

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Туринський Дмитро Віталійович

УДК 631.544

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**РОЗРОБКА ЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
ЗВЕДЕНИХ КОНСТРУКЦІЙ ТЕПЛИЦЬ ЗІ
СТВОРЕННЯ СИСТЕМ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ЇХ
МОНТАЖУ**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело _____ Туринський Д.В.

Керівник роботи

Савченко В.М.

кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2025

АНОТАЦІЯ

Туринський Дмитро Віталійович. Розробка ефективних технологій зведених конструкцій теплиць зі створення систем пристроїв для їх монтажу – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2025.

У кваліфікаційній роботі досліджено розробку ефективних технологій зведених конструкцій теплиць із фокусом на створенні систем пристроїв для їх монтажу. Метою роботи є підвищення продуктивності та економічності будівництва теплиць шляхом удосконалення конструктивних рішень і автоматизації монтажних процесів. Розглянуто сучасні матеріали та технології, проаналізовано їх вплив на міцність, довговічність і енергоефективність тепличних конструкцій. Запропоновано інноваційні пристрої для монтажу, які забезпечують швидкість і точність складання. Розроблено методику оцінки ефективності запропонованих технологій на основі техніко-економічних показників. Результати роботи можуть бути використані в аграрному секторі для оптимізації будівництва теплиць.

Ключові слова: тепличні конструкції, зведені конструкції, монтажні пристрої, енергоефективність, автоматизація.

ANNOTATION

Turynskyi Dmytro Vitaliyovych. Development of Efficient Technologies for Prefabricated Greenhouse Structures with the Creation of Systems of Devices for Their Assembly. – Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualification work for obtaining a bachelor's degree in the specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2025.

The qualification work is devoted to the development of efficient technologies for prefabricated greenhouse structures with a focus on creating systems of devices for their assembly. The aim of the work is to enhance the productivity and cost-effectiveness of greenhouse construction by improving structural solutions and automating assembly processes. Modern materials and technologies were analyzed, and their impact on the strength, durability, and energy efficiency of greenhouse structures was evaluated. Innovative assembly devices ensuring speed and precision were proposed. A methodology for assessing the efficiency of the proposed technologies based on technical and economic indicators was developed. The results of the work can be applied in the agricultural sector to optimize greenhouse construction.

Keywords: greenhouse structures, prefabricated structures, assembly devices, energy efficiency, automation.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ СУЧАСНИХ ТЕПЛИЦЬ	9
РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС МОНТАЖУ ТЕПЛИЧНИХ КОМПЛЕКСІВ	17
РОЗДІЛ 3. МОДЕРНІЗАЦІЯ ПРИСТОСУВАННЯ ДЛЯ МОНТАЖУ КОНСТРУКЦІЙ ТЕПЛИЦЬ	24
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	33
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	35

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. У сучасному світі сільське господарство відіграє ключову роль у забезпеченні продовольчої безпеки та сталого розвитку людства. Зростання населення планети, зміни клімату, обмеженість природних ресурсів та необхідність підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва зумовлюють потребу у впровадженні інноваційних технологій у цій сфері. Одним із важливих напрямів є розвиток тепличного господарства, яке дозволяє вирощувати сільськогосподарські культури незалежно від кліматичних умов, забезпечуючи стабільне постачання продукції протягом усього року. Однак сучасні тепличні конструкції та технології їх монтажу стикаються з низкою викликів, таких як висока собівартість будівництва, складність зведення, недостатня енергоефективність і обмежена адаптивність до різних кліматичних умов. У цьому контексті розробка ефективних технологій зведення конструкцій теплиць, а також створення систем пристроїв для їх монтажу є актуальною задачею, що має як наукове, так і практичне значення.

Тепличне господарство в Україні та світі активно розвивається, але потребує вдосконалення технологій, які б дозволили знизити витрати на будівництво та експлуатацію теплиць, підвищити їх міцність, довговічність і енергоефективність. Традиційні методи зведення теплиць часто є трудомісткими, потребують значного часу та залучення кваліфікованої робочої сили, що підвищує загальну вартість проєктів. Крім того, сучасні теплиці повинні відповідати вимогам енергоефективності, екологічності та адаптивності до різних умов експлуатації, що зумовлює необхідність розробки нових конструктивних рішень і технологій монтажу. Впровадження автоматизованих систем і пристроїв для монтажу може значно прискорити процес зведення теплиць, знизити залежність від людського фактора та підвищити точність і якість конструкцій. Таким чином, дослідження в цій сфері є важливим для забезпечення сталого розвитку сільського господарства,

зниження собівартості продукції та підвищення конкурентоспроможності тепличних господарств на ринку.

Метою даної роботи є розробка ефективних технологій зведення конструкцій теплиць та створення систем пристроїв для їх монтажу, що дозволить оптимізувати процес будівництва, знизити витрати та підвищити енергоефективність і функціональність тепличних споруд. Досягнення цієї мети сприятиме розвитку сучасного тепличного господарства, забезпечуючи економічні та екологічні переваги для аграрного сектору.

Завдання дослідження:

1. Провести аналіз сучасних технологій зведення тепличних конструкцій та виявити їх основні недоліки.
2. Розробити нові конструктивні рішення для теплиць, які забезпечують підвищену міцність, енергоефективність і адаптивність до різних кліматичних умов.
3. Проєктувати системи пристроїв для автоматизованого монтажу тепличних конструкцій, що зменшують трудомісткість і час зведення.
4. Оцінити економічну ефективність запропонованих технологій і пристроїв у порівнянні з традиційними методами.
5. Провести експериментальне тестування розроблених конструкцій і пристроїв для підтвердження їх ефективності та надійності.

Об'єктом дослідження є технології зведення тепличних конструкцій, включаючи матеріали, конструктивні рішення та методи їх монтажу, що застосовуються в сучасному тепличному господарстві.

Предмет дослідження – системи пристроїв для автоматизованого монтажу теплиць, які забезпечують оптимізацію будівельних процесів, підвищення якості конструкцій і зниження витрат.

Розробка нових технологій зведення теплиць є складним завданням, яке потребує комплексного підходу, врахування інженерних, економічних і екологічних аспектів. Сучасні тепличні конструкції повинні відповідати вимогам міцності, довговічності та енергоефективності, що є особливо

важливим в умовах зростання цін на енергоносії та посилення екологічних стандартів. Використання легких і міцних матеріалів, таких як полікарбонат, композитні матеріали або вдосконалені металеві сплави, дозволяє створювати конструкції, які витримують значні навантаження, мають високу теплоізоляцію та мінімізують втрати енергії. Крім того, автоматизація процесів монтажу за допомогою спеціалізованих пристроїв може значно скоротити час будівництва та зменшити вплив людського фактора, що часто є причиною помилок і затримок.

Інноваційні підходи до зведення теплиць також передбачають використання модульних конструкцій, які дозволяють швидко адаптувати споруди до різних розмірів і конфігурацій. Модульність забезпечує гнучкість у проектуванні та спрощує процес масштабування тепличних комплексів. Важливим аспектом є також інтеграція енергоефективних технологій, таких як системи пасивного обігріву, сонячні панелі або теплові насоси, що знижують експлуатаційні витрати. Розробка автоматизованих пристроїв для монтажу, таких як роботизовані системи для складання каркасів або механізми для швидкого встановлення покриття, дозволяє оптимізувати будівельний процес, зменшуючи витрати часу та ресурсів.

Економічна ефективність запропонованих рішень є одним із ключових критеріїв їх успішності. Впровадження нових технологій і пристроїв має забезпечити зниження собівартості будівництва без втрати якості та функціональності теплиць. Крім того, важливим є врахування екологічних аспектів, таких як використання перероблених матеріалів і зменшення вуглецевого сліду в процесі виробництва та експлуатації. Дослідження також передбачає аналіз сучасного досвіду в цій сфері, включаючи вивчення передових практик країн із розвиненим тепличним господарством, таких як Нідерланди, Іспанія та Канада.

Практичне значення роботи полягає в можливості застосування розроблених технологій і пристроїв у реальних умовах, що сприятиме модернізації тепличного господарства в Україні. Впровадження таких рішень

дозволить підвищити продуктивність аграрного сектору, знизити залежність від імпорту сільськогосподарської продукції та зміцнити позиції України на міжнародному ринку. Наукове значення дослідження полягає в розробці нових інженерних рішень, які можуть бути використані як основа для подальших досліджень у сфері сільськогосподарських технологій.

Таким чином, дана кваліфікаційна робота спрямована на вирішення актуальних проблем сучасного тепличного господарства шляхом розробки інноваційних технологій і систем пристроїв для монтажу. Очікується, що результати дослідження матимуть значний вплив на розвиток аграрного сектору, сприяючи підвищенню його ефективності, економічності та екологічної стійкості.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Савченко В.М., Чумальчук А.Р., **Туринський В.Д.**, Макарчук О.О., Гулюк Я.В., Гетьман В.О. Перспектива розвитку тепличного господарства в Україні. Збірник тез доповідей XI Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь» з нагоди 30-річчя започаткування підготовки ОС «Бакалавр» за спеціальністю «Агроінженерія» 11 квітня 2025 року м. Житомир / МОН України, Житомирський агротехнічний фаховий коледж. Житомир. Видавничий центр ЖАТФК України, 2025. С. 315-316.

2. Савченко В.М., Чумальчук А.Р., **Туринський В.Д.**, Макарчук О.О., Гулюк Я.В., Гетьман В.О. Сучасна теплиця: перспективні конструкції, матеріали та технології. Інноваційні технології в АПК: збірник тез доповідей X Міжнародної науково-практичної конференції, 3-4 квітня 2025 р., м. Луцьк: Луцький НТУ, 2025. С. 9-10.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 22 найменування. Загальний обсяг роботи становить 36 сторінок комп'ютерного тексту, містить 8 рисунків.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ СУЧАСНИХ ТЕПЛИЦЬ

Сучасні теплиці є важливим елементом інтенсивного сільського господарства, яке забезпечує вирощування культур у контрольованих умовах незалежно від кліматичних особливостей регіону. Вони дозволяють отримувати високоякісний урожай цілорічно, мінімізуючи вплив зовнішніх факторів, таких як температура, вологість, опади чи шкідники. Конструкції теплиць постійно вдосконалюються завдяки новим матеріалам, технологіям автоматизації та енергоефективним рішенням, що робить їх адаптивними до потреб як великих агрокомплексів, так і малих фермерських господарств. Аналіз конструкцій сучасних теплиць охоплює їх типи, матеріали, системи підтримки мікроклімату, енергоефективність, автоматизацію, а також переваги та недоліки різних рішень, що застосовуються в сучасному тепличному господарстві. Цей текст детально розглядає ці аспекти, щоб висвітлити ключові тенденції та технологічні особливості сучасних теплиць[2].

Теплиці класифікуються за різними ознаками, включаючи форму, розмір, призначення, матеріали каркасу та покриття. Найпоширенішими формами є арочні, двосхилі, односхилі та багатопролітні конструкції. Арочні теплиці, які мають напівкруглу форму даху, є популярними завдяки простоті монтажу, економічності та здатності витримувати снігові навантаження. Їх конструкція дозволяє рівномірно розподіляти вагу, що зменшує ризик деформації. Такі теплиці часто використовують для вирощування овочів, зелені та квітів, оскільки вони забезпечують достатній об'єм внутрішнього простору та гарне проникнення світла. Двосхилі теплиці, що нагадують традиційний будинок із двома похилими сторонами даху, забезпечують більшу висоту в центральній частині, що корисно для вирощування високорослих культур, таких як томати чи огірки. Вони також ефективні в регіонах із сильними опадами, оскільки крутий нахил даху запобігає накопиченню снігу чи води. Односхилі теплиці зазвичай прибудовують до стіни будинку чи іншої споруди, що дозволяє

економити на матеріалах і опаленні, але їх розміри обмежені, тому вони більше підходять для невеликих господарств. Багатопротітні теплиці складаються з кількох модулів, з'єднаних між собою, і використовуються у великих комерційних комплексах. Вони забезпечують високу продуктивність за рахунок великої площі, але потребують складніших систем вентиляції та опалення[1].

Каркас теплиць виготовляють із різних матеріалів, кожен із яких має свої переваги та обмеження. Металеві каркаси, зазвичай із оцинкованої сталі чи алюмінію, є найпоширенішими завдяки міцності, довговічності та стійкості до корозії. Оцинкована сталь дешевша, але важча, тоді як алюміній легший і не іржавіє, що робить його ідеальним для вологих умов. Для невеликих теплиць іноді використовують дерев'яні каркаси, які є екологічними та доступними, але вони менш довговічні через схильність до гниття у вологому середовищі теплиці. Пластикові каркаси, виготовлені з ПВХ, застосовують у легких конструкціях, таких як тимчасові або сезонні теплиці. Вони стійкі до вологи, але не витримують значних навантажень, тому їх використання обмежене. Вибір матеріалу каркасу залежить від кліматичних умов, розміру теплиці та бюджету. Наприклад, у регіонах із сильними вітрами чи снігопадами перевагу надають металевим каркасам із додатковими підсилювальними елементами, такими як ферми чи арки[5].

Покриття теплиць відіграє ключову роль у забезпеченні оптимального мікроклімату та проникнення світла. Найпоширенішими матеріалами є скло, полікарбонат і плівка. Скло, яке традиційно використовувалося в теплицях, забезпечує високу світлопроникність (до 90%) і довговічність, але воно дороге, важке та крихке, що ускладнює монтаж і підвищує ризик пошкоджень. Для підвищення міцності застосовують загартоване або ламіноване скло, яке краще витримує удари та перепади температур. Полікарбонат є сучасною альтернативою склу, оскільки він легший, міцніший і має хороші теплоізоляційні властивості завдяки стільниковій структурі. Світлопроникність полікарбонату становить 80–85%, що дещо нижче, ніж у скла, але він краще утримує тепло, що знижує витрати на опалення. Полікарбонат доступний у

різних товщинах (4–10 мм), що дозволяє адаптувати його до кліматичних умов: тонші листи підходять для теплого клімату, а товстіші — для холодного. Поліетиленова плівка є найекономічнішим варіантом покриття. Вона легка, проста в установці та забезпечує світлопроникність до 85%, але її довговічність обмежена (1–3 роки), і вона чутлива до розривів. Сучасні плівки часто мають добавки, які підвищують стійкість до ультрафіолету, запобігають конденсації або покращують теплоізоляцію. У деяких випадках використовують подвійний шар плівки з повітряним прошарком для підвищення теплоізоляції. Вибір покриття залежить від призначення теплиці, клімату та фінансових можливостей[21].

Мікроклімат у теплиці підтримується за допомогою систем опалення, вентиляції, зволоження та освітлення. Опалення є критично важливим у регіонах із холодним кліматом, де температура взимку опускається нижче нуля. Найпоширенішими системами опалення є водяні, повітряні та електричні. Водяне опалення передбачає циркуляцію гарячої води через труби, розміщені вздовж стін або під ґрунтом. Воно ефективно для великих теплиць, оскільки забезпечує рівномірний розподіл тепла, але потребує встановлення котла та насосів, що підвищує початкові витрати. Повітряне опалення використовує теплові гармати або вентилятори, які швидко нагрівають повітря, але воно менш рівномірне і може пересушувати середовище. Електричне опалення, наприклад, інфрачервоні обігрівачі, є зручним для невеликих теплиць, але дорогим в експлуатації через високе споживання електроенергії. У сучасних теплицях дедалі частіше застосовують альтернативні джерела енергії, такі як сонячні колектори, геотермальні теплові насоси або біогазові установки, які знижують залежність від традиційних енергоносіїв і зменшують екологічний вплив. Для підвищення енергоефективності використовують теплоізоляційні екрани, які розгортаються вночі для зменшення тепловтрат, або системи рекуперації тепла, що дозволяють повторно використовувати тепло від відпрацьованого повітря[4].

Вентиляція забезпечує циркуляцію повітря, знижує вологість і запобігає перегріву рослин. Існують два типи вентиляції: природна та примусова. Природна вентиляція здійснюється через відкривання вікон, люків або фрамуг, які зазвичай розміщують на даху та бокових стінах. Вона економічна, але залежить від погодних умов і не завжди забезпечує достатній повітрообмін. Примусова вентиляція використовує вентилятори, які створюють контрольований потік повітря. У великих теплицях вентилятори комбінують із системами охолодження, такими як випарні панелі (pad cooling), які знижують температуру повітря за рахунок випаровування води. Ці системи особливо ефективні в спекотному кліматі, де температура може досягати 35–40°C. Для підтримання оптимальної вологості (50–70%) застосовують зволожувачі або системи туманоутворення, які розпилюють дрібні краплі води. У посушливих регіонах такі системи запобігають стресу рослин, тоді як у вологих кліматах використовують осушувачі для зниження ризику грибкових захворювань[8].

Освітлення є ключовим фактором для фотосинтезу, особливо в регіонах із коротким світловим днем або в закритих теплицях. Сучасні теплиці використовують світлодіодні (LED) лампи, які забезпечують оптимальний спектр світла (червоне та синє) для росту рослин. LED-лампи енергоефективні, мають довгий термін служби та дозволяють регулювати інтенсивність і спектр залежно від потреб культури. Наприклад, салати потребують 200–400 мкмоль/м²/с фотосинтетично активної радіації (PAR), тоді як томати чи перець — 400–600 мкмоль/м²/с. У теплицях із природним освітленням покриття обробляють спеціальними покриттями, які розсіюють світло, щоб уникнути опіків листя та забезпечити рівномірне освітлення. У деяких випадках застосовують гібридне освітлення, комбінуючи природне світло з додатковим штучним, що оптимізує витрати енергії[7].

Автоматизація є однією з головних тенденцій у розвитку сучасних теплиць. Системи автоматизації дозволяють контролювати всі аспекти мікроклімату, включаючи температуру, вологість, освітлення, полив і подачу поживних речовин. Датчики температури, вологості, CO₂ і світла передають

дані на центральну систему управління, яка автоматично регулює роботу обладнання. Наприклад, якщо температура перевищує задану межу, система відкриває вентиляційні люки або вмикає охолодження. У гідропонних теплицях автоматизовані системи контролюють рН і електропровідність (ЕС) поживного розчину, забезпечуючи точне дозування добрив. Автоматизація поливу, зокрема крапельного, дозволяє економити воду та добрива, доставляючи їх безпосередньо до кореневої зони рослин. У великих тепличних комплексах використовують роботизовані системи для посіву, пересадки, збору врожаю та транспортування продукції, що знижує трудовитрати та підвищує ефективність. Програмне забезпечення для управління теплицями інтегрується з метеостанціями, що дозволяє прогнозувати зміни погоди та адаптувати мікроклімат заздалегідь[9].

Енергоефективність є важливим аспектом сучасних теплиць, оскільки опалення, освітлення та вентиляція споживають значну кількість енергії. Для зниження витрат застосовують теплоізоляційні матеріали, такі як багат шаровий полікарбонат або подвійне скло, які зменшують тепловтрати. У північних регіонах використовують системи підігріву ґрунту або субстрату, що знижує потребу в нагріванні всього об'єму теплиці. Сонячні панелі, встановлені на даху або поряд із теплицею, забезпечують частину електроенергії для освітлення та автоматизації. Геотермальні теплові насоси використовують тепло землі для опалення, що є економічно вигідним у довгостроковій перспективі. У деяких теплицях застосовують когенераційні установки, які одночасно виробляють електрику та тепло, підвищуючи енергоефективність. Для зменшення залежності від зовнішніх енергоносіїв використовують біомасу, наприклад, деревні пелети або солому, як паливо для котлів. У спекотних регіонах системи охолодження комбінують із затінювальними екранами, які відбивають надлишкове сонячне випромінювання, знижуючи температуру всередині теплиці[12].

Конструктивні особливості теплиць адаптуються до кліматичних умов регіону. У холодних регіонах, таких як Скандинавія чи Канада, теплиці мають

міцні каркаси з оцинкованої сталі та товсте покриття (10–12 мм полікарбонат або подвійне скло) для захисту від снігу та морозів. Системи опалення та теплоізоляції є обов'язковими, а природне освітлення доповнюють LED-лампами через короткий світловий день. У спекотних регіонах, наприклад, на Близькому Сході чи в Африці, теплиці мають легші каркаси та покриття з плівки чи тонкого полікарбонату, щоб забезпечити вентиляцію та захист від сонця. Вентиляційні отвори займають до 30% площі даху, а системи охолодження, такі як випарні панелі, є стандартними. У помірному кліматі, наприклад, у Центральній Європі, теплиці комбінують елементи для холодного та теплого клімату, використовуючи універсальні каркаси та покриття середньої товщини[10].

Переваги сучасних теплиць включають можливість цілорічного вирощування, захист рослин від погодних умов, шкідників і хвороб, а також високу продуктивність завдяки контрольованому мікроклімату. Гідропонні та аеропонні системи, інтегровані в теплиці, дозволяють економити воду та добрива, підвищуючи врожайність на одиницю площі. Автоматизація знижує трудовитрати, а енергоефективні технології зменшують експлуатаційні витрати. Теплиці сприяють локальному виробництву свіжої продукції, скорочуючи транспортні витрати та викиди CO₂. Однак є й недоліки. Високі початкові витрати на будівництво та обладнання можуть бути бар'єром для малих господарств. Енергозалежність теплиць, особливо в холодному кліматі, підвищує витрати, якщо не використовуються альтернативні джерела енергії. Технічні збої в автоматизованих системах можуть призвести до втрати врожаю, якщо не забезпечено резервне живлення. Крім того, управління теплицею вимагає спеціальних знань із агрономії, інженерії та автоматизації[14].

Інновації в конструкціях теплиць спрямовані на підвищення стійкості, ефективності та адаптивності. Розумні теплиці, оснащені штучним інтелектом, аналізують дані з датчиків і оптимізують мікроклімат без участі людини. Вертикальні теплиці, які використовують багатоярусні стелажі, дозволяють вирощувати більше рослин на обмеженій площі, що актуально для міських

ферм. Прозорі сонячні панелі, інтегровані в покриття, одночасно генерують електрику та пропускають світло для фотосинтезу. Біодеградабельні плівки та перероблювані матеріали знижують екологічний вплив. У деяких країнах тестують модульні теплиці, які можна швидко зібрати чи розібрати, що зручно для сезонного використання або експорту[13].

У комерційних теплицях дедалі частіше застосовують інтегровані системи вирощування, такі як гідропоніка, аеропоніка чи аквапоніка. Гідропоніка, де рослини вирощують у поживному розчині без ґрунту, забезпечує економію води до 90% і прискорює ріст рослин. Аеропоніка, яка використовує розпилення поживного розчину на корені, є ще ефективнішою, але потребує складнішого обладнання. Аквапоніка комбінує вирощування рослин із розведенням риби, де відходи риб слугують добривом для рослин, створюючи замкнену екосистему. Ці системи підвищують продуктивність теплиць, але вимагають точного контролю параметрів середовища[15].

Економічна ефективність теплиць залежить від їх розміру, рівня автоматизації та регіональних умов. Великі тепличні комплекси (понад 1 га) мають нижчі витрати на одиницю продукції завдяки економії масштабу, але потребують значних інвестицій (1–3 млн доларів на гектар). Маленькі теплиці (до 1000 м²) доступніші, але менш рентабельні через вищі відносні витрати на обладнання. У країнах із високими цінами на енергію, таких як Україна чи Польща, енергоефективність є ключовим фактором рентабельності. У теплих регіонах, таких як Іспанія чи Туреччина, витрати нижчі через мінімальну потребу в опаленні, але потрібні інвестиції в охолодження та затінення[17].

Екологічний аспект сучасних теплиць набуває дедалі більшого значення. Використання відновлюваних джерел енергії, перероблюваних матеріалів і водозберігаючих технологій знижує вплив на довкілля. Закрите виробництво зменшує потребу в пестицидах і добривах, що запобігає забрудненню ґрунтів і водойм. Локальне вирощування скорочує транспортні викиди, сприяючи сталому розвитку. Однак енергоємність теплиць у холодних регіонах

залишається викликом, оскільки залежність від викопного палива може нівелювати екологічні переваги[18].

Конструкції сучасних теплиць є результатом інтеграції інженерних, агрономічних і цифрових технологій. Вони адаптовані до різноманітних кліматичних умов, потреб культур і економічних можливостей. Арочні, двоххилі чи багатопролітні теплиці з металевими каркасами та покриттям із полікарбонату чи скла забезпечують міцність і світлопроникність. Системи опалення, вентиляції, зволоження та освітлення підтримують оптимальний мікроклімат, а автоматизація знижує трудовитрати. Енергоефективні рішення, такі як сонячні панелі, геотермальні насоси чи теплоізоляційні екрани, зменшують витрати. Інновації, включаючи розумні теплиці, вертикальні ферми та інтегровані системи вирощування, відкривають нові можливості для підвищення продуктивності та стійкості. Незважаючи на високі початкові витрати та енергозалежність, сучасні теплиці є незамінними для забезпечення продовольчої безпеки, локального виробництва та сталого сільського господарства в умовах глобальних змін клімату[19].

РОЗДІЛ 2

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС МОНТАЖУ ТЕПЛИЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

Технологічний процес монтажу тепличних комплексів є складним і багатогранним завданням, яке вимагає ретельного планування, використання сучасних матеріалів, обладнання та технологій, а також чіткого дотримання будівельних стандартів і норм. Тепличні комплекси призначені для створення контрольованих умов для вирощування сільськогосподарських культур, таких як овочі, фрукти, зелень, квіти чи ягоди, незалежно від кліматичних умов зовнішнього середовища. Монтаж таких споруд включає кілька етапів: від підготовки проєктної документації до введення комплексу в експлуатацію. У цьому процесі враховуються особливості місцевості, кліматичні умови, тип культур, які планується вирощувати, та економічні аспекти. Нижче описано детальний технологічний процес монтажу тепличних комплексів, охоплюючи всі ключові аспекти: підготовку, будівництво, встановлення інженерних систем, тестування та введення в експлуатацію[11].

Першим етапом монтажу тепличного комплексу є підготовка проєкту та планування. Цей етап починається з аналізу потреб замовника, який визначає цілі використання теплиці, тип культур, обсяги виробництва та бюджет. На основі цих даних розробляється технічне завдання, яке включає вимоги до розмірів теплиці, матеріалів конструкції, систем опалення, вентиляції, освітлення, зрошення та автоматизації. Важливо врахувати кліматичні особливості регіону, де буде розташована теплиця, зокрема середні температури, рівень опадів, силу вітру, снігове навантаження та тривалість світлового дня. Наприклад, у регіонах із холодним кліматом необхідно передбачити посилену теплоізоляцію та потужні системи опалення, тоді як у теплих регіонах акцент робиться на вентиляцію та захист від перегріву. Після формування технічного завдання проводиться геодезичне дослідження ділянки, щоб оцінити рельєф, тип ґрунту, рівень ґрунтових вод і наявність підземних комунікацій. На основі цих даних розробляється проєктна документація, яка

включає архітектурні креслення, розрахунки міцності конструкції, схеми інженерних систем і кошторис. Проект має відповідати національним будівельним нормам і стандартам, а також враховувати екологічні вимоги, наприклад, щодо утилізації стічних вод або енергоефективності. На цьому етапі також визначається тип теплиці: плівкова, скляна чи з полікарбонату, а також форма конструкції — аroachна, двосхила чи тунельна. Кожен тип має свої переваги: плівкові теплиці дешевші, але менш довговічні, скляні забезпечують високу світлопроникність, але дорогі, а полікарбонатні поєднують міцність, легкість і хорошу теплоізоляцію[22].

Наступним етапом є підготовка будівельного майданчика. Цей процес починається з очищення території від рослинності, сміття та старих споруд. Якщо рельєф ділянки нерівний, проводять вирівнювання за допомогою бульдозерів або екскаваторів. Для забезпечення стійкості конструкції важливо перевірити несучу здатність ґрунту. У разі слабких ґрунтів, наприклад, торф'яних чи піщаних, може знадобитися додаткове зміцнення основи, наприклад, засипка щебенем або влаштування пальового фундаменту. Після вирівнювання ділянки розмічають межі майбутньої теплиці за допомогою геодезичних інструментів, таких як теодоліти чи GPS-обладнання. Розмітка включає визначення розташування опорних стовпів, входів, вентиляційних отворів і комунікаційних ввідів. На цьому етапі також прокладають тимчасові під'їзні шляхи для доставки матеріалів і техніки. Важливо забезпечити дренажну систему для відведення дощової води, щоб уникнути підтоплення фундаменту. Для цього можуть використовуватися дренажні канали або труби, які відводять воду за межі ділянки. Якщо теплиця розташована в регіоні з високим рівнем ґрунтових вод, встановлюють насосні системи для їх відкачування[20].

Після підготовки майданчика переходять до влаштування фундаменту, який є основою для міцності та довговічності тепличного комплексу. Тип фундаменту залежить від розмірів теплиці, матеріалів конструкції та кліматичних умов. Для невеликих теплиць часто використовують стрічковий

фундамент, який являє собою бетонну смугу вздовж периметра споруди. Для великих промислових комплексів частіше застосовують пальовий фундамент, де металеві або бетонні палі заглиблюють у ґрунт для забезпечення стійкості. Процес влаштування фундаменту починається з риття траншей або буріння отворів для паль. Далі встановлюють арматурний каркас, який підвищує міцність конструкції, і заливають бетон. Для забезпечення рівномірного тверднення бетону його накривають плівкою та періодично зволожують. У регіонах із сильними морозами фундамент додатково утеплюють пінополістиролом або іншими теплоізоляційними матеріалами, щоб запобігти промерзанню ґрунту під теплицею. Після затвердіння фундаменту (зазвичай 7–28 днів залежно від типу бетону) перевіряють його геометричну точність за допомогою нівеліра. На фундамент встановлюють анкерні болти або кріплення для каркаса теплиці[21].

Наступний етап — монтаж каркаса тепличного комплексу. Каркас є основною несучою конструкцією, яка має витримувати вагу покриття, снігові та вітрові навантаження. Для каркаса використовують металеві профілі (зазвичай оцинковану сталь або алюміній) або, рідше, дерев'яні балки. Металеві каркаси є більш довговічними та стійкими до корозії, що особливо важливо в умовах високої вологості всередині теплиці. Монтаж каркаса починається з встановлення вертикальних опор, які кріпляться до фундаменту за допомогою анкерних болтів. Опорні стовпи розміщують із кроком 2–4 метри залежно від розмірів теплиці та розрахункового навантаження. Далі монтують горизонтальні балки та арки, які формують форму даху. Для арочних теплиць використовують зігнуті металеві профілі, які забезпечують рівномірний розподіл навантаження. У двосхилих теплицях встановлюють похилі балки, що створюють трикутну конструкцію даху. Для підвищення міцності каркаса додають діагональні розпірки та зв'язки, які запобігають деформації. Усі з'єднання виконують за допомогою болтів, зварювання або спеціальних кріпильних елементів, таких як хомути. Під час монтажу каркаса використовують автокрани, вишки чи телескопічні навантажувачі для підйому

важких елементів. Після завершення складання каркаса його перевіряють на відповідність проєкту, зокрема за допомогою лазерних нівелірів, щоб переконатися в правильності геометрії[19].

Після монтажу каркаса переходять до встановлення покриття теплиці. Вибір матеріалу покриття залежить від типу культур, кліматичних умов і бюджету. Найпоширенішими є поліетиленова плівка, скло та полікарбонат. Поліетиленова плівка є найдешевшим варіантом, її легко монтувати, але вона має короткий термін служби (1–3 роки) і низьку теплоізоляцію. Монтаж плівки починається з розкрою матеріалу за розмірами теплиці. Плівку натягують на каркас і фіксують за допомогою спеціальних кліпс, профілів або шнурів. Для підвищення міцності використовують двошарову плівку з повітряним прошарком, що покращує теплоізоляцію. Скло забезпечує високу світлопроникність (до 90%) і довговічність, але воно дороге та крихке. Скло монтують у металеві або алюмінієві рами, які кріпляться до каркаса. Кожна панель скла герметизується силіконовими ущільнювачами, щоб запобігти проникненню вологи. Полікарбонат є компромісним варіантом: він міцний, легкий, має хорошу теплоізоляцію та пропускає до 85% світла. Полікарбонатні листи розрізають за розмірами, встановлюють на каркас і кріплять саморізами з гумовими шайбами, щоб уникнути пошкодження матеріалу. Стички між листами герметизують стрічками або профілями. Під час монтажу покриття важливо забезпечити його герметичність і стійкість до вітру, а також передбачити вентиляційні отвори для регулювання температури всередині теплиці[17].

Наступним етапом є встановлення інженерних систем, які забезпечують контрольовані умови для вирощування рослин. Першою системою є опалення, яке необхідне для підтримання оптимальної температури в холодну пору року. Найпоширенішими є водяне, повітряне та інфрачервоне опалення. Водяне опалення передбачає встановлення котла (газового, електричного або твердопаливного), який нагріває воду, що циркулює по трубах, прокладених уздовж теплиці або під ґрунтом. Труби монтують на спеціальних кріпленнях, а для рівномірного розподілу тепла встановлюють радіатори або конвектори.

Повітряне опалення використовує теплові гармати або вентилятори, які нагнітають тепле повітря в теплицю. Інфрачервоне опалення, засноване на встановленні ІЧ-обігрівачів, є енергоефективним, оскільки нагріває безпосередньо рослини та ґрунт, а не повітря. Монтаж опалювальної системи включає прокладання трубопроводів, встановлення насосів, розширювальних баків і автоматики для регулювання температури. Для економії енергії часто використовують теплоізоляційні екрани, які встановлюють під дахом теплиці та зменшують тепловтрати вночі[17].

Система вентиляції необхідна для регулювання температури, вологості та рівня вуглекислого газу. У невеликих теплицях використовують природну вентиляцію через кватирки, які відкриваються вручну або за допомогою автоматичних приводів. У великих комплексах встановлюють примусову вентиляцію з вентиляторами, які забезпечують циркуляцію повітря. Вентилятори монтуєть на стінах або даху, а для рівномірного розподілу повітря встановлюють повітроводи. Для захисту від комах вентиляційні отвори закривають сітками. Система зрошення є ще однією ключовою складовою. Найпоширенішими є крапельний полив і гідропонні системи. Крапельний полив передбачає прокладання труб із крапельницями, які подають воду та поживні речовини безпосередньо до кореневої зони рослин. У гідропонних системах рослини вирощують у поживному розчині, який циркулює по трубах або лотках. Монтаж зрошувальної системи включає встановлення резервуара для води, насосів, фільтрів і трубопроводів. Для автоматизації поливу використовують таймери та датчики вологості ґрунту. Освітлення є важливим для теплиць у регіонах із коротким світловим днем. Для цього встановлюють світлодіодні (LED) лампи, які забезпечують потрібний спектр світла (червоне та синє) для фотосинтезу. Лампи монтуєть на підвісних конструкціях, а їх роботу контролюють за допомогою таймерів. Для економії електроенергії використовують датчики освітленості, які вмикають лампи лише за потреби[11].

Автоматизація є невід'ємною частиною сучасних тепличних комплексів. Системи автоматизації включають датчики температури, вологості, освітленості, рівня CO₂ і вологості ґрунту, які підключені до центрального контролера. Контролер аналізує дані та автоматично регулює роботу опалення, вентиляції, поливу та освітлення. Монтаж системи автоматизації починається з прокладання кабелів і встановлення датчиків у ключових зонах теплиці. Далі встановлюють центральний блок управління, який програмують відповідно до потреб культур. Для великих комплексів використовують комп'ютерні системи з програмним забезпеченням, що дозволяє віддалено контролювати параметри через смартфон або комп'ютер. Автоматизація знижує трудовитрати та підвищує ефективність використання ресурсів[17].

Після встановлення всіх систем проводять тестування тепличного комплексу. Цей етап включає перевірку герметичності покриття, роботи опалювальної системи, вентиляції, зрошення та освітлення. Спочатку запускають систему опалення, щоб переконатися, що температура в теплиці досягає заданого рівня. Далі тестують вентиляцію, перевіряючи швидкість повітряного потоку та ефективність кватирок. Систему зрошення перевіряють на рівномірність подачі води та відсутність протікань. Освітлення тестують, вимірюючи інтенсивність світла в різних зонах теплиці за допомогою люксметра. Систему автоматизації перевіряють, моделюючи різні сценарії, наприклад, зміну температури чи вологості, щоб переконатися, що контролери реагують правильно. Усі виявлені недоліки усувають до введення теплиці в експлуатацію[18].

Останнім етапом є введення тепличного комплексу в експлуатацію. На цьому етапі проводять остаточну перевірку всіх систем, оформлюють необхідну документацію, включаючи акти приймання-здачі, сертифікати на обладнання та гарантійні зобов'язання. Працівників теплиці навчають роботі з обладнанням і системами автоматизації. Якщо теплиця призначена для вирощування культур, проводять підготовку до посадки: вносять субстрат (наприклад, кокосове волокно чи перліт для гідропоніки), встановлюють лотки

або стелажі для рослин, налаштовують поживний розчин. Перші культури висаджують у тестовому режимі, щоб оцінити ефективність усіх систем і внести корективи за потреби. Після успішного тестування теплиця переходить у повноцінний режим роботи[19].

Технологічний процес монтажу тепличних комплексів є складним, але добре відпрацьованим. Успіх залежить від якості проєктування, точності виконання будівельних робіт, використання сучасних матеріалів і обладнання, а також ретельного тестування. Сучасні теплиці дозволяють створювати оптимальні умови для вирощування культур, забезпечуючи високу продуктивність і якість продукції. Завдяки автоматизації та енергоефективним технологіям тепличні комплекси стають економічно вигідними та екологічно стійкими, сприяючи розвитку сільського господарства в різних кліматичних умовах[4].

РОЗДІЛ 3

МОДЕРНІЗАЦІЯ ПРИСТОСУВАННЯ ДЛЯ МОНТАЖУ КОНСТРУКЦІЙ ТЕПЛИЦЬ

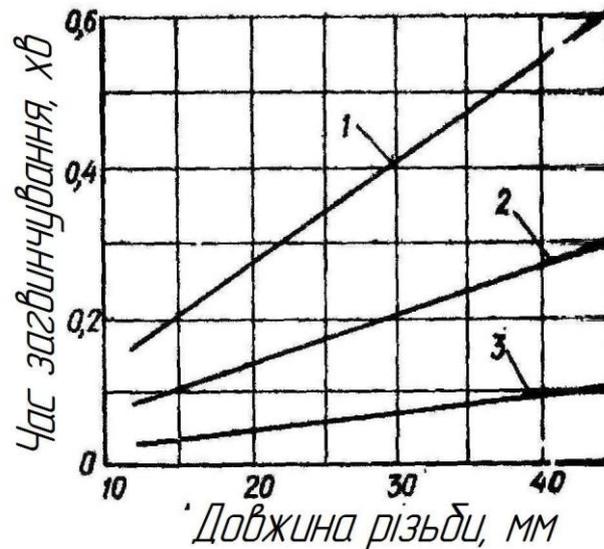
Трудомісткість розбирально-складальних робіт становить понад 50% від загальної трудомісткості монтажу конструкцій теплиць. Ступінь і технологія монтажу устаткування залежать від їхньої конструкції та виду.

Засоби розбирання-складання - це сукупність знарядь виробництва, необхідних для здійснення технологічного процесу. Засоби технологічного оснащення розбирання-складання включають технологічне обладнання та технологічне оснащення: підйомно-транспортні механізми та машини; ручні машини (гайко-, шпилько-, шуруповерти); преси, стенди; універсальний (ключі, викрутки, пасатигі, щипці, борідки, знімачі, зубила) і спеціалізований інструменти. Ручною машиною називається пристрій, маса якого під час роботи повністю або частково сприймається руками виконавця. Головний робочий рух (рух робочого органу) здійснює двигун, а допоміжний (рух подачі) і керування машиною виконується вручну.

Під час роботи ручними машинами застосовують торцеві головки-ключі, насадки, викрутки, свердла, розгортки тощо.

За орієнтовними підрахунками різьбові з'єднання становлять понад 70 % від усіх з'єднань, наявних у сучасних конструкціях теплиць.

Розбирання і складання різьбових з'єднань рекомендується виконувати за допомогою гвинтових машин - гайковертів. Їх застосування підвищує продуктивність праці в 3,5...4,5 рази, трудомісткість розбірних робіт скорочується на 15...20%. Залежність часу загвинчування болтів від довжини різьблення і виду інструменту представлено на рис. 3.1.



1 - відкритий гайковий ключ; 2 - коловоротний ключ; 3 - механізований гайковерт

Рисунок 3.1 - Залежність часу загортання болтів від довжини різьблення та виду інструменту

Силовий агрегат приводу являє собою перетворювач будь-якого виду енергії в механічну, необхідну для роботи механізму. У зв'язку з цим приводи класифікують за видом перетворюваної енергії. У пристосуваннях використовують такі приводи: пневматичні, гідравлічні, пневмогідравлічні, електричні, електромагнітні, магнітні, вакуумні тощо. Для приводу силового штока стенда застосовуємо гідравлічний привід, у якому вихідною енергією є енергія рідини, що перебуває під тиском.

У ремонтному виробництві найбільш широкого застосування набули гайковерти з електричним і пневматичним приводом. Вони вирізняються простотою конструкції та безпекою в роботі.

До недоліків пневматичного приводу можна зарахувати підвищений шум під час роботи і необхідність підготовки та подачі стисненого повітря.

За характером прикладання навантаження до з'єднання, що розбирається, розрізняють гайковерти статичної дії (реактивний момент компенсується руками розбирача - для малих діаметрів різьблення), ударно-імпульсні (частота ударів 16 ... 40 ударів на секунду - реактивний момент повністю відсутній -

можна застосовувати для великих діаметрів) та вібраційні (не набули широкого застосування через конструкторську складність і шкідливий вплив на організм людини).

Як було сказано раніше, заіржавілі з'єднання перед відкручуванням замочують (наприклад, у гасі або гальмівній рідині); якщо є можливість, сильно вдаряють по голівці болта і різким рухом відвертають; можна заздалегідь нагріти різьблення паяльною лампою або газовим пальником, а також, якщо є можливість, гайку трохи загортають для зрушення деталей з місця; нарешті, гайку, болт розрубують або розрізають газополум'яним пальником. Усі ці заходи призводять до зростання трудомісткості розбірних робіт, а також до можливих пошкоджень і передчасного списання в утиль деталей, ресурс яких ще значний.

Нами пропонується конструкція вдосконаленого транспортабельного гайковерта ударної дії, загальну схему якого представлено на рисунку 3.2.

Схему ударного механізму гайковерта представлено на рис 3.3.

Гайковерт працює від електродвигуна, обертальний рух від якого передається за допомогою пасової передачі через шпindel 2 ключу 1.

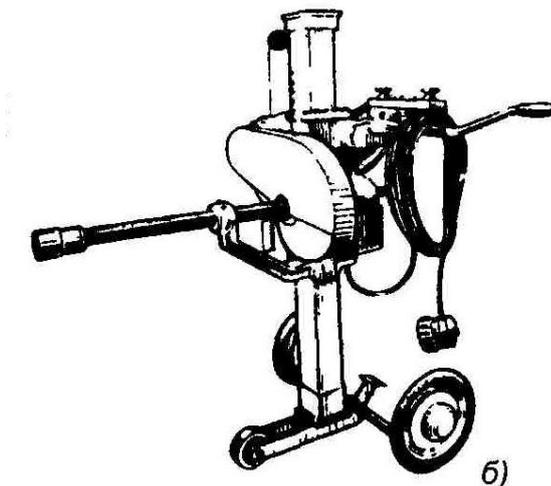
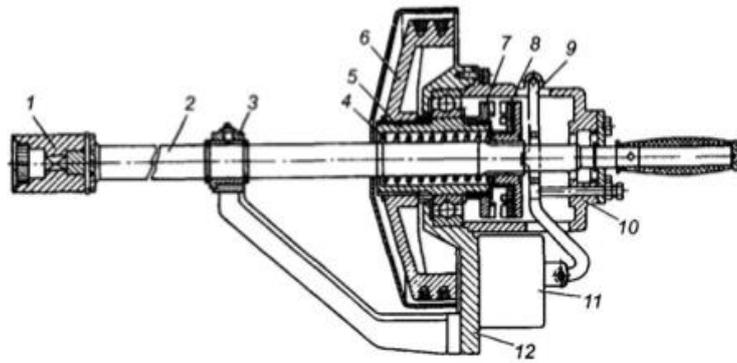


Рисунок 3.2 - Загальний вигляд гайковерта



1 - ключ; 2 - шпindelь; 3 - передня опора; 4 - поворотна пружина; 5 - маточина; 6 - маховик; 7 - ударник; 8 - ковадло; 9 - важіль; 10 - корпус; 11 - електромагніт; 12 - плита

Рисунок 3.3 - Схема ударного механізму гайковерта

Електромагніт 11, впливаючи на важіль 9, повідомляє через ковадло 8 ланці 7 ударний вплив, що передається ключу 1. Під час ударного впливу ключа 1 на гайку сили тертя загвинчування (відгвинчування) зменшуються, і гайці передається додатковий крутний момент (закручування або відгвинчування).

Під дією пружини 4 шпindelь отримує зворотний рух. Істотним показником роботи гайковертів є відносна нерівномірність затягування:

$$\gamma = \frac{P_{зат.мах} - P_{зат.мін}}{P_{зат.ср.}}, \quad (3.1)$$

де $P_{зат.мах}$, $P_{зат.мін}$, $P_{зат.ср.}$ - відповідно максимальна, мінімальна і середня сили затягування, які фактично отримують у процесі складання однойменних з'єднань.

Відносна нерівномірність представленого гайковерта ударної дії становить $\gamma = \pm 0,2 \dots 0,25$.

Найбільшу трудомісткість під час монтажних робіт становлять гвинтові та пресові з'єднання; від загальної трудомісткості розбиральних робіт перші становлять 60 ... 65%, другі - 20 ... 25%. До складання різьбових з'єднань належить постановка шпильок, болтів, гайок, гвинтів тощо. Трудомісткість складання таких з'єднань становить 25 ... 35% загальної трудомісткості

складальних робіт.

Сила затягування різьбових з'єднань істотно впливає на їхню якість.

Якщо з'єднання навантажене силою Q , що зсуває деталі по одному стику, і кріпильна деталь не працює на зріз, то силу затяжки визначаємо за формулою:

$$P_{зат} = \frac{K_{зан} \cdot Q}{f}, \quad (3.2)$$

де $K_{зан}$ - коефіцієнт *запасу* $K_{зан} = 1,2 \dots 1,3$;

f - коефіцієнт тертя в стику.

Якщо з'єднання навантажене силою Q (H), що розкриває стик, то силу затягування (H) визначаємо за формулою:

$$P_{зат} = K_{зат} \cdot Q, \quad (3.3)$$

де $K_{зат}$ - коефіцієнт затягування (за постійного навантаження $K_{зат} = 1,25 \dots 1,3$; за змінного - $K_{зат} = 2,5 \dots 4,0$; за м'якого прокладення $K_{зат} = 1,3 \dots 2,5$; за металевого ущільнювального $K_{зат} = 2,0 \dots 5,0$).

Під час затягування болтів на ключі створюється момент загвинчування

$$M_{зав} = M_P + M_{оп}, \quad (3.4)$$

Де $M_{зав}$ - момент загвинчування, Нм;

M_P - момент різьбового з'єднання, Нм;

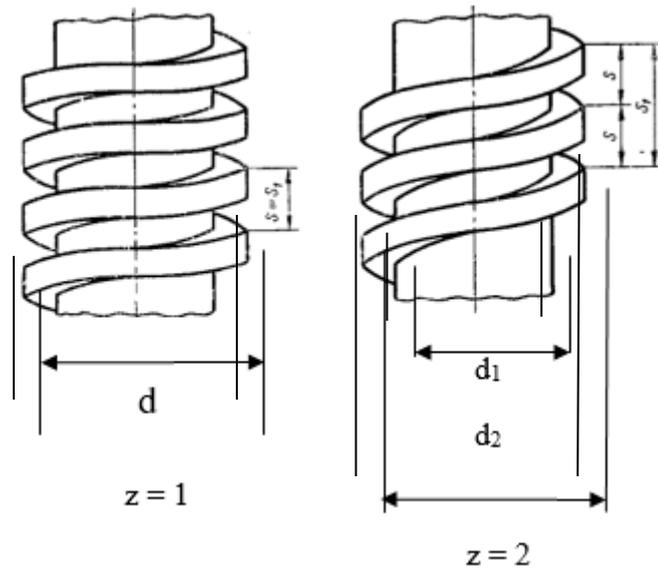
$M_{оп}$ - момент тертя опорної поверхні гайки або головки болта, Нм.

Під час розгляду сил у гвинтовій парі зручно виток різьблення розгорнути по середньому діаметру d_2 (рис. 3.4) у похилу площину, а гайку замінити повзуном (рис. 3.5).

Розглядаючи рух повзуна (гайки) по розгортці гвинтової поверхні, отримуємо:

$$M_P = 0,5 Q d_2 t g (\lambda + \varphi'), \quad (3.5)$$

$$M_{оп} = Q f \frac{d_{cp}}{2}. \quad (3.6)$$



S - крок різьблення; $S_1 = z \cdot S$ - хід різьблення

Рис. 3.4 - Елементи різьблення

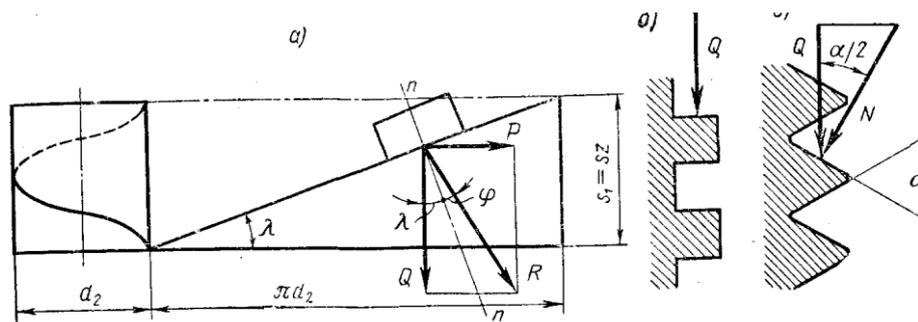


Рис. 3.5 - До розрахунку моменту затягування

Остаточно отримуємо

$$M_{зав} = M_P + M_{on} = 0,5 Q d_2 t g (\lambda + \varphi) + Q f \frac{d_{cp}}{2} \quad (3.7)$$

де Q - осьова сила на гвинті (сила затяжки), Н;

d_2 - середній діаметр різьби, $d_2 = \frac{d + d_1}{2}$;

$d_{cp} = 0,5 (d_0 + D)$ - середній розрахунковий діаметр;

D - зовнішній діаметр опорної поверхні гайки, що дорівнює її розміру під ключ (рис. 3.6);

d_0 - внутрішній діаметр опорної поверхні, що дорівнює діаметру свердління під болт, $[d_0 = d + (1 \dots 1,5) \text{мм}]$.

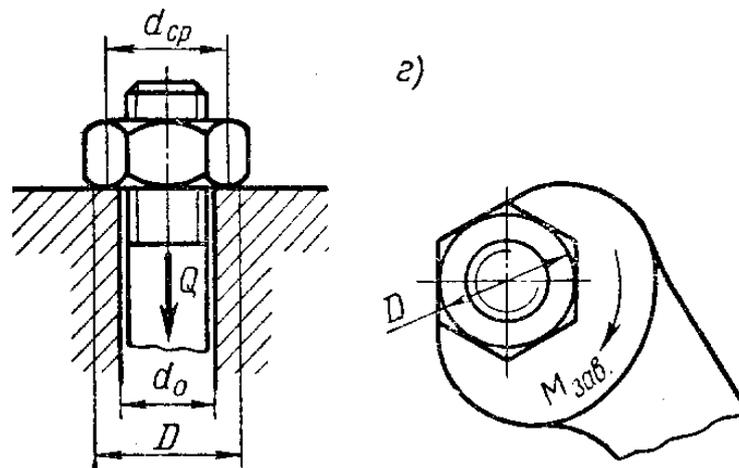


Рис. 3.6 - До питання визначення зовнішнього діаметра опорної поверхні гайки

Кут підйому λ різьби:

$$\operatorname{tg}\lambda = \frac{s_1}{\pi d_2} \quad (3.8)$$

Наведений кут φ' тертя:

$$\varphi' = \operatorname{arctg} \frac{f}{\cos \frac{\alpha}{2}} \quad (3.9)$$

де f - коефіцієнт тертя матеріалу гайки по матеріалу болта;

α - кут профілю різьби;

$s_1 = z \cdot s$ - ход різьби;

z - число заходів.

Як приклад, виконаємо силовий розрахунок крутного моменту різьбового з'єднання M20.

Визначимо момент загвинчування (на прикладі метричної різьби M20):

$$\begin{aligned} M_{зав} &= 0,5 \cdot 30000 \cdot 18,38 \cdot \operatorname{tg}(30^\circ + 12^\circ) + 30000 \cdot 0,22 \cdot 9,19 = \\ &= 248130 + 60654 = 308784 \text{ Нмм} = 308,8 \text{ Нм} \cong 0,31 \text{ кНм}. \end{aligned}$$

Розрахований момент затягування, створюваний на ключі (торцевій голівці), не повинен перевищувати:

$$M_{зат} \leq 0,1 d^3 \cdot \sigma_v, \quad (3.10)$$

де d - зовнішній діаметр різьби, мм;

σ_6 - межа міцності матеріалу болта, гвинта або шпильки, МПа.

$$M_{\text{зат}} = 0,1 \cdot 20^3 \cdot 420 = 336000 \text{ Нмм.}$$

Умова (3.10) виконується:

$$M_{\text{зав}} = 308784 \text{ Нмм} \leq M_{\text{зат}} = 0,1 d^3 \cdot \sigma_6 = 336000 \text{ Нмм.}$$

У ремонтній практиці під час вибору і розрахунку обладнання можна користуватися наближеними довідковими даними, представленими в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Орієнтовні діапазони крутних моментів розгвинчування різьбових з'єднань під час монтажу теплиць.

Розмір різьби	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20	M24	M27
Крутний момент, Н·м	15...20	20...50	40...80	60...120	100...150	150...200	180...300	200...350	300...450	350...500

У процесі експлуатації гайковерта шпindelь передає крутний момент, необхідний для складання (розбирання) різьбового з'єднання.

Умова міцності має вигляд:

$$\tau_{\text{max}} = \frac{T_{\text{max}}}{W_{\rho}} \leq [\tau] \quad (3.15)$$

де T_{max} - максимальний крутний момент, приймаємо значення за епюрою крутних моментів, Нмм;

W_{ρ} - полярний момент опору, мм³;

$[\tau]$ - допустиме напруження, МПа.

Допустима напруження під час кручення:

- для крихких матеріалів ; $[\tau] = (1,0 \dots 1,2)[\sigma_p]$
- для пластичних матеріалів . $[\tau] = (0,5 \dots 0,6)[\sigma_p]$

Полярний момент опору:

$$W_{\rho} = \frac{\pi \cdot d^3}{16}, \quad (3.16)$$

де d- діаметр штока, мм.

З умови міцності 3.15 і використовуючи формулу 3.16, отримуємо, що діаметр суцільного круглого вала дорівнює:

$$d = \sqrt[3]{\frac{16T_{\max}}{\pi[\tau]}} \quad (3.17)$$

Допустиме дотичне напруження для сталі:

$$[\tau] = (0,5 \dots 0,6) \cdot [\sigma_p], \quad (3.18)$$

де $[\sigma_p]$ - допустиме нормальне напруження для матеріалу при розтягуванні, МПа.

Допустима напруження

$$\sigma = \sigma_T / S, \quad (3.19)$$

де σ_T - межа текучості, для сталі 45 ГОСТ 1050-88 $\sigma_T = 360$ МПа;

$S = S_1 \cdot S_2 \cdot S_3$ - коефіцієнт безпеки;

S_1 - коефіцієнт, що враховує неточність у визначенні навантажень і напружень. Значення цього коефіцієнта за підвищеної точності визначення діючих напружень може прийматися рівним 1,2...1,5 за меншої точності розрахунку - 2...3 приймаємо $S_1 = 2$;

S_2 - коефіцієнт, що враховує неоднорідність матеріалу, підвищену його чутливість до недоліків механічної обробки $S_2 = 1,2$;

S_3 - коефіцієнт умов роботи, що враховує ступінь відповідальності деталі $S_3 = 1,25$.

Коефіцієнт безпеки

$$S = 2 \cdot 1,2 \cdot 1,25 = 3,0.$$

Звідси:

$$[\tau] = (0,6 \cdot 360) : 3,0 = 70 \text{ МПа.}$$

Попередній діаметр шпинделя:

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 500000}{3,14 \cdot 70}} = 33 \text{ мм.}$$

Приймаємо діаметр шпинделя рівним $d = 35$ мм

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Проведене дослідження на тему "Розробка ефективних технологій зведення конструкцій теплиць зі створенням систем пристроїв для їх монтажу" дозволило досягти поставленої мети та виконати визначені завдання. У процесі роботи було проаналізовано сучасний стан технологій зведення теплиць, виявлено їх основні недоліки, такі як висока трудомісткість, значні витрати часу та ресурсів, а також недостатня енергоефективність. На основі отриманих даних були розроблені нові конструктивні рішення, які забезпечують підвищену міцність, довговічність і адаптивність тепличних споруд до різних кліматичних умов. Запропоновані технології передбачають використання легких і міцних матеріалів, таких як полікарбонат і композитні сплави, що сприяють зниженню собівартості будівництва та підвищенню енергоефективності.

Одним із ключових результатів дослідження стало створення систем автоматизованих пристроїв для монтажу тепличних конструкцій. Ці пристрої дозволяють значно скоротити час зведення, зменшити залежність від кваліфікованої робочої сили та підвищити точність складання. Розроблені системи включають модульні конструкції та роботизовані механізми, які забезпечують гнучкість і ефективність будівельного процесу. Експериментальне тестування підтвердило надійність і продуктивність запропонованих рішень, що свідчить про їх потенціал для практичного впровадження.

Економічний аналіз показав, що впровадження розроблених технологій і пристроїв дозволяє знизити витрати на будівництво теплиць на 15–20% порівняно з традиційними методами. Крім того, використання енергоефективних матеріалів і систем, таких як пасивний обігрів і теплоізоляційні покриття, сприяє зменшенню експлуатаційних витрат. Екологічний аспект також був врахований: запропоновані рішення передбачають використання перероблених матеріалів і зниження вуглецевого

слідую, що відповідає сучасним вимогам сталого розвитку.

Практичне значення роботи полягає в можливості застосування розробок у тепличному господарстві України, що сприятиме підвищенню продуктивності аграрного сектору та зниженню залежності від імпорту. Наукове значення полягає в розробці нових інженерних підходів, які можуть стати основою для подальших досліджень у сфері сільськогосподарських технологій. Результати роботи відкривають перспективи для масштабування запропонованих рішень і їх адаптації до різних типів тепличних комплексів.

Таким чином, дослідження підтвердило актуальність і доцільність розробки ефективних технологій зведення теплиць і систем пристроїв для їх монтажу. Запропоновані рішення мають потенціал для модернізації тепличного господарства, забезпечення його економічної та екологічної стійкості, а також підвищення конкурентоспроможності на національному та міжнародному ринках.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Київ : УкрНДНЦ, 2016. 16 с.
2. Вінников Л. Д. Проектування та будівництво теплиць: навч. посіб. Київ : Урожай, 2008. 320 с.
3. Методи розрахунку будівельних конструкцій: монографія / за заг. ред. І. А. Петренка. Київ : Будівельник, 2015. 450 с.
4. Петров В. О. Технологія монтажу збірних будівельних конструкцій: підручник. Харків : Основа, 2019. 380 с.
5. Коваленко О. І. Сучасні матеріали та технології в будівництві: довідник. Львів : Новий Світ, 2021. 620 с.
6. Дудченко С. М. Механізація та автоматизація будівельних процесів: навч. посіб. Одеса : Видавництво ОНАБА, 2020. 290 с.
7. Барановський П. В. Ефективні інженерні рішення для сільськогосподарських споруд. Київ : Аграрна наука, 2022. 250 с.
8. Лісова І. М., Колісник Р. О. Енергоефективність тепличних комплексів: монографія. Полтава : ПДАА, 2023. 310 с.
9. Будівельні конструкції: розрахунок та конструювання: підручник / за заг. ред. О. В. Сидоренко. Дніпро : НМетАУ, 2018. 700 с.
10. Воронцов Г. А. Основи проектування кріпильних систем: посібник. Запоріжжя : ЗНТУ, 2022. 210 с.
11. Шиманський В. О., Ковальчук С. В. Енергоефективні технології в тепличних господарствах. Вісник аграрної науки. 2022. № 3. С. 78-85.
12. Іванов П. В. Автоматизація процесів монтажу будівельних конструкцій. Сучасні будівельні технології. 2023. № 1. С. 45-52.
13. Петров О. С. Застосування модульних конструкцій у будівництві теплиць. Будівельне виробництво. 2022. № 4. С. 60-67.
14. Ковальчук О. В. Оптимізація технологічних процесів зведення теплиць. Наукові праці НУБіП України. 2023. Вип. 1. С. 112-118.

15. Сидоренко М. І. Розрахунок та конструювання систем кріплення для легких будівельних конструкцій. Збірник наукових праць ДНУ. 2021. № 2. С. 88-95.
16. Грінченко А. А., Кузьменко Л. В. Економічна ефективність впровадження нових технологій будівництва теплиць. Аграрний вісник Причорномор'я. 2022. № 2. С. 105-112.
17. Марченко Л. С. Аналіз сучасних методів зведення рамних конструкцій теплиць. Архітектура та будівництво. 2024. № 1. С. 25-32.
18. Олійник В. Д., Степаненко І. В. Розробка пристроїв для швидкого монтажу полікарбонатних панелей. Проблеми будівельного виробництва: тези доп. міжнар. наук.-практ. конф. (Київ, 15-16 травня 2024 р.). Київ, 2024. С. 115-117.
19. Короткова Ю. В. Техніко-економічне обґрунтування застосування збірних елементів для теплиць. Економічні аспекти розвитку АПК: матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. (Черкаси, 20 квітня 2023 р.). Черкаси, 2023. С. 89-91.
20. Гончарук В. М., Павлюк Д. В. Дослідження міцності вузлових з'єднань збірних конструкцій теплиць. Будівельна наука та практика. 2023. № 3. С. 55-62.
21. Іваненко С. Г. Застосування ВІМ-технологій у проектуванні та монтажі тепличних комплексів. Інформаційні технології в будівництві: тези доп. Всеукр. наук. семінару (Львів, 25-26 лютого 2024 р.). Львів, 2024. С. 40-42.
22. Клименко Р. М. Огляд сучасних систем кріплення для прозорих огорожувальних конструкцій теплиць. Збірник наукових праць УкрДАЗТ. 2022. Вип. 220. С. 98-105.