати проростання та зменшувати мезофільний біотичний ріст.

Низька температура навколишнього середовища також сприяє тривалому зберігання зерен без істотних біохімічних змін. Більшість робіт із посадки та збору врожаю в цих регіонах автоматизовано за допомогою техніки, спрямованої на зменшення людських зусиль і збільшення пропускної здатності. Така

сільськогосподарська техніка також виконує інші завдання після збору врожаю, такі як лушення та очищення, звідки і походить термін «комбайн». Зібрані зерна (очищені комбайнами) потім сушать високопродуктивними електросушарками, що можливо завдяки хорошому доступу до електроенергії. Тому в більшості технологічно розвинутих країн у регіонах з помірним кліматом використання швидкісних сушарок безперервного потоку є стандартною практикою, а зерно сушать при температурах вище 40°C залежно від типу системи сушіння [5, 6].

З іншого боку, у субтропічній південній частині України зазвичай буває два основних сезони дощів. Немає сильних морозів, які могли б зашкодити вирощуванню, і вирощування кукурудзи практикується двічі на рік. На територіях, розташованих у безпосередній близькості до водойм, які дозволяють зрошувати, кукурудзу можна вирощувати протягом року, збираючи врожай і вирощуючи її паралельно. Основний період збору врожаю припадає на період високої вологості навколишнього середовища і теплої мезофільної температури. У зв'язку з низьким рівнем доходів населення та відсутністю широкомасштабної механізації посів і збирання врожаю зазвичай проводяться вручну. Зібрані колосові кукурудзи часто спочатку сушать до відповідного вмісту води в зернах для легкого ручного лушення; після чого очищене зерно приступають до сушіння до вологості тривалого зберігання нижче 15 % (суха основа, db). У південних регіонах сушка на сонці з природною вентиляцією залишається найпоширенішим методом сушіння колосся при температурі навколишнього середовища або теплиці від 25 °C до 50 °C.

Ці сільськогосподарські, екологічні та технологічні відмінності призводять до потреби в системах обробки зерна, які технологічно відрізняються і для яких конкретні інженерні характеристики повинні розумітися як «точне розуміння процесу, який потрібно контролювати, і є важливим для розробки системи управління» [7].

Окрім технічної здійсненності, вартість є основним фактором, який бере участь у впровадженні сільськогосподарських технологій серед дрібних фермерів з низьким доходом, а недорогі, менш складні технології, швидше за все, будуть прийняті в країнах, що розвиваються. Відкладене збирання врожаю є одним із

методів, який фермери використовують у деяких країнах, що розвиваються, як засіб сушіння зерна, наприклад кукурудзи. Однак було показано, що ця практика сприяє втратам зерна через пошкодження птахами, дикими тваринами та забруднення токсинами цвілі [8]. Крім того, хоча вміст вологи знизився протягом 4 тижнів після збору врожаю, вміст вологи в більшості випадків ніколи не досягав безпечного рівня нижче або рівного 15%. Сушіння на відкритому сонці залишається іншим основним методом сушіння зерна в кількох країнах, що розвиваються.

З цієї причини агенції з розвитку та дослідники рекомендували використання відновлюваних джерел енергії [9 – 11]. Застосування систем вітрової енергії для виконання різноманітних сільськогосподарських завдань, таких як перекачування води та помел зерна, було дуже поширеним до сучасного виробництва електроенергії. Між 1850 і 1970 роками в Сполучених Штатах для перекачування води використовувалося понад 6 мільйонів невеликих вітрових машин. Зменшення використання вітрових пристроїв для сільськогосподарських цілей, як правило, пов'язане з розвитком електроенергетики та збільшенням застосування вітряних турбін для виробництва електроенергії, від яких більшість інших застосувань отримують свою енергію.

Відновлювані джерела енергії здебільшого безкоштовні та доступні у великій кількості у формах, які можна використати, а відновлювані джерела енергії, такі як вітер і сонце, забезпечують засоби для недорогого використання енергії. Вітрові енергетичні системи є чистими джерелами енергії, подібно до сонячної, але можуть працювати в будь-який час доби, поки дме вітер. Потенціал застосування вітру для невеликих механічних систем серед дрібних фермерів відображає твердження міністерства енергетики України, що вітрова енергетика може повернути до 4 мільярдів доларів інвестицій у сільське господарство України та забезпечити понад 10 000 нових робочих місць з 0,5 мільярда доларів нового доходу для дрібних фермерів і землевласників до 2025 року [12]. Було також зазначено, що концепція вітроенергетичних кооперативів зростає [13], створюючи можливість для дрібних фермерів скористатися перевагами вітроенергетичних рішень. У країнах, що розвиваються, де електроенергія з мережі є ненадійною, а вартість особистого

виробництва електроенергії для цілей опалення та сушіння відносно висока, стає необхідним уважний погляд на потенціал безкоштовної та відновлюваної енергії, як-от сонця та вітру.

Повідомляється про застосування нових технологій, які покращують або посилюють сушку, але вони ще не широко впроваджені. Деякі з поширених типів інновацій включають використання сонячних осушувачів з примусовою конвекцією або без неї. Коли використовується примусова конвекція, для живлення вентиляторів широко використовуються фотоелектричні модулі, що збільшує вартість технології. Якщо примусова конвекція не використовується, швидкість видалення вологи зсередини сушильної камери знижується, і часто відбувається конденсація насиченого вологою повітря на вже висушеному зерні, що призводить до скорочення тривалості сушіння [14]. Тривалий час сушіння зерна з високою вологістю в мезофільних умовах призводить до підвищеного ризику розвитку цвілі та забруднення зерна токсигенними метаболітами цвілі.

У цьому документі розглядається потенціал для імітації швидкого сушіння зерна в країнах, що розвиваються, за допомогою легкої для створення системи використання енергії вітру, яка ефективна для швидкого сушіння зерна. Використання енергії вітру для покращення сушіння зерна в країнах, що розвиваються, є спробою вирішити особливу комбінацію факторів, пов'язаних із невід'ємними втратами після збору врожаю.

Ці фактори включають екологічні проблеми сушіння в жарких і вологих умовах [15], які впливають на швидкість сушіння та заохочують ріст мікроорганізмів, що псують харчові матеріали, такі як зерно. Невеликий, недорогий пристрій для використання енергії вітру, який можна побудувати або прийняти на місцевому рівні, надасть дрібним фермерам, які не можуть дозволити собі складну та дорогую технологію сушіння, засіб для швидкого сушіння своєї продукції.

Використання енергії вітру на додаток до зниження експлуатаційних витрат зменшить залежність фермерів від енергії горіння з пов'язаними викидами вуглецю. Таким чином, це як економічно, так і екологічно більш стійкий засіб для зменшення витрат після збору врожаю.

РОЗДІЛ I. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Постановка проблеми дослідження

Мета для проектування та тестування системи використання енергії вітру для примусової конвективної сушки зерна в умовах низької швидкості вітру, теплого та вологого клімату впливає з наступного.

Існує постійна проблема щодо здатності дрібних фермерів швидко сушити визрілу зібрану колосову кукурудзу в країнах, що розвиваються, крайній південь України, що призводить до приблизно 25% фізичних та якісних втрат щорічно. Таким чином, існує потреба в засобах, за допомогою яких качанну кукурудзу можна було б швидко висушити від вмісту вологи між 23% і 30% під час збирання врожаю до рівня нижче 13% протягом двох днів, щоб запобігти розвитку цвілі.

Проблеми сушіння в досліджуваній зоні виникають в основному через високу відносну вологість навколишнього середовища (70% до 85%) при мезофільних температурах (25°C до 35°C) протягом місяців збору врожаю в липні та серпні, що вимагає покращення швидкості видалення вологи за допомогою примусової конвективної сушки.

Дрібним фермерам у країнах, що розвиваються, не вистачає можливості прийняти чи дозволити собі складне сушильне обладнання для високотемпературного ($> 40^{\circ}\text{C}$) безперервного сушіння з високою продуктивністю. Найближчою альтернативою є використання спалювання біомаси з супутніми наслідками. Щоб підвищити здатність дрібних фермерів досягати швидкого сушіння зерна, необхідна розробка нових, невеликих і стійких застосувань вітрової та сонячної енергії.

Профіль вітроенергетики в регіоні потрапляє в область «низької швидкості вітру» від 2,5 м/с до 6,5 м/с. Таким чином, потрібні деякі випробування, щоб підтвердити потенціал вітрових систем для такого застосування, як механічне сушіння. Інші міркування включають необхідність визначення життєздатності повністю механічної вітрової турбіни для застосування примусової конвекції в регіонах з високою відотною вологістю повітря, що використовується для сушіння.

Було виявлено потенційні підводні камені або перешкоди для життєздатності невеликих вітрових систем для механічного сушіння. Було відзначено можливості низької доступності – термін, який використовується для опису кількості потенційних простоїв. Незважаючи на те, що вітряні турбіни використовувалися для перекачування води, технічна різниця між перекачуванням повітря та води також була відзначена, і вона стала основою для випробування прототипу, а також рекомендацій, які надасть представлене дослідження.

1.2. Мета і задачі дослідження

Основна мета цього дослідження полягає в дослідженні потенціалу системи використання енергії вітру для механічного сушіння колосся в теплих і вологих країнах, що розвиваються, з низькою швидкістю вітру.

Конкретними цілями для досягнення загальної мети є:

- розглянути, розробити та випробувати пристрій для використання енергії вітру, який підходить для потреб дрібних фермерів у примусовій конвективній сушці зерна в регіонах із слабкою швидкістю вітру;
- визначити вплив типової вимушеної конвекції за допомогою енергії вітру на швидкість сушіння зерна в теплому та вологому кліматі за допомогою моделювання випробувань сушіння в системах контролюваного середовища.

1.3. Гіпотези, прийняті у дослідженні

Базуючись на фундаментальних знаннях про роль примусової конвекції у видаленні вологи, нульовими гіпотезами для цього проекту відповідно до двох основних цілей дослідження є:

Немає суттєвої різниці в середньому потоці повітря для природної та вимушеної конвекції, що працює на вітрі, з використанням механічної системи використання енергії вітру.

Немає суттєвої різниці в чистій швидкості сушіння або вмісті вологи в зерні за цільового часу сушіння для природного та вітрового примусового конвективного сушіння в теплому та вологому кліматі.

1.4. Висновки за розділом.

Відсутність енергоефективних технологій сушіння зерна є актуальною проблемою для фермерів, які ведуть господарство у теплих і вологих умовах субтропічного клімату. Зараження зібраного врожаю зерна токсигенними пліснявами та іншими патогенами може відбуватися в результаті тривалого зберігання після збору врожаю у теплому та вологому оточуючому середовищі.

Для досягнення швидкого видалення вологи із зерна за умов високої вологості, потрібні певні інженерні та біотичні втручання. Ці втручання спрямовані на зміну умов, які сприяють швидкому псуванню біологічних продуктів, шляхом підвищення швидкості передачі вологи зерном у навколишнє середовище.

Дослідники рекомендували використання відновлюваних джерел енергії, вітрові енергетичні системи є чистими джерелами енергії, подібно до сонячної, але можуть працювати в будь-який час доби, поки наявний вітер. Потенціал застосування вітру для невеликих механічних систем серед дрібних фермерів є перспективним напрямком підвищення надійності сільськогосподарської продукції.

Існує постійна проблема щодо здатності дрібних фермерів швидко сушити визрілу зібрану колосову кукурудзу в країнах, що розвиваються. Проблеми сушіння в досліджуваній субтропічній зоні виникають в основному через високу відносну вологість навколишнього середовища.

Дрібним фермерам у країнах, що розвиваються, не вистачає можливості прийняти чи дозволити собі складне сушильне обладнання для високотемпературного безперервного сушіння зерна з високою продуктивністю.

Необхідна розробка нових, невеликих і стійких пристроїв на основі вітрової та сонячної енергії. Потрібне проведення експериментальних досліджень, щоб підтвердити потенціал вітрових систем для механічного сушіння зерна.

Дослідження розглядає необхідність визначення життєздатності повністю механізованої вітрової турбіни для застосування примусової конвекції для сушіння зерна після збору врожаю в регіонах з високою відотною вологістю повітря.

РОЗДІЛ II. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Втрати після збирання врожаю у країнах, що розвиваються

Відсутність доступу до якісних систем сушіння зерна в країнах, що розвиваються, вказується у [17, 18] як головний фактор, що впливає на регулярну втрату зерна та цінності зерна в теплому та вологому кліматі. Збільшення швидкості біохімічних реакцій при мезофільних температурах призводить до супутнього росту та забруднення зерна канцерогенними, тератогенними та мутагенними метаболітами цвілі, такими як афлатоксин [19] у субтропічному та близькому до нього кліматі. Неякісна сушка зерна призводить до втрати якості та руйнує торговельний потенціал. У деяких випадках забруднення такого зерна токсичними метаболітами призводить до епідемій, які можуть призвести до смерті.

Дослідники, які досліджували вплив забруднення афлатоксинами в деяких регіонах [20], заявили, що споживання 20 – 120 мікрограмів афлатоксину, поширеного мікотоксину, який зустрічається в цьому районі, на кілограм маси тіла людини протягом періоду від 1 до 3 тижні асоціюється з гострим афлатоксикозом, що призвело до смерті в регіоні. У деяких країнах, ці епідемії стали досить поширеними, що викликає підвищене занепокоєння щодо якості обробки зерна після збору врожаю в регіоні. Епідеміологічні дані зі звіту за 2017 рік [21] також показують, що в усьому світі 83% зареєстрованих випадків раку печінки відбуваються в країнах, що розвиваються, з визнаними факторами ризику, включаючи вплив харчових афлатоксинів [22, 23].

Як правило, погіршення якості зерна є наслідком неправильної обробки, наприклад сушіння на підлозі та тривалого впливу мікрофлори, що псує механічно пошкоджене зерно, а також шкідників і забруднень. Втрата цінності зерна в теплих і вологих країнах, що розвиваються, також сильно пов'язана з екологічною схильністю, коли збирання врожаю відбувається в сезон інтенсивних опадів і високих температур. Ці умови вимагають радикального і непасивного підходу для швидкого сушіння зерна, зібраного з високою (>17%) вологістю. Під час періоду високої температури навколишнього середовища (25°C і 35°C) і відносної вологості

(75 – 90%) неможливість швидкого висихання є причиною втрат тропічного врожаю після збирання.

Практика, що передбачає швидке зниження вмісту вологи в зерні нижче 15% протягом 48 годин [24 – 27], необхідна в тропічних кліматичних умовах як засіб запобігання псуванню зерна, що є оптимальним за мезофільних температур. Наприклад, *Aspergillus flavus*, сумно відомий тим, що виробляє афлатоксини, росте в діапазоні температур від 20 °C до 38 °C з оптимальним виробленням токсину при 27 °C [29, 30].

Під час основних місяців збору врожаю кукурудзи з липня по серпень температура навколишнього середовища в поясі гвінейської савани в Африці на південь від Сахари, як приклад, коливається в діапазоні 25 – 28 °C, тоді як відносна вологість майже постійно перевищує 80 – 85 %. Це показує, що середній тропічний клімат багатий на поширення мікофлори, і тому псування та забруднення продуктів харчування з високим вмістом вологи є природним шляхом у такому кліматі.

Дослідники та зацікавлені сторони припустили, що потенційне рішення для задоволення потреб сушіння, характерних для країн, що розвиваються, вимагає економічної стійкості. Втручання з потенціалом для зменшення втрат після збирання врожаю мають бути в межах економічної досяжності фермерів з низькими доходами. Дорогі та складні рішення, ймовірно, вийдуть з економічних і технологічних можливостей дрібних фермерів.

Залучення місцевих жителів на рівні розширень до розробки технології також було рекомендовано як головний інгредієнт для впровадження технології [31 – 33]. У документі під назвою «Чому багатообіцяючі технології зазнають невдачі: знехтувана роль інновацій користувачів під час впровадження» автори рекомендували, щоб перспективні технології мали компонент, у якому користувачі сприяли б процесу розробки. Іншими словами, технології, які будуть життєздатними в країнах, що розвиваються, повинні бути не тільки прийнятними з економічної точки зору, але також включати інновації та внесок користувачів [35 – 36].

2.2. Огляд сільськогосподарських практик у пустельних місцевостях

Сільськогосподарська практика в країнах, що розвиваються, у малих господарствах часто-густо ручна. Більшість фермерів вирощують зернові культури на невеликих власних або орендованих землях (часто від 1 до 3 га). Кукурудза є широко культивованою злаковою культурою на півдні України, провідними виробниками генерується річний урожай від 11 до 13 мегатонн відповідно [37]. Дрібні фермери, які займаються вирощуванням кукурудзи на півдні України, зазвичай мають середню врожайність метричної тонни за сезон з гектара [38]. Зазвичай кукурудза зберігається менше 35 тижнів для споживання, тоді як від 35% до 60% продається протягом 3-8 тижнів після збору врожаю [39]. Фермери, які зберігали свою продукцію приблизно до 8 тижнів для продажу та не більше 17 тижнів для споживання, зазнали менших втрат і вимагали меншого використання захисних засобів, ніж фермери, які зберігали більше 35 тижнів для споживання та 23 тижні для продажу [40].

Зберігання зерна протягом тривалого часу є економічним рішенням, яке фермери приймають, щоб скористатися перевагами кращої ціни продажу після перенасичення, яке слідує за жнивими. Чим ближче до жнив продається продукція, тим менший прибуток через перенасичення і усвідомлення збитків, які виникнуть в результаті невміння правильно висушити зерно. Таким чином, системи швидкого видалення вологи допоможуть зменшити тягар псування під час зберігання та дозволять фермерам зберігати зерно до більш вигідних цінових сезонів. Крім того, що технологія зниження вологості зерна повинна бути доступною, для досягнення бажаної прибутковості вона повинна бути економічною в експлуатації.

Іншою спільною рисою ведення сільського господарства та практики післязбирального сушіння зерна в країнах, що розвиваються, є малий масштаб роботи. Опитування, наведені в [41], показують, що 44% чоловіків і 72% жінок-фермерів, наприклад, обробляють менше 1 гектара на домогосподарство, забезпечуючи 90% споживаних продуктів харчування, використовуючи приблизно 40,96% сільськогосподарських угідь [42]. Сільське господарство, як правило, ведеться на основі домашнього господарства та в невеликих кооперативних парках,

де п'ять-десять членів, а іноді й трохи більше, об'єднуються у сільське господарство один для одного по черзі, а член-бенефіціар забезпечує їжу, напої та закуски. Цю кооперативну систему іноді називають системами традиційних фермерських груп [39 – 41]. Відсутність автоматизації та механізації, як правило, сприяє продовженню дрібного сільського господарства з пов'язаними з ним проблемами.

Наприклад, практика сушіння кукурудзи в країнах, що розвиваються, загалом продиктована тим фактом, що збирання врожаю проводиться вручну та в більшості випадків із вмістом вологи вище 20%. Тому невеликі партії кукурудзи, зібраної вручну, потрібно спочатку висушити в качанах, щоб уможливити ручне лущення, перш ніж зберігати зерна в мішках як очищені зерна [42]. Кукурудза, що зберігається в качанах, зазвичай залишається в качанах протягом більшої частини терміну зберігання, поки вони не будуть готові до використання, що робить сушіння в качанах загальною рисою систем сушіння зерна в країнах, що розвиваються.

З огляду на існуючу практику в країнах, що розвиваються, критичною контрольною точкою для контролю псування таких продуктів, як кукурудза, є стадія безпосередньо після збору врожаю, коли кукурудза тримається в качанах і вимагає швидкого видалення вологи як для контролю псування, так і для подальшої обробки. Поки методи ведення сільського господарства не зміняться надзвичайно, і великомасштабне сільськогосподарське обладнання не стане поширеним серед фермерів, малі та середні технології після збирання врожаю продовжуватимуть краще служити фермерським господарствам. Більше фермерів також зможуть дозволити собі нові технології, якщо вартість буде низькою. Групове або кооперативне землеробство було визначено як засіб, за допомогою якого дрібні фермери можуть спільно оплачувати витрати на нові та середньомасштабні технології, такі як вітряна або сонячна сушарка, оскільки такі знаряддя чи обладнання, що використовують природну, майже нульову вартість, і відновлювані джерела енергії можуть використовуватися по черзі членами таких груп або навіть здані в оренду особам, які не є членами.

2.3. Боротьба з псуванням зерна в країнах, що розвиваються

Певні спроби пом'якшити вплив факторів (висока вологість, домінування ручних процесів у сільському господарстві та вартість), пов'язаних із втратою якості зерна, були зроблені дослідниками з усього світу. Розробка дослідниками з Міжнародного інституту тропічного сільського господарства біологічних методів контролю зараження зерна мікотоксинами є, мабуть, найбільш скоординованим зусиллям у боротьбі зі втратою якості зерна. Ці дослідники використовують засоби біологічного контролю, в яких токсигенні види вражають непатогенні та атоксигенні плісняви, створені в лабораторії для того, щоб випередити шкідливі організми за ресурси росту [42]. Біологічний підхід, такий як Aflasafe®, призводить до зменшення забруднення під час збору врожаю та, як повідомляється, значно впливає на стандарти безпеки зерна із забрудненням афлатоксинами на 80–99 відсотків, але це лише одна сторона медалі. Деякі дослідники стверджують, що показники впровадження знаходяться в межах 67 – 70 % і що фактичне зменшення забруднення на фермерських ділянках важко оцінити кількісно [43]. З іншого боку, повідомлялося про використання фізичних методів і бар'єрів для мікробіологічного росту під час зберігання, що підтверджено. Показано, що використання герметичного зберігання після сушіння з відновлюваними джерелами енергії як спосіб зниження витрат для фермерів зменшує втрати зерна після збору врожаю з 25% до 1% протягом 1 року зберігання в жаркому та вологому кліматі [44].

Поряд із зараженням зерна пліснявою, яке є основною причиною післязбиральних втрат зерна, біологічне псування є лише продовженням шкідливого процесу, який починається на фізико-хімічному рівні. Механічні пошкодження та біохімічні дії, викликані високою температурою, лежать в основі всіх видів псування зерна. Це пояснює роль охолодження та екології помірного клімату в зменшенні псування зерна в нетропічних регіонах. Таким чином, ефективним заходом для боротьби з втратами у субтропічних місцях має бути поєднання інженерних або фізичних підходів, які спрямовані на фундаментальні умови, які підтримують провідну причину фізичних та біохімічних пошкоджень.

Описуючи проблему псування зерна в теплому та вологому кліматі, [45] висловили думку, що «висока вологість є ворогом, а «сухий ланцюг» є рішенням». «Сухий ланцюг» – це техніка, яка використовує високу температуру для зниження відносної вологості як ефективний спосіб швидкого видалення вологи в регіонах з високою вологістю. У вологому кліматі вологість повітря часто близька до насичення. Таким чином, перезволоження висушеного зерна застоєм повітря при насиченні є очікуваною ознакою при сушінні в тропічному кліматі. Це явище посилюється поганою аерацією, що призводить до утворення гарячих точок і м'якої гнилі в системах зберігання зерна. Сухий ланцюг не підкреслив роль швидкості повітряного потоку у швидкому сушінні шляхом зменшення повторної конденсації та створення віртуального збільшення площі поверхні, оскільки більше повітря може взаємодіяти з поверхнею зерна, усуваючи припущення, що рівновага градієнта вологи швидко настає досягається між зерном і осушуючим повітрям у вологому кліматі. Очікується, що використання систем контролю середовища, які перерозподіляють температуру та відносну вологість за допомогою відповідних або відповідних умов повітряного потоку, запропонує додатковий і більш стійкий контроль якості зерна на рівні дрібних фермерів/переробників зерна. Технології, які скорочують час сушіння за рахунок швидкого видалення вологи, що міститься в повітрі, шляхом застосування примусової конвекції, як правило, обіцяють кращий контроль за зростанням цвілі, коли температура навколишнього середовища вище діапазону охолодження [45].

Деякі поточні практики, які сприяють стійкому зменшенню псування та забруднення зерна в тропічних країнах, що розвиваються, включають відхід від традиційних методів сушіння на сонці на голій землі. Дослідники [46, 47] рекомендували різні системи, включаючи використання брезенту темного кольору як поверхні для сушіння. Використання брезенту зменшує контакт зерна з ґрунтом, який є середовищем існування плісняви, сприяє легкому видаленню зерна під час дощів, а темні поверхні діють як неідеальні «чорні тіла», які посилюють перетворення променистої енергії в теплову. Таким чином, підвищена температура

поверхні сушильної поверхні допомагає знизити відносну вологість повітря, що сушиться, і сприяє кращому та швидшому висиханню.

Дослідник зазначив, що 85% фермерів, які сушать качани кукурудзи відразу після збирання на брезенті, складають їх по щиколотку та піддають сонячному світлу 8 годин щодня протягом приблизно 4 днів [47]. Це скорочення днів сушіння з 5-7 днів до 4 днів свідчить про те, що рішення прості, недорогі та стійкі фізичні технології мають хороші шанси на впровадження серед дрібних фермерів у країнах, що розвиваються, і дають бажані результати щодо скорочення часу сушіння. Інші методи вдосконалення включають використання сонячних сушарок для наметів. Деякі дослідники [48, 49] задокументували дослідження активних сонячних сушарок, які використовують фотоелектричні модулі для примусової конвективної сушки. Результати цих досліджень показали зниження вмісту води з 33% вологості основи до менше 20% у 90 кг зразка кукурудзи, висушеного протягом 3 днів.

Повідомлялося також про використання моторизованих сушарок для біомаси з моделлю під назвою easyDry 500, яка показала надзвичайну ефективність з точки зору прийняття фермерами завдяки застосуванню моделі «pack and go», у якій система переміщується від ферми до ферми на мотоциклах [50]. У країнах, що розвиваються, також має місце увазі використання діатомової землі, а також інших хімікатів для висушування та боротьби зі шкідниками в системах зберігання зерна. Хоча використання герметичного зберігання не є методом сушіння, повідомлялося, що зерно, яке було висушене до безпечного рівня вмісту води (нижче 13% у випадку кукурудзи), також було повідомлено про боротьбу з втратами після збирання врожаю. У польовому дослідженні, проведеному в Херсоні між 2013 і 2014 роками, було показано, що герметичне зберігання зберігає зерно до 12 місяців без проростання, пилу, пошкодження або зараження комахами [45, 46].

Наметові сушарки – це найпоширеніші та найдешевші технології, які були прийняті в різних країнах, що розвиваються, завдяки їх простоті збирання та низькій вартості. Хоча сушарки для наметів використовують дешеві прозорі матеріали для посилення парникового ефекту - підвищення температури повітря та зниження відносної вологості, видалення води зсередини намету залишається проблемою.

Використання електричних вентиляторів, що живляться від фотоелектричних панелей, є витратним тягарем, головною частиною якого є ціна фотоелектричного модуля. Сушарка для біомаси, з іншого боку, використовує тепло від згоряння сільськогосподарських відходів на додаток до використання обладнання з дизельним двигуном для примусової конвекції з основними недоліками у вартості та впливі на викиди вуглецю.

Зважаючи на значні зусилля по боротьбі зі псуванням зерна в теплих і вологих, тропічних країнах і країнах, що розвиваються, широке впровадження технологій, які випробувані, все ще значно відстає від поширених, і існує потреба в розробці більш дешевих технологій або рішень, які можна використовувати на місцевому рівні. виготовляється, як проста вітрова турбіна для механічного сушіння. Незважаючи на те, що поточне дослідження є повністю механічною системою, існує ймовірність того, що його успіх може стимулювати додаткові вигоди для фермера через додавання електричних генераторів, які можуть жити невеликі фермерські пристрої, такі як телефони та лампи низької потужності.

2.4. Перетворення енергії вітру для механічного застосування

Енергію вітру використовували для аеродинамічних операцій вітрильників уздовж Нілу ще за 5000 років до нашої ери та для різних механічних операцій, таких як перекачування води, помел зерна та дроблення цукрової тростини в Персії приблизно за 200 років до нашої ери задовго до промислової революції та застосування вітрова енергія для виробництва електроенергії почалася лише наприкінці 1800-х років [38 – 41]. За винятком вітрильників, які використовували дещо інший механічний (аеродинамічний) механізм підйому, більшість ранніх поколінь вітрових турбін або вітряних млинів були механічними машинами з високим крутним моментом і опором.

Проте протягом кількох тисяч років використання вітрової енергії людиною відбувся великий розвиток у системах використання енергії вітру, і база знань щодо вилучення енергії вітру є надійною. Механізм розсіювання енергії вітру добре встановлений, а теорії та принципи роботи пристроїв для використання енергії вітру

були задокументовані в тому, що зараз здебільшого називають Теорією імпульсу лопатевого елемента (BEMT).

BEMT – це комбінація теорії імпульсу та взаємодії сил підйому й опору, що діють на будь-який матеріал на шляху вітрового потоку. BEMT намагається вирішити поширену проблему, з якою завжди стикаються розробники вітроенергетики.

Як оцінити фактичну потужність, яку будь-яка конкретна система використання енергії вітру може отримати від вітру на етапі проектування; визначення того, як оцінити при кожній швидкості вітру, скільки енергії можна отримати від потоку вітру будь-яким обраним розміром, формою та орієнтацією лопаті турбіни.

Це питання часто потребує відповіді на етапі проектування, коли популярні показники, які зазвичай використовуються для оцінки вихідної потужності турбіни, а саме швидкість вітру вниз за течією та/або ефективність турбіни ще не визначені емпірично. Виведення засобів, за допомогою яких дизайнери можуть оцінити ці бажані конструктивні властивості, є центром теорії імпульсу леза.

Наступні визначення закладають основу, на якій будується BEMT. Потужність потоку вітру легко визначити в термінах кінетичної енергії в дрейфуючих частинках вітру, а потужність вітру, подібно до потужності кінетичної енергії в будь-якій іншій рідині, що тече в просторі, можна визначити в термінах площі та швидкості потоку, а також щільності рідини.

Кінетична енергія (E) визначається як енергія маси тіла в русі, а потужність (P) — швидкість розсіювання енергії. Так що:

$$E \text{ (Joules)} = \frac{1}{2} m u^2 \quad (1)$$

$$M^1 L^2 T^{-2} = M^1 L^2 T^{-2}$$

А потужність (ват), яка є швидкістю зміни енергії в часі, виражається як:

$$P \text{ (watt)} = \frac{E \text{ (Joules)}}{t \text{ (secs)}} \quad (2)$$

$$M^1 L^2 T^{-2} \cdot T^{-1} = M^1 L^2 T^{-3}$$

Де m (кг) — це маса матеріалу, а u (м/с) — швидкість або швидкість тіла. Розмірні рівняння є способом перевірки відповідних зв'язків і показують дійсність зв'язку між фізичними явищами, коли розмірне рівняння для двох сторін рівняння збігається. Наприклад, ми знаємо, що енергія, витрачена з часом, дорівнює потужності так само, як сила, прикладена до системи, помножена на швидкість, ініційовану в системі, також є мірою застосованої потужності, оскільки в обох співвідношеннях існує розмірна узгодженість, і співвідношення узгоджується з розмірну форму Влада. У розмірному вигляді енергія позначається $M^1 L^2 T^{-2}$ (Джоулі).

В якості альтернативи потужність може бути виражена через прикладену силу, помножену на розпочату швидкість. Але Сила позначається масою, помноженою на прискорення згідно з другим законом Ньютона. Наведене вище визначення, яке позначається рівнянням, приймається, оскільки встановлено узгодженість розмірів із параметрами потужності. Форма наведеного вище рівняння для потужності корисна для вимірювання потужності, видобутої вітряною турбіною, де швидкість обертання валу вітрової турбіни та крутний момент (момент сили) використовуються в динамометрії для оцінки потужності в системі використання енергії вітру.

Визначення маси повітря у вітровому потоці досягається шляхом оцінки маси як функції щільності та об'ємної швидкості потоку повітря.

$$E = \frac{1}{2} \rho v u^2 \quad (3)$$

Таким чином, потужність у циліндричному вітровому потоці радіуса r (м), що рухається зі швидкістю u (м/с) з повітрям щільності ρ (кг/м³), виражається рівнянням (3). Рівняння (3), яке описує потужність вітру з відомою швидкістю вітру, площею та щільністю повітря, показує, що швидкість вітру, що має кубічну потужність, найбільше впливає на величину потужності вітру. Це рівняння, однак,

не говорить про те, яку потужність вітрова турбіна або матеріал на шляху потоку вітру зможе витягти з потоку вітру (рис. 1).

Другий етап оцінки, який зазвичай застосовують у вітрових турбінах, – це визначення фактичної потужності, яку окремий пристрій витягує з вітру. Якщо припустити, що всі матеріали (незалежно від форми, ваги, розміру та орієнтації), розміщені на шляху вітру, мають однакову здатність витягувати енергію з вітру, визначити потенційну вихідну потужність будь-якої вітрової турбіни було б легко.

Рисунок 1. Віртуальний циліндр, що описує аеродинамічну трубу

Але проблема виникає через той факт, що, залежно від форми та орієнтації лопаті турбіни або будь-якого матеріалу на шляху вітру, лише деяка частка загальної енергії вітру може бути використана, а дві вітряні турбіни мають однакову кількість лопаті з однаковим радіусом, але з різною формою лопаті та орієнтацією лопаті до вітру, часто будуть працювати по-різному в тому самому потоці вітру. Іншими словами, ефективність вітрової турбіни залежить від матеріалу (включаючи властивості ваги та поверхні), форми та орієнтації. Таким чином, найпростіший спосіб оцінити вихідну потужність вітряної турбіни – це емпіричне тестування. На практиці потужність пристрою для використання енергії вітру (тобто швидкість, з якою пристрій витягує кінетичну енергію з вітру та перетворює її на енергію обертання валу) можна відстежувати або оцінювати за допомогою датчиків сили та швидкості обертання.

Якщо крутний момент у валу вітрової турбіни вимірюється за допомогою динамометра, а швидкість обертання турбіни вимірюється тахометром, то потужність у валу можна розрахувати за допомогою рівняння (4) або (5) залежно від того, яка система вимірювання показання були зняті. Незважаючи на те, що цей метод визначення потужності турбіни корисний для оцінки фактичної вихідної потужності під час тестування та експлуатації вітряної турбіни, цей метод не є корисним на етапі проектування, оскільки процес проектування не може бути сліпим або обнадійливим процесом, заснованим на метод спроб і помилок. Має бути спосіб побудови турбіни з чіткими очікуваннями певної очікуваної потужності – це суть дизайну. Тому інженери та розробники вітряних систем бажають мати засоби прогнозування, за допомогою яких можна було б оцінити вихідну потужність конкретного типу обраної лопаті вітрової турбіни на основі вхідних даних на етапі проектування.

Крім оцінки вихідної потужності турбіни шляхом фактичного тестування крутного моменту та швидкості обертання при різних швидкостях вітру, загальне рівняння, яке широко використовувалося для оцінки потужності вітрової турбіни, подібне до рівняння для потужності вітрового потоку (рівняння 4) помножити на додатковий член, який називається ККД турбіни.

$$P_t = \frac{1}{2} \rho A u^3 \eta \quad (4)$$

Де η – ККД вітрової турбіни. Незважаючи на те, що це рівняння здається спрощеним і на нього часто посилаються, його можна інтуїтивно вивести як подібне до рівнянь (3) і (2) у його залежності від деяких емпіричних даних для визначення ефективності, і тому воно має невелику цінність на етапі проектування. Рівняння (4) однак забезпечує засіб, за допомогою якого можна оцінити розмір турбіни в термінах радіуса або діаметра для даної або очікуваної потужності та ефективності. Іншими словами, якщо проект вимагає певної потужності (наприклад, 1 кВт), мінімальний діаметр лопаті турбіни, який забезпечить бажану потужність, можна приблизно визначити на основі припущення, що турбіна досягає деякого гіпотетичного значення ефективності.

На практиці рівняння (4) є настільки хорошим, наскільки ефективність, яка в ньому використовується, оскільки ефективність включає вплив форми, ваги, орієнтації та аеродинамічних можливостей вітрової турбіни. Усі ці властивості зведені в один термін, що не дозволяє вирішити проблему проектування. По-друге, в умовах нестаціонарного режиму роботи ККД вітрової турбіни є не числом, а кривою, оскільки ККД турбіни зазвичай змінюється зі швидкістю вітру. Таким чином, використання гіпотетичного числа як ККД призведе до значного спотворення фактичної вихідної потужності при різній швидкості вітру в умовах нестаціонарного режиму роботи. Таким чином, обмеження рівняння (4) на етапі попереднього польового випробування частково поширюється також на його емпіричне застосування, якщо тільки не були отримані дані стаціонарного стану для ефективності турбіни при різних швидкостях вітру, в якому діапазоні необхідно оцінювати продуктивність турбіни.

Потреба в оцінці потенційної вихідної потужності різних геометричних конфігурацій для вилучення енергії вітру була визначена давно. Деякі вчені на початку 1900-х років помітили, що існує межа, до якої енергія вітру може бути використана різними формами. Зокрема, явище переносу енергії вітру навколо різних матеріалів, що обмежують вихідну потужність, було комплексно аналітично визначено німецьким фізиком Альбертом Бецом. У своєму висновку він показав, використовуючи математичні рівняння, що лише 59,3% енергії вітру може бути вилучено найкращим (ідеальним) пристроєм використання або турбіною. Робота Беца дала чудовий посібник для визначення меж ідеальної вітрової турбіни, але не дала прямої підказки до того, як спроектувати геометричні властивості, які призвели до створення ідеальної вітрової турбіни.

Теорія імпульсу – це математичні висновки, засновані на законі збереження маси та імпульсу, який показує, що зміна імпульсу системи дорівнює сумі сил, що діють на неї. Щоб визначити, скільки енергії найкраща турбіна може отримати від вітру за час (потужність), Бетц зробив деякі припущення, які відображені в контрольному обсязі нижче (рис. 2).

Рисунок 2. Контрольний обсяг для міркувань збереження імпульсу

При застосуванні до контрольного об'єму, в якому розміщена вітряна турбіна, теорія імпульсу здатна надати розуміння деяких невідомих, які необхідно з'ясувати на етапі проектування для точної оцінки потужності вітрової турбіни. Більшість цих математичних виведень було задокументовано в межі Ланчестера-Бетца-Джуковського і найчастіше цитується як базова лінія для розуміння проблем використання енергії вітру [51, 52].

В одновимірному контрольному об'ємі, показаному на рис. 2, вітер рухається з області, позначеної 1, зі швидкістю U_1 , впливає на турбіну, розташовану між 2 і 3, а потім рухається зі зниженою швидкістю, яка позначається U_4 , далеко за течією від турбіни. p_1, p_2, p_3, p_4 – значення тиску у відповідних зонах 1, 2, 3 і 4 в межах контрольного об'єму. Подібним чином U_1, U_2, U_3 і U_4 є швидкістю вітру у відповідних місцях або зонах.

Диск або гіпотетична вітряна турбіна (яка на практиці може бути чим завгодно, від найгіршого до ідеального пристрою використання енергії вітру) розміщується в контрольному об'ємі. У цій процедурі враховуються аналітичні міркування, і, як буде показано пізніше, для різних значень співвідношення вихідних і нижніх потоків. Таким чином, практичний спосіб поглянути на цей аналіз полягає в тому, щоб уявити, що різні типи конструкції лопаті вітрової турбіни або налаштувань розміщуються в контрольному об'ємі для кожної ітерації, так що найнижче співвідношення представляє тип лопаті, який не пропускає вітер, і найвище співвідношення має тип лопаті вітрової турбіни, в якому весь вітер, що

рухався із зони 1, пройшов через тип лопаті без зменшення до зони 4. Тому кожна ітерація, яка дає набір ефективності, представляє здатність типу вітрової турбіни використовувати енергію вітру. На практиці ця процедура також може являти собою просто зміну орієнтації лопатей або інших параметрів, які впливають на здатність вітрових турбін аеродинамічно витягувати енергію з вітру. Основні припущення, зроблені в аналізі Бетца, викладені нижче:

- контрольний об'єм являє собою віртуальний простір у природному навколишньому середовищі (тобто системах без тиску), вирізаний навколо (від далекого верхнього потоку до далекого нижнього за потоком) вітрової турбіни, і, отже, статичний тиск далеко вище та далеко за потоком від ротора буде те саме, що й статичний тиск навколишнього середовища;

- існує необертовий слід (тобто площа потоку підтримується вгору та вниз за течією ротора, тому одновимірний аналіз достатньо для опису явища);

- існує нескінченна кількість лопатей, і тяга вздовж площі обертання лопаті є рівномірною, і немає опору тертя, що є результатом взаємодії елементів у контрольному об'ємі.

Це міркування справедливе для повітря – нестисливої рідини рівномірної щільності або однорідності в умовах стаціонарного потоку. Як інтуїтивно очевидно, ці припущення є спрощеннями, зробленими для створення класичного випадку або сценарію, на основі якого властивість вітрового потоку та взаємодії турбіни (досить складне явище), що призводить до вилучення енергії, може бути детально досліджено та зрозуміло. Наприклад, стаціонарний стан і припущення про одновимірний потік надзвичайно спрощують оцінку, яку потім можна переробити для багатовимірного потоку з обертальними слідами. З наведеними вище припущеннями та враховуючи збереження імпульсу, Бетц вивів максимальну енергію, яку може отримати ідеальна вітрова турбіна.

По суті, при збереженні імпульсу очікується, що загальний імпульс, що надходить у контрольний об'єм, мінус імпульс, що виходить, дорівнює потужності, витягуюній ротором турбіни. Тому, припускаючи, що області входу та випуску знаходяться під атмосферним тиском, очікується, що швидкість вітру вниз за

течією; U_4 буде зменшеною версією швидкості вітру вгору за течією; U_1 , причому різниця в імпульсі вище та вниз за течією дорівнює чистій потужності, видобутій вітряною турбіною.

Масу повітря, яке протікає через ротор за одиницю часу, можна виразити через середню швидкість повітря, площу обертання ротора та щільність повітря, оскільки середня швидкість є середньою відстанню, пройденою за одиницю часу, і Подолана відстань, помножена на площу потоку, дасть об'єм. Оскільки щільність — це маса на об'єм, об'ємна швидкість потоку, помножена на щільність, дасть масу за одиницю часу.

$$\dot{m} = \rho A \frac{(u_1 + u_4)}{2} \quad (5)$$

На рис. 3 представлений типовий графік співвідношення швидкості або швидкості до ефективності. Незалежно від значення швидкості проти течії, графіки завжди будуть нормалізовані, оскільки це графік співвідношення і завжди має виглядати, як на рис. 3, за умови, що передбачається стаціонарний стан і вибране значення швидкості вітру проти течії залишається постійним.

Рисунок 3. Діаграма ліміту Бетца співвідношення ефективності та швидкості

На рисунку 3 показано, що ККД турбіни змінюється зі збільшенням співвідношення швидкості вітру вгору та вниз. Максимальна ефективність 0,593 (59,3%) була досягнута при коефіцієнті швидкості вітру 0,333 або 13 . Іншими словами, вітряна турбіна матиме максимальну ефективність, якщо її лопаті

сконструйовані таким чином, що при переважаючій швидкості вітру швидкість вітру вниз за течією становить одну третину швидкості вітру проти неї. Виходячи з цього, Бетц дійшов висновку, що максимальна ефективність будь-якої вітрової турбіни становить 59,3% і що лише 59,3% загальної енергії вітру може бути отримано найкращим можливим пристроєм для використання енергії вітру.

Теорія імпульсу елемента лопаті (BEMT) поєднує теорію імпульсу, яка проголошує закон збереження імпульсу, і теорію елемента лопаті, яка ідентифікує потужність лопаті, що дрейфує або плаває вітром, як суму розділених сил, що діють на кожен невелику секцію (елемент) леза. BEMT вважається найбільш широко використовуваним методом аналізу лопатей вітрових турбін завдяки простоті його застосування [53]. Теорія лопатевого елемента; доповнення до теорії імпульсу в теорії імпульсу елемента лопаті спирається на знання геометричних характеристик аеродинамічного профілю, які визначають коефіцієнти підйомної сили та опору, щоб оцінити коефіцієнти індукції.

Очевидно, що якщо відомий коефіцієнт індукції, оцінка потужності та ефективності турбіни буде лише за крок. Специфіка форми та орієнтації лопаті є важливою для визначення того, наскільки ефективно набір роторів буде витягувати енергію з вітру. Плоский диск, наприклад, розміщений на шляху вітру, рідко витягує будь-яку енергію з вітру. Кілька складок на диску можуть призвести до його здатності витягувати певну потужність, і, зрештою, добре організоване розташування лопатевих елементів дозволить неефективному диску стати ідеальною турбіною.

На рис. 4 наведено кілька властивостей і термінів, які використовуються в аналізі лопаті/ротора турбіни, а на рисунку 5 представлено тривимірне зображення типового ротора з виділеною двовимірною діаграмою сил, щоб показати, як отримані розділені сили, що використовуються в аналізі. Рис. 2.5 описує типовий аеродинамічний профіль, який розглядається у 2-вимірному просторі як частина 3-вимірного об'єкта. Щоб чітко зрозуміти діаграму, процес починається з вектора сили U_2 , який є швидкістю вітру, що надходить до вітрової турбіни, як обговорювалося в попередньому розділі.

Рисунок 4. Принципова схема ротора вітряної турбіни та особливостей профілю

Цей вектор сили трохи менший за швидкість вітру вільного потоку U_1 і, отже, помножений на дрібний коефіцієнт (1-а). Цей вектор сили перпендикулярний до площини ротора (оскільки вітрові турбіни часто розраховані на зустрічний вітер). Важливо відзначити, що хоча на цьому малюнку йдеться про енергію вітру, слід розрізняти шлях вітру та силу, яку вітром поширюється на лопатку турбіни (рис. 5).

Рисунок 5. Діаграми вітрової турбіни та векторів сил, що діють на профіль

Метод лопаткових елементів більше зацікавлений у розумінні діючих сил, і вони представлені векторними лініями. U_2 фокусується в точці на лінії хорди. Коли береться до уваги обертання ротора, ефект сили з величиною U_2 , що діє на лопаті

через вітер, сприймається як роздільна здатність (віднімання) сили обертового руху від вхідної сили вітру. Результируюча називається відносною швидкістю, і вона діє під кутом ϕ до осі ротора. Визначення цього кута є основною частиною BEMT.

Відносна швидкість U_{rel} створює силу опору, представлену вектором dFD на лопаті в напрямку, куди вказує вектор сили U_{rel} . Це також викликає підйомну силу; dFL , що діє в точці, де U_{rel} і U_2 торкаються лінії хорди лопаті, а підйомна сила вказує в напрямку, перпендикулярному до відносної швидкості U_{rel} . Оскільки ротор є шарнірним, ці сили змушені розділятися на відповідні компоненти в координатах площини ротора. Таким чином, результируюча сил опору та підйомної сили перетворюється на нормальну силу dFN , що діє в напрямку падаючого вітру, і тангенціальний крутний момент або силу моменту dFT , що діє для створення кутової обертальної тяги, що відповідає за обертання вала в турбіні. Основною метою методу лопатевого елемента та імпульсу є визначення кутової сили тяги.

Крім усіх виведень, метод імпульсу лопатевого елемента спирається на просту процедуру, яка в основному використовує рівняння (5) для визначення кута відносного вітру на основі деяких початкових припущень осьових і тангенціальних факторів індукції. Ітераційна процедура виконується в такому порядку:

- отримати дані про властивості профілю для вибраного типу профілю (графіки коефіцієнтів підйомної сили та опору при різних кутах атаки);
- використовуючи рівняння (5), почніть з деякого початкового припущення для a і a' , а потім обчисліть кут відносного вітру;
- використовуючи визначений кут відносного вітру, обчисліть кут атаки;
- виходячи з даних вище, визначте коефіцієнт підйомної сили та лобового опору, який найбільше відповідає визначеному куту атаки;
- використовуйте коефіцієнти для визначення потужності та коефіцієнта потужності для турбіни з урахуванням кількості лопатей у роторі та суми потужностей для кожного елемента лопаті.

Таким чином, хоча метод імпульсу лопатевого елемента є довгим рядом виведення, його застосування для визначення потенційної потужності турбіни на основі форми, розміру, орієнтації лопаті вітрової турбіни є процедурно простим і

прямим. Таким чином, ВЕМТ є одним із найбільш часто використовуваних методів серед багатьох розробників вітрових турбін, і на нього багато посилань.

Хоча ВЕМТ має певні обмеження, включно з тим, що він виконується за певної швидкості вітру та обертів на хвилину, а також той факт, що деякі припущення можуть бути не зовсім дійсними в реальних умовах, у розрахунки було вбудовано кілька модифікацій, які покращують продуктивність моделі на конкретні типи турбін.

2.5. Висновки за розділом

Конструкція ротора турбіни повинна базуватися на конкретних очікуваних показниках продуктивності. Наприклад, передбачаючи турбіну з ефективністю, близькою до ідеальної турбіни Беца, ітераційна процедура для найбільш відповідного коефіцієнта осьової індукції може починатися приблизно з 0,3. Однак це рішення залежить не лише від бажання дизайнера, а й від типу профілю, який він обирає чи зможе створити.

Іншою платформою для оцінки профілю аерофоліра є 2D Flow Simulator на основі панельного методу для користувачів MATLAB. Важливою особливістю Flow Simulator є наявність великої бази даних типів аеродинамічних профілів, отриманих з аеродинамічних профілів та інформації.

Загалом, сучасна конструкція вітрової турбіни максимізує співвідношення підйомної сили та лобового опору з ряду причин, включаючи збільшення тангенціальних сил крутного моменту, що призводить до більш потужного обертання валу, що важливо для використання найбільшої потужності. По-друге, чим більша нормальна сила опору, тим більший тиск буде чинитися на лопаті та башту турбіни, отже, тенденція до полонки конструкції є вищою. Тому мінімізація опору є важливою. У турбінах з високим опором і низькою швидкістю турбулентний обертний слід вищий, і це означатиме, що буде потрібно більше маси землі, якщо на фермі буде встановлено кілька турбін, оскільки знадобиться більша відстань для відновлення ламінарного потоку, необхідного для ефективної швидкості проти течії.

РОЗДІЛ III. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Проект малогабаритної вітрової установки для застосування у сільській місцевості

Історично вітрові турбіни використовувалися в Північній Америці з 1800-х років для роботи на фермах, особливо для перекачування води. Вітрові турбіни також використовувалися в Персії з 9-го століття (800 р. н. е.) для живлення водяного фонтану та товкання рису [21]. Дослідники підкреслили потенціал застосування невеликих вітрових систем для вирішення проблем у сільському господарстві та сільській місцевості. Припускають, що виробництво електроенергії та розвиток дизельних насосів призвели до скорочення використання малих вітряних турбін у 1970-х роках. Вітрові турбіни, однак, продовжують використовуватися в кількох місцях по всьому світу, і є докази, особливо в країнах, що розвиваються, про перспективи невеликих механічних вітрових систем.

У дослідницькій роботі про ринок відновлюваної енергії в країнах, що розвиваються, зазначено, що в Аргентині існує від 500 000 до мільйона водяних вітряних турбін, приблизно 100 000 подібних у Південній Африці та близько 30 000 у Намібії, які використовуються для сільськогосподарських цілей [47]. Зростання уваги до малих вітряних турбін, здатних вирішувати незвичайні проблеми в місцях, де звичайні вітряні системи не підходять, спричинило нову тенденцію досліджень з акцентом на використання нетрадиційних типів турбін. Будівництво вітряних систем з місцевих матеріалів, а також використання технологій для розробки нових типів турбін набувають все більшої популярності. Турбіна з лопатями у формі кленового листа була змодельована та випробувана на звичайних типах лопатей турбін для застосування в Індії. Дослідники відзначили, що однією з основних проблем використання енергії вітру в тропічних регіонах є низький вміст енергії внаслідок низької швидкості вітру в тропічних поясах, особливо в регіонах, які не мають виходу до моря [49].

Було виявлено технологічну проблему із сушінням зерна в жаркому та вологому кліматі, а умови, що підкреслюють втрати врожаю в тропічному кліматі,

були виділені як необхідність швидкого видалення вологи в зерні одразу після збору врожаю. Енергія для сушіння зерна також була визначена як нестача в кількох країнах, що розвиваються. Вітроенергетика як відновлюване джерело енергії для проведення примусової конвекції була розглянута, зазначивши, що наука про вітроенергетику надійно підтримується теоретичною основою для тестування та розробки різних типів пристроїв використання енергії вітру. Ця магістерська робота зосереджена на демонстрації потенціалу невеликих вітряних турбін, виготовлених із матеріалів, які можна придбати в більшості країн, що розвиваються, як інструменти для створення примусової конвекції за допомогою енергії вітру.

Вітрові турбіни з горизонтальною та вертикальною осями були випробувані в попередньому дослідженні, щоб визначити найбільш ефективний тип вітрової турбіни для використання енергії вітру в умовах низької швидкості вітру. Багатолопатевий (12 лопатевих) вітровий ротор з горизонтальною віссю (HAWT) мав найкращий профіль потужності порівняно з трьома іншими типами сімейства турбін, включаючи 3-лопатеву вітряну турбіну з вертикальною віссю з підйомним приводом (3VVAWT) і дві вертикальні турбіни типу Савоніус з вертикальним приводом (4VVAWT і E4VVAWT). Багатолопатева дерев'яна вітряна турбіна з регульованим кроком діаметром 1,4 м була згодом оцінена на її здатність до примусової конвективної сушки зерна зерна в умовах низької швидкості вітру, у теплому та вологому кліматі. Мета дослідження полягала в тому, щоб випробувати високоміцну вітряну турбіну в умовах низької швидкості вітру (2,5 – 5,5 м/с) для випуску повітряного потоку за допомогою механічного з'єднання валу ротора та вентилятора через редуктор або пасову передачу.

Ефективність системи під час випробувань в аеродинамічній трубі на потужність повітряного потоку була в діапазоні від 4,2 до 8,61%. При швидкості вітру $5,6 \pm 0,03$ м/с створювався потік повітря до 0,52 м³/с. Психрометрична діаграма, фундаментальний повітряний потік і рівняння опору були вбудовані у функцію MATLAB для розрахунку потреби в потужності для розробки турбіни з урахуванням типових тропічних умов сезону збору врожаю (25°C і 85% відносної вологості). Створений повітряний потік відповідав вимогам для сушіння до 50 кг

колосся за 2-4 дні, показуючи, що розширена система, заснована на цьому прототипі, здатна задовольнити потреби швидкого сушіння в теплому та вологому кліматі.

3.2. Вплив теплоти та вологості клімату на конструктивні міркування

Використання систем використання енергії вітру для застосування під час сушіння на дрібному фермерському господарстві та на рівнях домогосподарств стає в центрі уваги для усунення втрат після збору врожаю, особливо в країнах, що розвиваються, де доступ до надійної енергетичної інфраструктури відсутній або обмежений, а вартість виробництва електроенергії висока. Для опору нагрівання та примусової конвекції є непомірним для фермерів у країнах, що розвиваються. В Україні на півдні 25% зібраного зерна щорічно втрачається через погане та неефективне сушіння [25 – 27]. На додаток до фізичної втрати врожаю, основні зерна, такі як кукурудза та арахіс, будучи продуктами з високою вологістю під час збору врожаю, схильні до хвороботворних, токсигенних плісняви та інших хвороботворних мікроорганізмів, якщо адекватного сушіння не досягнуто одразу після збору врожаю.

Однією з таких взаємодій біологічних систем, яка безпосередньо впливає на здоров'я людини, є зростаюче занепокоєння пов'язаними з афлатоксинами раками печінки, які спустошують багато країн, що розвиваються, більшість з яких знаходяться в жаркому та вологому тропічному кліматі, де швидке висихання зерна та основних продуктів є основною проблемою після збору врожаю [36 – 39].

Дослідники [25, 26] виступають за зменшення втрат після збирання врожаю в результаті неефективної практики сушіння та використання відновлюваних джерел енергії дрібними фермерами для сушіння врожаю, включаючи сонячні (теплові та фотоелектричні), а також вітрові системи для швидкого зволоження. видалення та обслуговування під час зберігання, було визначено як потенційне рішення для зменшення кількості та втрати якості в жаркому та вологому кліматі [16 – 19]. Також було зазначено, що існує зв'язок між використанням відновлюваної енергії та сталим розвитком загалом [48]. Хоча примусова конвективна енергія вітру

рідко використовується в механічних процесах сушіння зерна, вона широко використовується для інших механічних операцій із високим крутним моментом, таких як перекачування води та помел зерна. У патенті, задокументованому в Сполучених Штатах Америки [39], також повідомлялося про новий метод використання енергії вітру для змішування зерна та роботи конвеєра в силосах. За оцінками, з 1950 по 1970-ті роки в Сполучених Штатах Америки було використано понад 6 мільйонів вітряних пристроїв для відкачування води [41]. Приблизно на рубежі нового тисячоліття в Аргентині використовувалося від 500 000 до мільйона водяних вітрових турбін, а Південна Африка має понад 100 000 подібних вітрових турбін для перекачування води для сільськогосподарських робіт [49].

Таким чином, вітроенергетичні системи, що використовуються для механічних операцій із високим крутним моментом, не зовсім нові. Повідомлялося також, що вітряні системи є відновлюваним джерелом енергії поруч із міні-ГЕС з точки зору ефективності перетворення електроенергії, і енергія вітру наразі забезпечує 3% загального виробництва електроенергії в Сполучених Штатах. Розвиток вітроенергетики з кінця 1980-х років також показує, що загальна потужність вітру, використана для різних застосувань, і фізичний розмір вітроенергетичних систем у всьому світі зростає.

Розробка, виготовлення та випробування системи використання енергії вітру, придатної для недорогого швидкого сушіння харчових продуктів за рахунок збільшення тепло- та масообміну, є, отже, основною мотивацією для цього дослідження. У цій главі було досліджено потенціал системи використання енергії вітру для застосування в умовах примусової конвекції, необхідної для підвищення швидкості сушіння зерна. Проблема дослідження полягає в тому, як спроектувати та випробувати систему використання енергії вітру (турбіну), яка функціонувала б за умов низької швидкості вітру від 2 м/с до 5,5 м/с. Дослідження далі аналізують, щоб визначити, чи можна енергію, отриману від вітряної турбіни, поєднати з механічним вентилятором із примусовою конвекцією, який може генерувати тягу повітря, придатну для сушіння зерна, зібраного в теплому та вологому кліматі. Крім того, щоб задовольнити потреби дрібних фермерів у країнах, що розвиваються,

дослідження було спрямоване на розробку механічної системи примусової конвекції, яка може бути доступною та прийнята в країнах з низьким рівнем доходу.

3.3. Методика та матеріали досліджень

Матеріали, використані для цього дослідження, включають наступне.

- Balsa Wood: Balsa Wood було придбано в Vernier Software and Technologies (Бівертон, штат Орегон, США), інтернет-магазині, який продає спеціальні товари для дитячих вітрових проектів. Деревина мала ширину 0,0762 м, довжину 0,30 м і товщину 0,002 м на лист.

- шістдесят (60) шматків дерев'яних дощок розміром 0,101 м x 0,76 м і 12 листів фанери товщиною 0,0127 м кожен розміром 1,2192 м x 2,4384 м були придбані в місцевому магазині будівельних матеріалів.

- 2 одиниці конічних шестерень 0,0127 м (внутрішній діаметр) для виготовлення осьового редуктора, 4 одиниці кулькових підшипників 0,0127 м (внутрішній діаметр), 1 одиниця голчастого підшипника 0,0127 м (внутрішній діаметр) із зовнішнім діаметром 0,01905 м і 2 одиниці 0,0127 м (внутрішній діаметр) конусні шарнірні підшипники були придбані в компанії McMaster Carr (Elmhurst IL, USA), яка займається онлайн-продажем обладнання.

- алюмінієві та м'які сталеві вали виготовлені в Центрі інженерного проектування кафедри біосистем та агротехніки.

- 3 одиниці датчиків навантаження тягової сили s-типу по 30 кг і пов'язаних із ними мікроконтролерів (HX-711) підсилювач тензодатчиків також були придбані на Adafruit.com.

- інші матеріали включають аеродинамічну трубу розміром 10 футів на 10 футів на 26 футів.

Попередні дослідження були проведені на чотирьох типах вітрових турбін, щоб визначити тип вітрових турбін, які могли б забезпечити кращий профіль потужності для операцій із примусовою конвекцією. Необхідність випробування кожного типу турбіни виникла з трьох основних міркувань. По-перше, хоча більшість поширених вітрових турбін, які використовуються для виробництва

електроенергії, є 3-лопатеви́ми вітровими турбінами з горизонтальною віссю (HAWT), механічні операції, що включають примусову конвекцію, вимагатимуть, щоб потік повітря передавався за допомогою каналів або трубок від вентилятора до точки сушіння. На відміну від електрики, яка може передаватися через поворотні контактні механізми від гондоли, повітропроводи від гондоли обмежуватимуть відстеження вітру, обертання гондоли, і обертання вертикальної осі буде потрібно, якщо вентилятор буде на землі. Це дало використанню вітрової турбіни з вертикальною віссю (VAWT) більше переваг перед HAWT.

Номінальні робочі умови для більшості HAWT становлять швидкість вітру 12 м/с. Відомо, що більшість тропічних місць є місцями з низькою швидкістю вітру [42], а метеорологічні дані для регіону Гвінейської Савани в Африці на південь від Сахари показують типову історичну швидкість вітру від 2 м/с до 5,5 м/с [45 – 47]. Тому виникла потреба розглянути типи вітрових турбін, які демонструватимуть значну ефективність використання енергії за низьких швидкостей вітру. По-третє, виходячи з кількості обертових частин і простоти виготовлення лопаті, будівництво VAWT є економічно більш життєздатним, ніж HAWT для фермерів з низьким доходом, і виникла потреба ретельно порівняти технічні та економічні переваги з точки зору емпіричних даних, які навряд чи були доступними

Декоративний ротор вітряка з 12 лопатями, фіксованим кроком і змінною хордою діаметром 0,6 м був прийнятий у Центрі інженерного дизайну (EDC) Департаменту біосистем та сільськогосподарської інженерії Університету Кентуккі. Три інші ротори такого ж розміру, але з 4, 8 і 10 лопатями, були виготовлені в EDC з використанням 5-мм алюмінієвих листів, щоб перевірити ефект міцності. Ці турбіни являли собою горизонтально-осьові вітряні турбіни (HAWT). Так, було створено та випробувано три типи VAWT. Трьохлопатева вітрова турбіна з вертикальною віссю (3VVAWT) була взята з плану «зроби сам» (DIY) для Lynx-60, придбаного на Lynxwind.com (Брайтон, штат Мічиган, США). 3VVAWT – типова вертикальна турбіна з підйомним приводом, принцип перетворення енергії вітру подібний до HAWT на основі аеродинамічного профілю.

Щоб перевірити турбіни з опором, 4-лопатева турбіна з вертикальною віссю (4VVAWT), що має таку саму площу стріловидності, що й HAWT, була побудована за методом Савоніуса (напівциліндр) з використанням алюмінієвої накладки, придбаної в місцевому магазині будівельних матеріалів. Другий двигун VAWT (E4VVAWT) був побудований шляхом включення дерев'яного корпусу, який воронками в'ється в задню сторону 4VVAWT. Це було засновано на принципі Бернуллі та рівнянні безперервності, яке вказує на те, що спрямування потоку нестисливої рідини призведе до збільшення швидкості рідини, коли вона рухається від зони ширшого отвору до вузького отвору. Відповідно, передбачалося, що збільшення швидкості призведе до збільшення потужності турбіни для закритого 4VVAWT.

3.4. Висновки за розділом

Попередні дослідження були проведені на чотирьох типах вітрових турбін, щоб визначити тип вітрових турбін, які могли б забезпечити кращий профіль потужності для операцій із примусовою конвекцією.

Розробка, виготовлення та випробування системи використання енергії вітру, придатної для недорогого швидкого сушіння харчових продуктів за рахунок збільшення тепло- та масообміну, є, отже, основною мотивацією для цього дослідження.

Використання систем використання енергії вітру для застосування під час сушіння на дрібному фермерському господарстві та на рівнях домогосподарств стає в центрі уваги для усунення втрат після збору врожаю, особливо в країнах, що розвиваються, де доступ до надійної енергетичної інфраструктури відсутній або обмежений, а вартість виробництва електроенергії висока.

Створений повітряний потік відповідав вимогам для сушіння до 50 кг колосся за 2-4 дні, показуючи, що розширена система, заснована на цьому прототипі, здатна задовольнити потреби швидкого сушіння в теплом та вологому кліматі.

РОЗДІЛ IV. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

4.1. Випробування вітряної турбіни

На основі результатів попереднього дослідження з використанням різних типів вітрових турбін були розглянуті конструктивні міркування для багатолопатевих вітрових турбін з горизонтальною віссю. Таким чином, ідея дослідження полягала в тому, щоб побудувати дерев'яну багатолопатевою турбіну з горизонтальною віссю із змінним числом лопатей і змінним кроком, діаметр якої можна розширювати за допомогою багат шарового каскаду. Ця турбіна буде випробувана в умовах сталої швидкості вітру в аеродинамічній трубі (рис. 6). Таким чином, міркування щодо конструкції ротора турбіни були зроблені частково на основі розрахунків вихідної потужності та частково на основі обмеженої потужності тестової аеродинамічної труби для дослідження в стаціонарному режимі для оцінки фактичної потужності. Розрахунки повинні були скерувати розробника щодо фактичних вимог до потужності та, отже, потенційних вимог до розмірів турбіни, яка б генерувала необхідну потужність, тоді як випробувальний центр визначив обмеження розміру турбіни, яку можна було б побудувати для тестування в лабораторії, яка була у нашому розпорядженні.

Рисунок 6. 3D-візуалізація конструкції осі HAWT для горизонтально-вертикальної (HV) передачі потужності

Концепція пілотної вітрової турбіни для застосування в польових операціях для фактичного сушіння зерна в країнах, що розвиваються, полягала в тому, що ротор турбіни буде встановлено на вежі щонайменше в 10 метрах від землі на відкритих сільськогосподарських угіддях у пасовій місцевості Гвінейської Савани. Система редукторів із горизонтальною та вертикальною віссю (рис. 7) була розроблена з використанням набору конічних шестерень, щоб дозволити потужності, використаній вітровою турбіною, передаватись вниз по вежі через центр обертання гондоли за допомогою трансмісійного вала, який буде з'єднаний з механічним вентилятором біля основи вежі.

Рисунок 7. Тривимірна концепція вітрової турбіни для механічної примусової конвекційної сушки

На рисунку 7 показана оригінальна концепція повномасштабної турбіни з великим допуском на модифікації щодо типу передавального пристрою (редуктор або пасова передача), типу сонячного колектора та сушильної камери, що не є предметом цього дослідження на цьому етапі. точка. У центрі поточної роботи було розроблено турбіну досліджуваного розміру, яку можна було б випробувати в

лабораторії. Межі лабораторного обладнання обмежували потужність сушіння, яку можна було досягти за допомогою експериментальної турбіни. Структурна механіка досліджуваної турбіни також була обмежена масштабом дослідження, а пілотна турбіна була б покращеною версією поточного розміру, міцності та потужності.

Потужність турбіни базувалася на розрахунках, які починалися з визначення кількості зерна, призначеного для регулярного сушіння малим фермерським господарством. Наприклад, якщо фермер має 50 кг колосової кукурудзи з вмістом вологи 35% (вологість, масова маса), 12,209 кг вологи потрібно буде видалити, щоб досягти цільового вмісту вологи 14% (масова маса). Цей розрахунок є першим серед низки послідовних обчислень, і якщо на будь-якому етапі всього обчислення будь-який із параметрів на цьому рівні зміниться, вся процедура зміниться, отже, обчислення було виконано за допомогою рівняння (6), вставленого в схему розрахунку в графічному інтерфейсі користувача MATLAB

$$x_3 = (M_1/100 * x_1) - [(M_2/100) * (x_1 - (M_1/100) * x_1) / (1 - (M_2/100))] \quad (6)$$

де x_3 — це кількість вологи, яку необхідно видалити з зерна при початковій вологості M_1 , цільовій вологості M_2 і початковій вазі x_1 (кг).

Подібним чином необхідно розрахувати кількість повітря, необхідну для видалення x_3 кг вологи з колосся. Оскільки повітря при різній відносній вологості та температурі має різну здатність поглинати вологу, психрометрична діаграма використовується, щоб визначити, скільки вологи зможе поглинути кожен кілограм повітря за переважаючої температури та відносної вологості. Різниця між коефіцієнтом змішування (коефіцієнтом вологості) при переважаючій температурі та відносній вологості та при температурі насичення (температура змоченого термометра) та відносній вологості безпосередньо перед насиченням визначається як вологоємність повітря. Таким чином, психрометричну діаграму було додано до схеми розрахунків MATLAB, згаданої раніше, щоб забезпечити автоматичне обчислення водонепроникної здатності за переважаючих умов навколишнього середовища на основі введених користувачем даних.

Інші визначені параметри включають визначення відповідної швидкості повітряного потоку для адекватного видалення вологи, і це призводить до

визначення вимог до потужності вентилятора для досягнення належного видалення вологи. Цей розрахунок потребує низки кроків, що стосуються потенційно різноманітних вхідних даних для будь-якої конкретної ситуації, і тому він схильний до потенційних обчислювальних помилок. Тому була прийнята обчислювальна схема, яка приймає дані від користувача та обчислює необхідну вихідну потужність на основі стандартних перевірених рівнянь. Перший набір вхідних даних стосується стану зерна та цілей сушіння фермерів. Другий набір стосується умов навколишнього повітря та цільового стану повітря для сушіння, тоді як третій набір вхідних даних стосується швидкості повітряного потоку та вимог до потужності вентилятора.

Отримавши розуміння фактичної потреби в потужності, попереднє визначення розміру турбіни для забезпечення цільової вихідної потужності з бажаною ефективністю розраховується за допомогою модифікованої версії рівняння (7), до якого включено член ефективності.

$$P_p = \frac{1}{2} \rho A U_1^3 \eta, \quad (7)$$

де η є цільовою ефективністю турбіни для проекту, а P_p є цільовою вихідною потужністю.

Іншими словами, мета процесу проектування полягала б у виборі за допомогою деяких ітерацій елемента лопаті та теорії імпульсу, набору розмірів лопаті та орієнтацій, які забезпечать бажаний результат. Таким чином, розмір ротора турбіни (радіус), швидкість вітру та потужність встановлюються як незалежні змінні, тоді як параметри ефективності (кількість лопатей і пов'язана з ними твердість σ , поворот лопаті та пов'язані коефіцієнти підйому та лобового опору) встановлюються як залежні змінні для визначення або емпіричним шляхом із змінним кроком, а також каскадною конструкцією лопаті або за допомогою аналітичних методів з використанням теорії імпульсу лопатевого елемента. У цьому дослідженні покладалися на обидва емпіричні методи.

Було розроблено горизонтальну вітрову турбіну з регульованим кроком із змінною кількістю лопатей, і попередні розрахунки розміру та максимальної

вихідної потужності були обмежені розміром аеродинамічної труби, швидкістю вітру, на яку спрямовано дослідження, та мірою паразитних втрат через на вплив підшипника, шестерні та осі гондоли. Мотогондола - ефект осі виникає через необхідність перевести обертання турбіни з горизонтальної осі на вертикальну вісь, щоб можна було досягти нагнітання повітря, поки турбіна все ще стежить за вітром. Однак крутний момент у роторній частині повітряного насоса дорівнює лише величині максимального крутного моменту, встановленого керуванням або хвостом гондоли турбіни. Іншими словами, міра потужності втрачається кожного разу, коли турбіна відстежує вітер і турбіна рухається в напрямку, в якому обертається повітряний насос.

Було встановлено нижню межу 2,5 м/с і верхню межу 5,5 м/с, а також встановлено розрахунковий вихід [53]. На рис. 8 показано проект САПР концепції прототипу ротора вітрової турбіни з 12 лопатями з бальзового дерева з регульованим кроком лопатей і змінним числом лопатей, який підходить для тестування потенційної потужності для механічної аерації за різних умов вітру.

Рисунок 8. Тривимірне представлення розширюваної турбіни зі змінним кроком

Кут нахилу ротора встановлюється шляхом укладання на плоску поверхню та використання дерев'яного блоку вирівнювання, скошеного під певним кутом, розміщеного на поверхні та з похилим краєм, вирівняним із задньою частиною лопаті.

4.2. Результати розрахунків необхідної потужності

Психрометрична діаграма містить низку залежностей, які є важливими для визначення умов сушіння. В принципі, коефіцієнт вологості повітря – кількість води, присутньої на кілограм сухого повітря при конкретній відносній вологості, температури сухого і вологого термометрів, а також їх зв'язок з іншими властивостями повітряно-водяної пари визначаються на діаграмі. Серед інших важливих властивостей, які можна почерпнути з психрометричної діаграми, — питома ентальпія суміші повітря та водяної пари. Для сушіння зерна передбачається, що вода, яка підлягає видаленню, вільно доступна на поверхні продукту та не зв'язана, і доступна для захоплення сухим повітрям, яке має психрометричну якість, придатну для сушіння. Незважаючи на те, що це припущення має технічні обмеження щодо сорбційних властивостей сільськогосподарського продукту, вплив цього припущення на час сушіння та, отже, потребу в енергії буде компенсовано використанням даних про швидкість сушіння колосової кукурудзи, отриманих з емпіричних моделей глибокого шару, отриманих відповідно до повітряний потік і утворення упаковки значно подібні до тих, які є на практиці.

З метою надання критеріїв проектування для цього проекту південь України був обраний регіоном польових випробувань. Це рішення було засноване на тому факті, що цей регіон є найбільшим виробником зерна в Європі на південь від степу. Кукурудза була обрана як досліджувана культура, яка є найбільш культивованим зерном у більшості країн, що розвиваються. У середній смузі півдня України основний урожай кукурудзи відбувається у серпні та вересні, коли відносна вологість навколишнього середовища коливається від 75 до 90 %, а середня температура навколишнього середовища — від 25 °C до 27 °C. З аналізу психрометричної діаграми, показаної на рисунку 9, показано, що навколишнє повітря при 25°C і відносній вологості 85% має коефіцієнт змішування 0,017 кг води на кг сухого повітря та 0,018 кг води на кг сухого повітря при насиченні.

Рисунок 9. Психрометрична діаграма, що показує зниження відносної вологості під впливом температури

Це свідчить про те, що повітря за таких умов навряд чи досягне значного висихання. Таким чином, рекомендується нагрівання повітря сонячними променями для досягнення зниження відносної вологості, а в ряді сонячних сушарок для наметів, про які повідомляється в літературі, температура повітря підвищується на 10°C . Таким чином, критерії проектування на основі умов навколишнього середовища визначені як 25°C , 85% відповідно для температури навколишнього середовища та відносної вологості та підвищення температури на 10°C за допомогою сонячного теплового колектора. У результаті відносна вологість повітря знижується приблизно до 48 % із підвищенням температури, як показано на рис. 10. Початковий коефіцієнт вологості повітря та вологоємність сухого повітря, коли воно наближається до насичення, використовуються для оцінки кількості повітря, необхідного для видалення вологи з сільськогосподарської продукції за переважаючих психрометричних умов.

4.3. Дослідження сушки кукурудзи з примусовою конвекцією

Вага вологи, яку необхідно видалити з основної маси колосся відомої ваги, щоб зменшити масу до бажаного вмісту вологи, оцінювалася за допомогою рівняння 8 нижче:

$$x_3 = (M_1/100 * x_1) - [(M_2/100) * (x_1 - (M_1/100) * x_1) / (1 - (M_2/100))] \quad (8)$$

де x_3 (кг) — маса водяної пари (вологи), яку необхідно видалити, щоб перевести об'ємну пробу з початковою масою x_1 (кг) від вмісту вологи M_1 (% мас.) до кінцевого вмісту вологи M_2 (% мас.). Рівняння 3.1 визначає масу води, яку потрібно видалити, на основі трьох відомих параметрів – початкової маси зразка, початкового вмісту вологи та цільового вмісту вологи. Якщо вміст вологи виражається десятковими дробами, то рівняння стає набагато спрощеним (9)

$$x_3 = (MC_1 * x_1) - [(MC_2 * (x_1 - (MC_1 * x_1))) / (1 - MC_2)] \quad (9)$$

Кількість повітря в кілограмах, необхідна для досягнення бажаного сушіння, була розрахована з використанням психрометричних властивостей повітря за переважаючих умов навколишнього середовища. Різниця між коефіцієнтом вологості повітря при температурі сушіння і коефіцієнтом вологості при температурі змоченого термометра або вздовж лінії насичення визначає кількість вологи на одиницю маси повітря, яка видаляється повітрям. Загальну масу повітря, необхідну для видалення всієї вологи із зерна, обчислювали шляхом множення зворотної різниці співвідношення вологості на загальну кількість вологи, яку потрібно видалити. Коли кількість необхідного повітря визначено, час сушіння буде визначено або покладаючись на швидкість сушіння продукту за переважаючих психрометричних умов, або необхідно прийняти рішення щодо тривалості сушіння.

Поділивши загальну кількість повітря, необхідного для сушіння, на кількість годин, необхідних для сушіння, ви отримаєте мінімальну швидкість сушіння, яка гарантуватиме належне сушіння продукту. Використовуючи психрометричну діаграму для визначення необхідної кількості повітря використовували температуру навколишнього повітря, підвищену температуру повітря (на основі сонячного

теплого нагріву осушуваного повітря) і відносну вологість при навколишній і підвищеній температурах. Психрометрична функція була вбудована в MATLAB для автоматичного обчислення різниці між нижнім і верхнім співвідношенням вологості як маси води на кілограм, яку може видалити повітря. Тиск насиченої пари оцінювався за формулами:

$$sPg = (-1.547411 + 0.1886945)ts + 0.0049126(ts - 25.0002)^2 + 7.3617 \times 10^{-5} (ts - 25.0002)^3 + 6.177 \times 10^{-7} (ts - 25.0002)^4; \quad (10)$$

Коефіцієнт вологості; (HR) потім оцінюється за співвідношенням, яке пов'язує відносну вологість; phi (у десятковій формі), тиск насиченої пари; sPg — атмосферний тиск; patm з коефіцієнтом вологості.

Після оцінки об'ємної швидкості потоку сухого повітря для досягнення адекватного сушіння необхідна потужність вентилятора була визначена як функція необхідного об'ємного потоку повітря та опору потоку, з яким стикається повітряний потік в результаті його проходження через канали та глибину зерна. Рівняння Шедда було використано для обчислення різниці тиску вздовж шляху потоку (глибина колосся) з пов'язаними модифікаторами та константами, властивими колоссям.

Деякі параметри, необхідні для розрахунку потужності вентилятора, включають:

- бажаний потік повітря – необхідний об'ємний потік повітря за одиницю часу вираховується з попередньої оцінки, наведеної в 3.3.2 вище. З попередніх розділів було показано, що розрахований потік повітря, таким чином, представляє ряд зовнішніх змінних, таких як температура сушіння, вологість і кількість вологи, яку потрібно видалити, оскільки він був розрахований з урахуванням цих параметрів;

- конфігурація сушарки – геометрична конфігурація сушарки є життєво важливою для визначення площі потоку поперечного перерізу, а також глибини заповнення продукту. На цьому етапі повітряний потік може бути представлений у вигляді об'ємного потоку в секунду на площу поверхні, що, по суті, є профілем швидкості. Глибина заповнення є функцією об'ємної щільності та важливим

фактором для оцінки загального опору потоку в системі сушіння. Наприклад, неглибока грядка з колоссяною кукурудзою на глибині 0,1 м матиме менший опір повітряному потоку, а отже, вимагатиме менше сили для прокачування повітря через грядку, ніж грядка з колоссяною кукурудзою глибиною один метр;

- глибина зерна в сушильному бункері – глибина заповнення була оцінена як функція конфігурації бункера, а також об'ємної щільності колосся. Глибина заповнення колоса встановлювалася з точки зору розміру сушильної ємності та ваги зібраного колоса, який необхідно висушити, використовуючи насипну щільність.

Глибина засипки зерна визначалася за рівнянням (11):

$$L (m) = \frac{w (kg)}{BD \left(\frac{kg}{m^3} \right) * l(m) * b (m)} \quad (11)$$

де L – глибина заповнення колоса. w — маса колосся, зібраного для сушіння, BD — об'ємна щільність, а l і b — довжина та ширина сушарки.

- статичний тиск – Очікуваний опір потоку повітря в об'ємі зерна, яке потрібно висушити, оцінюється за допомогою рівняння Шедда (12) та тісно пов'язаних з ним параметрів для конкретної культури.

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{aQ^2}{\log_e (1+bQ)} \quad (12)$$

Потужність вентилятора: Потужність, необхідна вентилятору для досягнення належного сушіння, розраховується за допомогою рівняння:

$$F_P = dp * Q / 63.43 * (\eta) \quad (13)$$

Вимоги до потужності вентилятора для аерованого сушіння 100 кг колосової кукурудзи були розраховані та оцінка розміру турбіни була проведена за розрахунковою схемою, параметри якої обговорювалися в сесіях вище.

Гальмівний динамометр Prony був розроблений в Центрі інженерного проектування (EDC) Департаменту біосистем і сільськогосподарської інженерії Університету Кентуккі з метою вимірювання крутного моменту в обертовому валу. Диск був виточений на валу ротора турбіни, а гальмівний супорт був встановлений на відомому радіусі від центру вала. Датчик навантаження S-типу, попередньо відкалібрований за стандартними вагами, був встановлений на затиснутому кінці

супорта, так що, коли гальмівні супорти застосовуються злегка, зчеплення супорта забезпечує м'яке захоплення обертового диска та диска. має тенденцію перетягувати супорт уздовж напрямку обертання, таким чином натягуючи тензодатчик. Величина сили, що діє на тензодатчик, вимірюється в кілограмах (або фунтах), тоді як швидкість обертання вала або турбіни вимірюється за допомогою цифрового тахометра.

Були проведені розрахунки, щоб визначити потребу в електроенергії для примусової конвективної сушки 100 кг колосової кукурудзи в кліматичних умовах із середньою температурою навколишнього середовища 27°C і відносною вологістю від 80% до 85%. Передбачається, що повітря, що сушиться, піднімається на 10°C над навколишнім середовищем за допомогою сонячного нагрівання, що призводить до зниження відносної вологості до 40% і 45% відповідно. Відповідно, гірші умови сушіння відбуваються при 27°C і відносній вологості навколишнього повітря 85%, коли сонячне опалення недоступне, а найкращі умови сушіння відбуваються при 37°C і відносній вологості 40, коли досягається верхня сонячна температура, а відносна вологість навколишнього повітря 80% знижується до 40%.

Розрахунки проводилися для сушіння протягом 2 днів і протягом 4 днів, у яких початковий вміст води, як передбачається, значно зменшився протягом перших двох днів, але знизився до станів тривалого зберігання протягом 4 днів. Таблиця 3.1 показує значення, отримані за допомогою графічної функції користувача MATLAB, яка використовувала всі рівняння для визначення потужності вентилятора, починаючи з оцінки навантаження сушіння.

Таблиця 1. Вимоги до потужності вентилятора для ефективного сушіння 100 кг качанної кукурудзи від 24% до 14% вмісту води (ваг)

Окрім підвищення вимог до потужності вентилятора, сушіння сільськогосподарських продуктів із високою вологістю повітря в тропічних регіонах створює ризик розвитку цвілі. Таким чином, припущення цього дослідження полягає в тому, що колосся сушитиметься лише в навколишньому повітрі, в якому сонячне нагрівання або деякі інші форми нагрівання впливають на підвищення температури щонайменше на 10°C. Це припущення дозволяє обмежити проектні міркування середньою температурою 35°C і відносною вологістю 45% у регіоні з вимогою до потужності, обмеженою до 10 Вт для 2-денних операцій сушіння та значно нижчою для 4-денного сушіння. Було застосовано проектний коефіцієнт безпеки 1,5, і ітерації радіуса турбіни для необхідної потужності для роботи в різних регіонах швидкості вітру було виконано за допомогою сценарію MATLAB для радіуса турбіни (табл. 2).

Для того, щоб задовольнити вимогу для перевірки гіпотези про те, що механічна вітрова турбіна підходить для сушіння зерна в тропічному теплом та вологому кліматі, тестова турбіна повинна бути здатна живити вентилятор з потужністю повітряного потоку, що відповідає потоку повітря качанів кукурудзи, необхідному для висихання протягом 48 годин, щоб не прийняти нульову гіпотезу.

Таблиця 2. Вимоги до радіуса вітрової турбіни для забезпечення необхідної потужності вентилятора при різній швидкості вітру

У попередньому дослідженні було протестовано чотири невеликі вітряні турбіни (з радіусом стріловидності 0,3 м для HAWT), щоб визначити, яка з турбін більш доцільна для механічної аерації (рис. 10).

Рисунок 10. Ескізи вітрових турбін з вертикальною та горизонтальною осями

На рисунку 10 показані тестові турбіни на етапі попереднього дослідження:

- турбіна з вертикальною віссю лопатки 0,6 м (3VVAWT);
- Турбіна з 4 лопатями 0,6 м з вертикальною віссю (4VVAWT);
- закрита 4-лопатева турбіна з вертикальною віссю (E4VVAWT);
- 12-лопатевий вітряк 0,6 м з горизонтальною віссю (HAWT).

Кожну з турбін перевіряли на вихідну потужність із застосуванням механічних методів, у яких для оцінки крутного моменту використовувався гальмівний динамометр Prony з каліброваним тензодатчиком, тоді як калібрований блок вентиляторів використовувався для визначення швидкості вітру, а тахометр визначав швидкість обертання турбіни. E4VVAWT з корпусом базується на припущенні принципу Бернуллі та рівняння безперервності, згідно з якими звужений або воронкоподібний шлях зазвичай збільшує швидкість потоку рідини. Відомо, що збільшення швидкості вітру збільшує загальну потужність, яку використовує турбіна. Під час тестування 4VVAWT і закрита версія E4VVAWT продемонстрували нижчу вихідну потужність і потенціал швидкості обертання. Спостережувана низька потужність у 4VVAWT не була несподіваною, враховуючи, що турбіни savonius, що працюють від опору, використовують лише половину загальної площі стріловидності для прямої тяги, тоді як друга половина є надлишковою та може бути контрпродуктивною в турбінах із поганою конструкцією. Профіль розсіяної потужності для E4VVAWT свідчить про високу турбулентність усередині камери, що значно підтверджує той факт, що збільшення

швидкості, що виникає в результаті ефекту Бернуллі, і зіткнення, що відбувається з лопаттю всередині камери, створюють зону інтенсивної турбулентності, що знижує ККД турбін. добувати енергію.

У той час як воронкоподібне формування могло зменшити ефект люфту від набігаючого вітру на другу половину лопаті, воронкоподібне також зменшувало ефективну стрілоподібну площу, з якою вітер впливає на лопатку, і, отже, компонент площі рівняння потужності турбіни був зменшений.

На рисунку 11 показаний графік виміряної потужності при різних швидкості вітру для кожної з чотирьох вітрових турбін, що тестуються. Режим зони низької швидкості вітру від 2 м/с до 5/5 м/с представляв інтерес, оскільки це відповідає середній швидкості вітру для гвінейської савани протягом місяців липня та серпня, коли врожай зерна досягає піку. На рисунку 11 показано графіки для середньої швидкості обертання для кожного з пристроїв.

Рисунок 11. Графіки залежності швидкості вітру від виміряної потужності турбіни для всіх 4 турбін

Результати дослідження потужності турбіни, як показано на малюнку 11, показують, що 3VVAWT показав найвищу потужність на верхніх межах швидкості вітру. Однак він не почав виробляти електроенергію, поки швидкість вітру не досягла приблизно 4 м/с. Профіль його швидкості обертання (рис. 12) також показує, що він має постійне зростання швидкості обертання, яка починається трохи вище

2 м/с. При швидкості вітру понад 5,5 м/с його потужність перевищувала 12-лопатевий вітряк, що робило аеродинамічний профіль типу 3VVAWT кращим за багатолопатевою вітряну турбіну при високій швидкості вітру. Lynx 6 розроблений для виробництва електроенергії, і вітряні турбіни, що виробляють електроенергію, повинні мати оптимальну номінальну швидкість вітру приблизно 12 м/с. Однак багатолопатеві турбіни, характерні для водяних вітряних млинів, працюють повільно, але стабільно в умовах слабого вітру завдяки своїй високій міцності.

Погана продуктивність 3-лопатевого VAWT (3VAWT) при низькій швидкості вітру, таким чином, не придатна для роботи в тропічних зонах, де оптимальна швидкість вітру часто нижче 5 м/с. Вітряк з 12 лопатями (HAWT) показав більш високий профіль потужності в режимі середньо-слабої швидкості вітру вище 2,5 м/с і 5 м/с. Швидкість його обертання скоротилася рано і стабільно залишається вище всіх інших типів турбін, як показано на малюнку 3.5. Під час випробувань 4-лопатевої HAWT було зафіксовано відсутність пусків при більшій частині нижньої швидкості вітру, за винятком 5,5 м/с, що вказує на вплив високої міцності при роботі багатолопатевої турбіни при слабкому вітрі.

Рисунок 12. Графіки залежності швидкості вітру від швидкості обертання турбіни для всіх 4 турбін

Базуючись на вищій потужності та профілі швидкості обертання 12-лопатевої турбіни з горизонтальною віссю в зоні середньої та низької швидкості вітру від 2,5 до 5 м/с, турбіна з горизонтальною віссю була обрана як потенційна турбіна для застосування на фактичному полі експериментального масштабу вивчення. Згодом була побудована дерев'яна турбіна з 12 лопатями, рівномірною хордою, регульованим кроком, з огляду на легкість тиражування в країнах, що розвиваються. В інших випадках для зменшення паразитних втрат у підшипниках використовувалася легка бальзова деревина. Однак це мало обмеження щодо максимального розміру хорди, оскільки листи могли демонструвати структурну нестабільність із збільшенням довжини хорди. На рисунку 12 зображено вітряну турбіну з радіусом 0,35, виготовлену з деревини бальзи та випробувану в аеродинамічній трубі розміром 1,2 x 1,2 м.

Рисунок 12. Калібрування вітрової турбіни та випробування в аеродинамічній трубі

З таблиці 3.3 примусових конвективних характеристик турбіни з вентилятором аерації за різних умов швидкості вітру, повідомлено про тенденцію до збільшення потужності від $0,37 \pm 0,02$ Вт при $1,9 \pm 0,01$ м/с до $5,98 \pm 0,20$ Вт при $5,6 \pm 0,03$ м/с. . Загальна ефективність системи (конвективна вихідна потужність, поділена на потужність вітру в охопленій турбіною зоні) зросла з $6,42\% \pm 0,30$ при нижніх межах швидкості вітру в дослідженні, досягаючи піку близько $8,61\% \pm 0,32$ при швидкості вітру близько $3,5 \pm 0,02$ м/с, після чого ефективність поступово падає до мінімуму $4,2\% \pm 0,07$ при швидкості вітру $5,6 \pm 0,03$ м/с. Ця тенденція показала, що вітрогенератор більш придатний для роботи в середньому діапазоні досліджуваної швидкості вітру (2,5-5,5 м/с).

Це спостереження ще більше підтверджує думку про те, що багатолопатеві вітряні системи працюють краще при операціях із низькою швидкістю вітру, таких як фрезерування, перекачування води та розпилювання деревини, де, як відомо, переважає високе співвідношення опору та підйому, пов'язане з високою аеродинамікою крутного моменту (Karekezi, 2002).). Це також може пояснити низьке виробництво електроенергії, коли електричний генератор використовувався для визначення ефективності вітряної турбіни, як показано на рис. 13.

Рисунок 13. Зведений графік потужності вітряної турбіни (Вт) і ефективності при різних швидкостях вітру

Профіль швидкості обертання для вітряної турбіни був однаковим чином перевірений при різних швидкостях вітру та наведений у таблиці 3.4. Відповідно, оберти до 476 обертів на хвилину були зареєстровані при швидкості вітру 5,4 м/с, що представляє співвідношення обертів на кінці приблизно 2,77, що більше, ніж середнє значення для турбіни з 12 лопатями, для якої рекомендовано мати співвідношення обертів на кінці 2 (Менвелл, 2010).

EarSim – це аббревіатура, яка використовується в цьому дослідженні для позначення використання сценарію для швидкого розрахунку параметрів, необхідних для сушіння колосся, з використанням психрометричних властивостей навколишнього середовища та осушувального повітря як визначника швидкості сушіння та об'ємних вимог.

Графічний інтерфейс користувача, що виконує функції у фоновому режимі, усуває потребу в послідовних ручних перерахунках, які є схильними до помилок і інтенсивними. Наприклад, незначна зміна температури навколишнього середовища або температури сушіння може призвести до значних змін кількості повітря, необхідного для сушіння, і, як наслідок, потреби в електроенергії.

Рисунок 14. Знімок екрана графічного інтерфейсу MATLAB для оцінки вимог до потужності сушіння для колосся (EarSim)

Подібним чином, відмінності в глибині заповнення кукурудзи або розмірах бункера для врахування змін у кількості зерна для сушіння також призведуть до змін у вимогах до потужності та тиску. Завдяки використанню EarSim усувається зовнішній виклик психрометричних діаграм для вилучення важливих розрахункових змінних, оскільки психрометричні рівняння вбудовані у функцію.

У таблиці 3 наведено результати вимог щодо повітряного потоку для сушіння колосся, отримані за допомогою сценарію MATLAB, який розраховує, яка потужність потрібна для сушіння певної кількості зерна. Були розраховані діапазони значень від 10 кг (розмір досліджуваної вибірки) до 1000 кг (максимальна продуктивність дрібного урожаю). Потужність партійного сушіння дрібних фермерів була визначена на основі загального врожаю 1000 кг колосової кукурудзи за один урожай, причому близько 600 кг (частина, яка зазвичай зберігається і тому потребує сушіння) збирається 4-6 партіями приблизно по 100 кг.

Прототип вітряної турбіни з ефективністю від 4,2% до 8,6% мав об'ємну аераційну потужність від 0,16 до 0,52 м³/с і, отже, досягав сушіння зерна до 100 кг. Це забезпечить достатню аерацію для лабораторного дослідження сушіння,

оціночна вимога до об'єму на основі EarSim становить 0,03 до глибини 1 м. Значення були отримані для відносної вологості навколишнього середовища 85% і температури повітря, підвищеної до 35°C з 35°C за допомогою моделювання сонячного теплового колектора.

Таблиця 3. Вимоги до потужності повітряного потоку та опору потоку для сушіння колосся, оцінені Ear Sim

4.4. Висновки за розділом

Вітряна стрілоподібна турбіна з діаметром 1,4 м була побудована з використанням плоских лопатей з бальзового дерева, довжина хорди яких становила 0,076 м і радіус субблока 0,3 м. Два субблоки були встановлені вздовж повної довжини лопаті з роздільною кільцевою оболонкою шириною 0,82 м, що відокремлювала перший комплект субблоків від другого комплекту. Загальний ККД турбіни на основі співвідношення повітряного потоку до потужності вітру становив від 4,2 до 8,6 %. Випробування повітряного потоку з використанням адаптованого вентилятора кондиціонера показало, що турбіна забезпечує аерацію до 0,52 м³/с.

Значення втрат статичного тиску в багатошаровому бункері не повідомлялося, оскільки роздільна здатність приладів для деяких меж досліджуваного діапазону була суперечливою, але показання показали послідовні тенденції, які свідчать про те, що аерація, створена за допомогою турбіни, подолала статичні втрати до 1 м глибини заповнення сушарки розміром 0,5 x 0,5 x 1,0 м у складі колосся. Це твердження підтверджується результатами випробувань туману, під час яких постійно демонструвався низький потік повітря через бункер, коли увімкнено вентилятор.

РОЗДІЛ V. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРОБОК

5.1. Охорона праці

У динамічній сфері відновлюваної енергії, яка постійно розвивається, вітряні турбіни є колосальними іконами прогресу до більш електрифікованого та безвуглецевого суспільства. Використання сили вітру для виробництва електроенергії не тільки зменшує наш вуглецевий слід, але й відкриває величезні можливості для працевлаштування та технологічних інновацій. На цьому фоні безпека працівників вітрової енергетики займає центральне місце. Навчання та підготовка є наріжним каменем безпеки вітрових турбін. Усі працівники, задіяні в вітроенергетичних роботах, повинні пройти комплексне та сертифіковане навчання на місцях, щоб знати тонкощі компонентів турбіни, протоколи надзвичайних ситуацій та розпізнавання небезпеки. Програми сертифікації (наприклад, ті, що пропонуються OSHA в США) гарантують, що працівники володіють необхідними навичками для ефективного вирішення завдань.

Робота на значній висоті є визначальною характеристикою технічного обслуговування та ремонту вітрових турбін. Системи захисту від падіння, включно з ремнями та точками кріплення, не підлягають обговоренню. Регулярна перевірка цих систем безпеки та досконале уявлення про те, як ними користуватися, є важливими для підтримки їх ефективності. Вітрові турбіни містять складні електричні системи. Належна підготовка з електробезпеки, включаючи процедури поводження з ланцюгами під напругою, заземлення та тестування ізоляції, має першочергове значення для запобігання нещасним випадкам із електричним струмом під час тестування, лагодження, ремонту чи обслуговування вітрової турбіни. Небезпека пожежі є реальністю у вітроенергетичних роботах через електричні компоненти та наявність мастильних матеріалів усередині турбін. Адекватні системи пожежогасіння та чітко розроблені плани реагування на надзвичайні ситуації можуть мінімізувати небезпеку потенційних пожеж.

Погодні умови значно впливають на роботу вітряних турбін. Моніторинг прогнозів погоди та наявність чітко визначених планів евакуації (на випадок

швидкої зміни умов) є важливими для запобігання нещасним випадкам під час несприятливих погодних явищ.

Працівники вітрової енергетики повинні бути оснащені відповідними ЗІЗ, включаючи каски, захисні окуляри, рукавички та черевики зі сталевими носками. ЗІЗ є дуже важливим засобом активної безпеки, оскільки вони виступають першою лінією захисту під час нещасних випадків і можуть мінімізувати збитки або травми.

У секторі вітроенергетики безпека – це не вибір, а обов’язок. Вітрові турбіни є надзвичайно складними спорудами, які зазвичай розміщуються у віддалених місцях, тому протоколи безпеки надзвичайно важливі для працівників та/або будь-якої особи на місці. Дотримання основних заходів безпеки для вітряних турбін, описаних у цій магістерській роботі, забезпечує добробут працівників і оптимальне функціонування турбін.

Перш ніж розпочати будь-яке будівництво чи демонтаж вітрових турбін, важливо провести ретельну оцінку ризику. Визначте потенційні небезпеки, такі як падіння, небезпеки ураження електричним струмом і роботу важкої техніки, а також визначте ймовірність і тяжкість травми чи шкоди. Це допоможе визначити пріоритетність ризиків і сформулювати план безпеки. Оцінка ризиків дозволить вам визначити небезпеки та оцінити ризики, пов’язані з проектом. Визначивши небезпеки, ви можете вжити заходів для їх усунення або контролю, що допоможе забезпечити безпеку працівників. Важливо також переконатися, що оцінка ризиків постійно оновлюється, щоб можна було якнайшвидше виявити нові небезпеки та вирішити їх.

Регулярні перевірки, тестування та технічне обслуговування обладнання можуть допомогти виявити та усунути будь-які проблеми, перш ніж вони стануть проблемою. Це також допоможе забезпечити правильну та безпечну роботу обладнання. Роботодавці також повинні встановити процедури безпечної експлуатації та обслуговування обладнання та забезпечити навчання працівників цим процедурам. Правильно обслуговуючи обладнання, роботодавці можуть зменшити ризик його виходу з ладу, що може призвести до серйозних нещасних випадків і травм.

5.2. Екологічна експертиза

Використання енергії вітру є одним із найчистіших і найстійкіших способів виробництва електроенергії, оскільки воно не виробляє токсичного забруднення або викидів глобального потепління. Вітер також багатий, невичерпний і доступний, що робить його життєздатною та широкомасштабною альтернативою викопному паливу. Незважаючи на величезний потенціал, існує цілий ряд впливів на навколишнє середовище, пов'язаних з виробництвом вітрової енергії, які слід визнати та пом'якшити.

Вплив вітрових електростанцій на землекористування суттєво різниться залежно від місця розташування: вітряні турбіни, розміщені на рівнинних територіях, як правило, використовують більше землі, ніж ті, що розміщені на горбистих територіях. Однак вітрові турбіни не займають всю цю землю; вони повинні бути розташовані на відстані приблизно від 5 до 10 діаметрів ротора один від одного (діаметр ротора - це діаметр лопатей вітрової турбіни). Таким чином, самі турбіни та навколишня інфраструктура (включаючи дороги та лінії електропередач) займають невелику частину загальної площі вітрового об'єкта.

Опитування, проведене Національною лабораторією відновлюваної енергетики великих вітрових установок у Сполучених Штатах, показало, що вони використовують від 30 до 141 акра на мегават вихідної потужності (типова нова вітрова турбіна загального користування становить близько 2 мегават).

Однак менше ніж 1 акр на мегават порушується постійно, і менше 3,5 акрів на мегават тимчасово порушується під час будівництва [1]. Решту землі можна використовувати для різноманітних інших продуктивних цілей, включаючи випас худоби, сільське господарство, автомагістралі та пішохідні стежки [2]. Крім того, вітроелектростанції можна розташувати на залишених територіях (закинутих або недостатньо використовуваних промислових землях) або інших комерційних і промислових місцях, що значно зменшує занепокоєння щодо землекористування.

Вплив вітряних турбін на дику природу, особливо на птахів і кажанів, був широко задокументований і вивчений. Недавній огляд рецензованих досліджень Національним вітровим координаційним комітетом (NWCC) виявив докази загибелі

птахів і кажанів від зіткнень із вітровими турбінами та через зміни тиску повітря, спричинені обертовими турбінами, а також через порушення середовища проживання. NWCC дійшов висновку, що ці впливи є відносно невеликими та не становлять загрози для популяцій видів.

Крім того, дослідження поведінки дикої природи та прогрес у технології вітрових турбін допомогли зменшити загибель птахів і кажанів. Наприклад, біологи дикої природи виявили, що кажани найбільш активні при низькій швидкості вітру.

Інші впливи на дику природу можна пом'якшити шляхом кращого розміщення вітрових турбін. Служба охорони рибного господарства та охорони дикої природи США зіграла провідну роль у цих зусиллях, скликавши консультативну групу, до складу якої входять представники промисловості, державних і плеємінних урядів, а також некомерційних організацій, які надали вичерпні рекомендації щодо відповідного розміщення вітрових електростанцій та найкращих практик управління

Звуковий і візуальний вплив є двома основними проблемами охорони здоров'я та громади, пов'язаними з роботою вітрових турбін. Більшість звуків, які створюють вітряні турбіни, є аеродинамічними, викликаними рухом лопатей турбін у повітрі. Існує також механічний звук, який створює сама турбіна. Загальний рівень шуму залежить від конструкції турбіни та швидкості вітру.

Деякі люди, які живуть поблизу вітрових установок, скаржилися на проблеми зі звуком і вібрацією, але фінансовані промисловістю та урядом дослідження в Канаді та Австралії виявили, що ці проблеми не впливають негативно на здоров'я населення. Однак для розробників вітрових турбін важливо серйозно ставитися до цих проблем громади, дотримуючись найкращих практик «доброго сусіда» щодо розміщення турбін та ініціюючи відкритий діалог із постраждалими членами громади. Крім того, технологічні досягнення, такі як мінімізація недоліків поверхні лопатей і використання звукопоглинаючих матеріалів, можуть зменшити шум вітрової турбіни.

5.3. Економічна ефективність

Вітроенергетичні проекти забезпечують багато економічних переваг для сусідніх громад: робочі місця, нове джерело доходу для фермерів і власників ранчо у вигляді платежів за оренду землі та збільшення місцевої податкової бази. Енергія вітру також може знизити тарифи на електроенергію для сусідів по проекту, а в Техасі навіть призвела до безкоштовної електроенергії.

Вітроенергетичні проекти створюють робочі місця в сільських громадах у виробництві, транспорті та будівництві. Наприкінці 2020 року зайнятість у секторі вітроенергетики досягла нового максимуму – понад 116 800 штатних працівників. Зайнятість у цьому секторі коливається залежно від рівня розгортання, статусу федеральних стимулів, торгівлі та курсу долара.

Під час розробки та будівництва вітрової електростанції буде найнято багато людей, включаючи місцеві будівельні служби та компанії за межами громади. Ця діяльність забезпечить значний непрямий економічний вплив (наприклад, виробництво та ланцюжок поставок) і індукований вплив (наприклад, збільшення витрат у готелях і ресторанах) на етапі будівництва проекту.

Вітрові турбіни мають невелику площу, тому можна вирощувати зернові культури та випасати худобу поблизу основи турбіни, пропонуючи сільським землевласникам новий товарний урожай. Протягом 2019 року вітроенергетичні проекти на приватних землях забезпечили 706 мільйонів доларів США в якості платежів за оренду землі сільським землевласникам.

Платежі за договором оренди землі зазвичай структуруються одним із трьох способів: фіксовані платежі, платежі на основі доходів або комбіновані платежі. Розробники проектів можуть віддати перевагу узгодженню певної структури платежів із землевласниками на основі економічних міркувань конкретного вітроенергетичного проекту. Компенсація землевласнику може відрізнятися для окремих проектів, і землевласники в одному проекті можуть мати різні узгоджені умови. Платежі податку на майно від масштабних вітрових проектів забезпечують надходження, необхідні сільським громадам для будівництва нових шкіл, доріг, мостів та іншої громадської інфраструктури.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Функція MATLAB, написана для розрахунку параметрів сушіння, необхідних для досягнення сушіння колосся за 48 годин, показала, що потужність аерації, створювана системою вітряної турбіни, була достатньою для лабораторного сушіння качанів вагою до 50 кг.

Дані, отримані в результаті цього дослідження, також свідчать про те, що прототип вітряної турбіни здатний досягти аерації кукурудзи до 100 кг, як продемонстрували попередні випробування аерації, а порівняння з розрахунками щодо вимог до якості повітряного потоку для швидкого сушіння колосової кукурудзи показало, що вона здатна підтримка активності аерованого сушіння до половини звичайної партії дрібного фермера.

Можна зробити висновок, що система використання вітру здатна задовольнити потребу сушіння в аерації типового дрібного фермера, який вирощує кукурудзу, за низької швидкості вітру, теплої та вологої погоди. Результат не підтвердив нульову гіпотезу, і вважається, що використання вітряної аерації має певний потенціал для збільшення швидкості повітряного потоку через невеликі партії (до 50 кг) колосся, а отже, має покращити видалення вологи та швидше сушіння. Дослідження сушіння в умовах, подібних до тих, у яких випробовувалася турбіна, рекомендується для подальшого дослідження.

Дослідження показало, що не було суттєвої різниці на рівні 0,05 у впливі потоку повітря при 0,02 м³/с і на нульових рівнях. Проте спостерігалася помітна статистична значущість на рівні 0,08 м³/с. Таким чином, застосування сушіння за допомогою вітру на вищому рівні потоку повітря забезпечить швидке видалення вологи з кукурудзи. Дослідження показує, що хоча сушіння колосової кукурудзи при нижчих рівнях повітряного потоку було відносно непередбачуваним із високими стандартними відхиленнями в часі до бажаного вмісту вологи, таких невідповідностей не було при вищому рівні повітряного потоку. Це означає, що більший потік повітря сприяє більш передбачуваному сушінню, що може означати, що пов'язані фактори, такі як те, наскільки відтворюваною була упаковка колосся в бункер, можна вважати незначними.