

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

Факультет інженерії та енергетики  
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота  
на правах рукопису

УДК 631.371: 620.92

**ГОРАЙ Денис Сергійович**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**Використання адіабатичної охолоджувальної системи  
для підтримання оптимального мікроклімату в корівнику  
з модернізацією вентилятора**

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

\_\_\_\_\_ Д.С. Горай

**Керівник роботи**

Дерев'янку Д.А.

Доктор технічних наук, професор

**Житомир – 2023**

## Анотація

**ГОРАЙ Денис Сергійович. Використання адіабатичної охолоджувальної системи для підтримання оптимального мікроклімату в корівнику з модернізацією вентилятора.** – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2023.

Система охолодження за допомогою розпилення води є ефективним та економічно вигідним способом забезпечення комфорту та здоров'я корів в умовах підвищеної температури та вологості.

Дослідження роботи системи охолодження виконували в корівнику на 240 місць. Із збільшенням температури відносна ефективність роботи системи охолодження зростає. Цей ефект пояснюється вищою інтенсивністю протікання адіабатного процесу охолодження повітря, тобто в нагрітому повітрі розпилена вода більш інтенсивніше відбирає тепло. Крім того робота вентиляторів на повну потужність сприяє підвищенню ефективності системи охолодження, внаслідок більш рівномірно наповнення вологою простору в приміщенні корівника та більш інтенсивного повітрообміну. Інтенсивний постійний повітрообмін, що забезпечується роботою вентиляторів на повну потужність, дозволяє уникнути надмірного зростання відносної вологості приміщенні. Тому, можна зробити висновок, що найбільш ефективною є робота системи охолодження, коли вентилятори системи працюють на повну потужність.

У конструкторській частині здійснено модернізацію осьового вентилятора. За рахунок застосування нових лопаток вентилятора аеродинамічної форми, виготовлених з алюмінієвого сплаву, зросла продуктивність вентилятора з 11000 до 12000 м<sup>3</sup>/год. Модернізація також сприяє продовженню терміну служби приводного електродвигуна.

## Summary

**Denys GORAY. The use of an adiabatic cooling system to maintain an optimal microclimate in barn with fan modernisation** – Qualification work on the rights of a manuscript.

Qualification work for obtaining a bachelor's degree in specialty 133 - Industrial mechanical engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2023.

The water spray cooling system is an effective and cost-efficient way to ensure the comfort and health of cows in conditions of high temperature and humidity.

The cooling system was tested in a barn with 240 cows. As the temperature increases, the relative efficiency of the cooling system increases. This effect is explained by the higher intensity of the adiabatic air-cooling process, sprayed water removes heat more intensively in heated air. In addition, the operation of the fans at full capacity increases the efficiency of the cooling system, due to more even moisture filling the space in the barn and more intensive air exchange. The intensive constant air exchange provided by running the fans at full capacity avoids an excessive increase in the relative humidity in the room. Therefore, it can be concluded that the cooling system is most efficient when the system fans operate at full capacity.

The axial fan was modernised in the design part. The use of new aerodynamically shaped fan blades made of aluminium alloy increased the fan capacity from 11000 to 12000 m<sup>3</sup>/h. The modernisation also helps to extend the service life of the drive motor.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	5
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ВПЛИВУ МІКРОКЛІМАТУ НА КОРІВ ТА СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ КОРІВНИКА .....	6
1.1. Оцінка впливу мікроклімату в корівниках на тепловий стрес корів	6
1.2. Аналіз систем охолодження повітря в корівниках .....	7
Висновки до 1-го розділу .....	11
РОЗДІЛ 2 ОЦІНКА ВПЛИВУ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ НА МІКРОКЛІМАТ В КОРІВНИКУ .....	12
2.1. Опис системи охолодження .....	12
2.2. Оцінка роботи системи .....	13
Висновки до 2-го розділу .....	18
РОЗДІЛ 3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ .....	19
3.1. Розрахунок об'єму вентиляції .....	19
3.2. Розрахунок параметрів осьового вентилятора .....	23
Висновки до 3-го розділу .....	27
ВИСНОВКИ.....	28
ЛІТЕРАТУРА .....	29
ДОДАТКИ.....	32

## ВСТУП

Охолодження повітря в корівниках є важливою складовою технології утримання тварин, оскільки воно забезпечує комфортні умови для їхнього життя та збільшує продуктивність. У даній статті ми розглянемо технічні аспекти різних систем охолодження повітря в корівниках та їх переваги та недоліки.

Зважаючи, на те що корови знаходяться багато часу в умовах які можуть викликати тепловий стрес, необхідно використовувати системи охолодження повітря. Зокрема, останнім часом набули популярності системи охолодження повітря за основі розпилення мікро крапель води діаметром 2-60  $\mu\text{m}$  – адиабатичні охолоджувальні системи.

Система охолодження за допомогою розпилення води є ефективним та економічно вигідним способом забезпечення комфорту та здоров'я корів в умовах підвищеної температури та вологості.

Для досягнення максимальної ефективності системи необхідно ретельно вивчити технічні аспекти та дотримуватися правильної експлуатації, враховуючи конструкцію корівника, температуру та вологість повітря, якість води та навички оператора.

Система охолодження за допомогою розпилення води має свої обмеження, зокрема, може бути менш ефективною при дуже високій температурі та вологості. Однак, при правильній експлуатації ця система може позитивно впливати на продуктивність та здоров'я тварин, забезпечуючи максимальний ефект за мінімальні витрати.

Задачами роботи є.

1. Вивчення принципів роботи системи охолодження повітря в корівнику типу штучний туман.
2. Удосконалити систему охолодження.
3. Модернізувати конструкцію осьового вентилятора.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ ВПЛИВУ МІКРОКЛІМАТУ НА КОРІВ ТА СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ КОРІВНИКА

#### **1.1. Оцінка впливу мікроклімату в корівниках на тепловий стрес корів**

Уникнення теплового стресу в корів є важливою умовою для продуктивності та збереження здоров'я тварин [1]. Для цього необхідно забезпечити оптимальний мікроклімат в корівниках [2]. Основні параметри, що дозволяють оцінити стан мікроклімату в корівнику це температура повітря та відносна вологість повітря [3]. На основі температури та вологості можна розрахувати температурно-вологісний індекс (ТВІ, або із англійської аббревіатури THI) [4], значення якого дозволяють визначити стан в якому перебувають тварини в корівнику. Згідно досліджень [5] значення ТВІ більші за 80 вказують на можливий сильний тепловий стрес корів. Значення ТВІ менші за 68 вказують на відсутність стресу. Значення ТВІ від 68 до 72 вказують на легкий тепловий стрес. Значення ТВІ від 72 до 80 вказують на помірний тепловий стрес. Коли ТВІ становить від 72 до 80, можна очікувати зниження виробництва молока у молочної худоби, якщо не застосовувати охолодження повітря. Коли ТВІ перевищує 80, охолодження є необхідним [6], бо зниження виробництва молока може досягнути критичних значень та відбудеться погіршення самопочуття корів [7]. Дослідники стверджують, що важливі не лише значення температури та індексу температури та вологості, які впливають на утримання тварин, але й тривалість, протягом якої тварини піддаються тепловому стресу [7]. Крім того підвищена температура в корівнику сприяє зростанню викидів аміаку в навколишнє середовище [8].

Зважаючи, на те що корови знаходяться багато часу в умовах які можуть викликати тепловий стрес, необхідно використовувати системи охолодження повітря [9]. Зокрема, останнім часом набули популярності системи

охолодження повітря за основі розпилення мікро крапель води діаметром 2-60  $\mu\text{m}$  – адіабатичні охолоджувальні системи [4]. Наприклад, в роботі [10] проаналізовано роботу вентиляторів туманоутворювачів та оцінено вплив на тепловий стрес в дійних корів. Було встановлено що застосування таких вентиляторів в жарку погоду (при температурі навколишнього середовища вище  $36^{\circ}\text{C}$ ) дозволяє зменшити температуру в корівнику на  $7-8^{\circ}\text{C}$ , а ТВІ зменшити на 10%. В статті [5] було проаналізовано роботу системи зволоження в приміщенні корівника. В результаті досліджень, встановлено, що, температура повітря в корівнику знижується на  $4^{\circ}\text{C}$  порівняно з корівниками без такої системи. Тобто система створює сприятливі умови для зниження термічного стресу корів – ТВІ у корівнику нижчий, ніж на відкритому повітрі. Дослідження довели що ефективне охолодження можливе лише при тривалому розпиленні води.

## **1.2. Аналіз систем охолодження повітря в корівниках**

Охолодження повітря в корівниках є важливою складовою технології утримання тварин, оскільки воно забезпечує комфортні умови для їхнього життя та збільшує продуктивність. У даній роботі ми розглянемо технічні аспекти різних систем охолодження повітря в корівниках та їх переваги та недоліки.

Вентиляція з натуральним притоком повітря [11]

Ця система охолодження забезпечує притікання свіжого повітря ззовні через спеціальні вікна або отвори, розташовані на різних рівнях стін корівника. Тепле повітря відходить вгору, а прохолодне повітря входить знизу, що забезпечує його циркуляцію. Ця система є досить простою та ефективною, оскільки не потребує додаткових енергетичних витрат та не забруднює повітря в корівнику. Однак, у деяких випадках, вона не забезпечує достатнього охолодження повітря влітку.

### Вентиляція з примусовим притоком повітря [11]

Ця система охолодження забезпечує притікання прохолодного повітря ззовні за допомогою вентиляторів, що розташовані на стінах корівника або на даху. Вентилятори забезпечують змішування теплого повітря в корівнику з прохолодним повітрям ззовні, що забезпечує охолодження повітря влітку. Ця система є ефективнішою, ніж вентиляція з натуральним притоком повітря, оскільки забезпечує більшу кількість прохолодного повітря. Однак, вона вимагає додаткових енергетичних витрат, тому її експлуатаційні витрати можуть бути вищими.

### Система охолодження з водним охолодженням [11, 12, 13] (рис. 1.1)

Ця система охолодження забезпечує охолодження повітря за допомогою води, яка розпилюється у корівнику. Вода охолоджує повітря, яке потім циркулює в корівнику. Ця система є дуже ефективною, оскільки вода забезпечує інтенсивне охолодження повітря, але вона також вимагає значних енергетичних витрат на насоси та інші пристрої, що забезпечують роботу системи. Крім того, ця система може забруднювати повітря в корівнику відпрацьованою водою, яка виходить з системи.

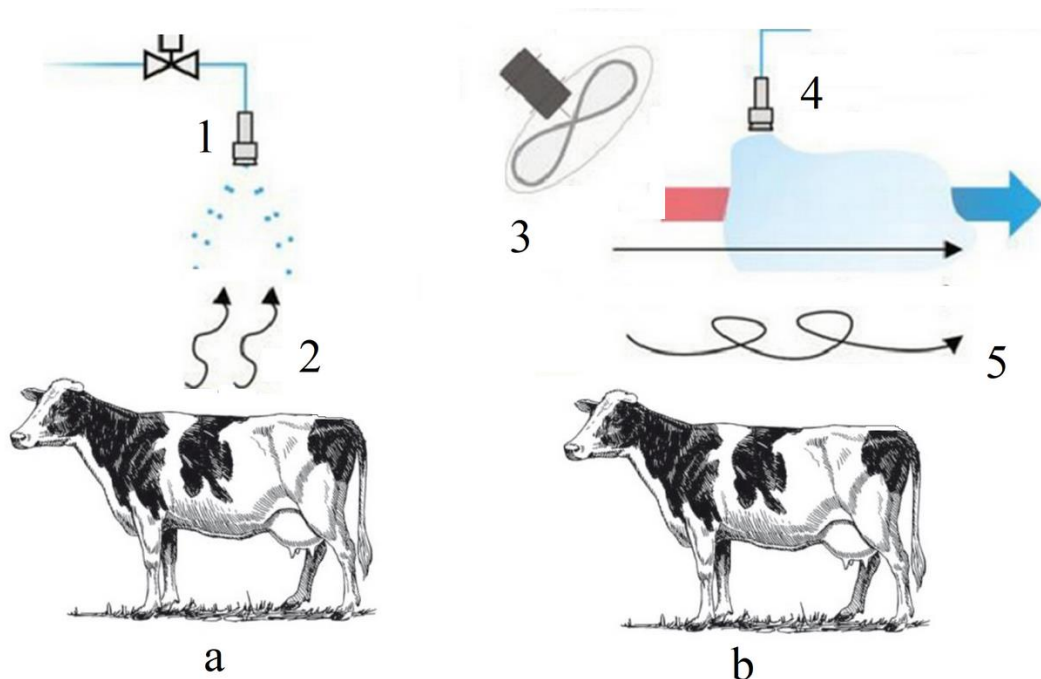




Рис. 1.1. Системи охолодження: а - система – водяний душ, б – система - туман, 1 - сопло, 2 - випаровування, 3 - вентилятор, 4 - водяна форсунка, 5 - конвекція

Система охолодження з водяним охолоджувачем [13, 14, 15]

Ця система охолодження забезпечує охолодження повітря за допомогою водяного охолоджувача, який забезпечує охолодження води, що потім розпилюється в корівнику. Ця система є дуже ефективною та забезпечує точне регулювання температури повітря, але вона є найбільш складною та вимагає значних енергетичних витрат на насоси, охолоджувачі та інші пристрої.

Таким чином, вибір системи охолодження повітря в корівнику залежить від багатьох факторів, таких як кліматичні умови, розмір корівника, бюджет та інші. Кожна з систем має свої переваги та недоліки, і перед вибором системи необхідно ретельно проаналізувати всі її технічні та експлуатаційні характеристики.

Системи охолодження повітря за допомогою розпилення води у корівнику є досить поширеними у сучасному тваринництві, оскільки вони дозволяють знизити температуру повітря у корівнику та забезпечити комфортні умови для тварин. Такі системи забезпечують ефективне охолодження повітря за допомогою розпилювання води, яка випаровується та забирає тепло з повітря, тим самим знижуючи температуру [16, 17].

Однією з основних переваг таких систем є їх простота та надійність. Система складається з насоса, що перекачує воду до розпилювачів, та розпилювачів, які розпилюють воду у корівник. Деякі системи можуть мати додаткові фільтри та системи очищення води від бруду та мікроорганізмів. Також, системи охолодження за допомогою розпилення води є економічними, оскільки вони споживають менше електроенергії, ніж інші системи охолодження [18].

Однак, існують також деякі недоліки цих систем. По-перше, вони можуть підвищувати вологість у корівнику, що може бути шкідливим для здоров'я тварин та збільшувати ризик захворювання на респіраторні захворювання. По-друге, вода, яка розпилюється, може бути джерелом забруднення повітря у корівнику, особливо якщо вода неочищена та містить багато бруду та мікроорганізмів. Також, системи охолодження за допомогою розпилення води можуть збільшувати витрати на обслуговування та ремонт, оскільки розпилювачі можуть вимагати часто текучого ремонту та заміни [14, 18, 19, 20].

Технічний аналіз системи охолодження за допомогою розпилення води у корівнику включає дослідження декількох факторів, які впливають на ефективність та ефективність цієї системи.

Першим фактором є розмір корівника та його конструкція. У залежності від розміру та конструкції корівника, необхідна кількість розпилювачів та потужність насосу може відрізнитися. Для ефективної роботи системи, необхідно враховувати геометрію корівника, розташування розпилювачів та потужність насосу [21].

Другим фактором є температура повітря та вологість у корівнику. При зниженні температури повітря та збільшенні вологості, система може стати менш ефективною. Тому, необхідно відповідно регулювати потужність системи залежно від температури та вологості [15, 22].

Третім фактором є якість води та її обробка. Вода, яка використовується для розпилювання, повинна бути очищеною від бруду та мікроорганізмів. Для цього можуть використовуватися фільтри та системи очищення води. Якість води може впливати на ефективність та тривалість роботи системи [17, 19].

Четвертим фактором є досвід та навички оператора. Для ефективної роботи системи, оператор повинен знати, як правильно налаштувати систему, регулювати потужність насосу та контролювати якість води [20]. Необхідно також знати, як регулювати систему залежно від температури та вологості у корівнику.

## **Висновки до 1-го розділу**

Система охолодження за допомогою розпилення води є ефективним та економічно вигідним способом забезпечення комфорту та здоров'я корів в умовах підвищеної температури та вологості.

Для досягнення максимальної ефективності системи необхідно ретельно вивчити технічні аспекти та дотримуватися правильної експлуатації, враховуючи конструкцію корівника, температуру та вологість повітря, якість води та навички оператора.

Система охолодження за допомогою розпилення води має свої обмеження, зокрема, може бути менш ефективною при дуже високій температурі та вологості. Однак, при правильній експлуатації ця система може позитивно впливати на продуктивність та здоров'я тварин, забезпечуючи максимальний ефект за мінімальні витрати.

## РОЗДІЛ 2

### ОЦІНКА ВПЛИВУ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ НА МІКРОКЛІМАТ В КОРІВНИКУ

#### 2.1. Опис системи охолодження

Корівник на 240 місць обладнаний охолоджуючою системою [2]. В корівнику встановлено 6 вентиляторів [Error! Reference source not found.], які посилюють циркуляцію повітря всередині тваринницького приміщення. Вентилятори вмикаються автоматично при температурі повітря 16°C, причому їх потужність становить 25% номінальної. При зростанні температури, потужність вентилятора збільшується, а при 25°C досягає максимального значення. Кожен вентилятор оснащено водяними форсунками, що розпилюють мікро краплі води, з витратою приблизно 0,8 л/хв (рис. 2.1).

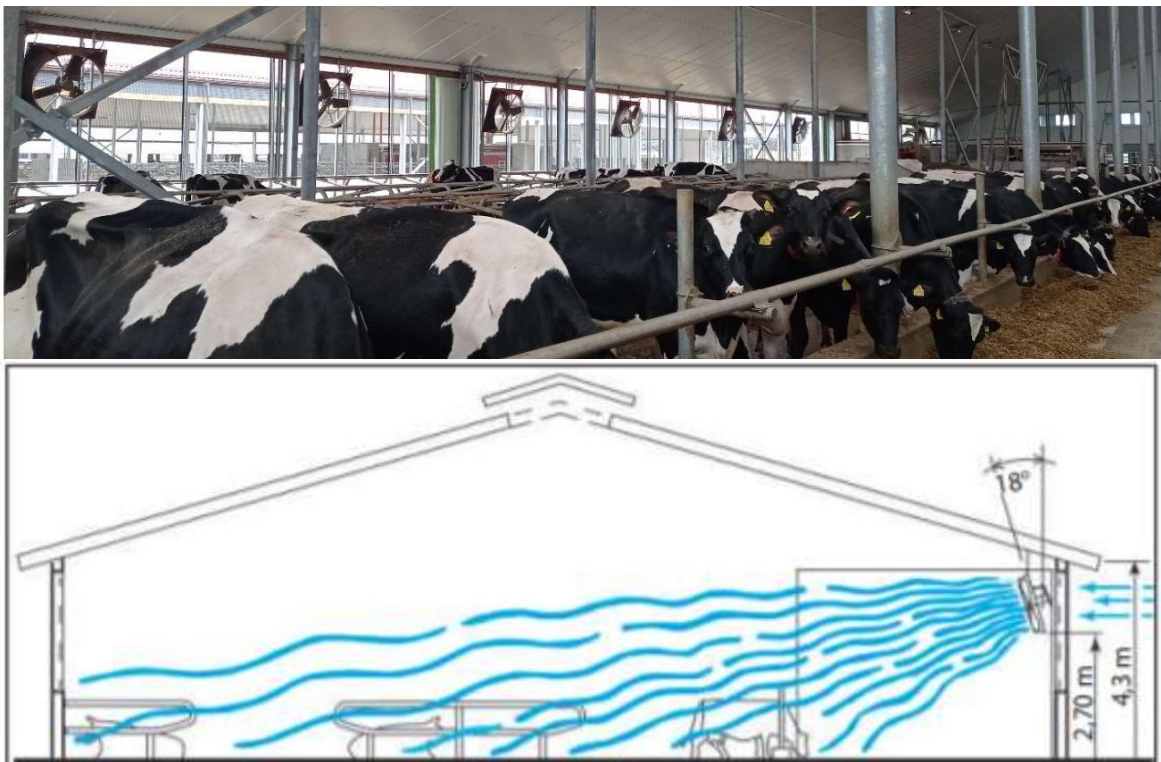


Рис. 2.1. Загальний вигляд корівника та системи охолодження на основі штучного туману [2, Error! Reference source not found.]

Температуру повітря та відносну вологість вимірювали та реєстрували щогодини за допомогою спеціальних датчиків [2,**Error! Reference source not found.**]. Температурний діапазон вимірювання від  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $80^{\circ}\text{C}$ , точність температури  $0.3^{\circ}\text{C}$ , діапазон вимірювання вологості від 5% до 95%, точність вимірювання вологості 2%.

Вимірювання та реєстрацію температури та відносної вологості виконували в найбільш спекотний літній період з 18.06.2022 по 31.08.2022 (тривалість вимірювань 1800 годин).

Під час досліджень фіксували температуру та вологість у трьох точках корівника. Також, у двох точках фіксували температуру та відносну вологість повітря, що надходило ззовні.

Кліматичний комфорт визначали за допомогою індексу температури та вологості (ТНІ – temperature humidity index) [2,6,**Error! Reference source not found.**,7]. ТНІ розраховували за рівнянням:

$$THI = (1.8T + 32) - (0.55 - 0.0055RH)(1.8T - 26) \quad (2.1)$$

Де  $T$  – середня температура повітря  $^{\circ}\text{C}$ ,

$RH$  – середня відносна вологість повітря, %.

## 2.2. Оцінка роботи системи

Згідно отриманих значень температури та вологості було розраховано  $THI_1$  (рис. 2.2) для повітря, що надходило в корівник.

ТНІ із значенням більше 80 (значення ТНІ вище лінії  $THI_{max}$  на рис. 2.2 – умови спричиняють сильний тепловий стрес) спостерігали 10 годин за період вимірювань (1800 годин), що становить 0.6% від загальної кількості годин. Умови, що спричиняють помірний тепловий стрес (значення ТНІ між лініями  $THI_{max}$  та  $THI_{med}$ ) спостерігали протягом 505 годин (28.1%). Умови, що спричиняють легкий стрес (значення ТНІ між лініями  $THI_{med}$  та  $THI_{min}$ ) спостерігали протягом 410 годин (22.8%). Без теплового стресу (значення ТНІ нижче лінії  $THI_{min}$  корови перебували протягом 875 годин (48.5%).

Зважаючи, що корови знаходились в умовах які можуть викликати тепловий стрес протягом 51.5% всього, використання системи охолодження є доречним.

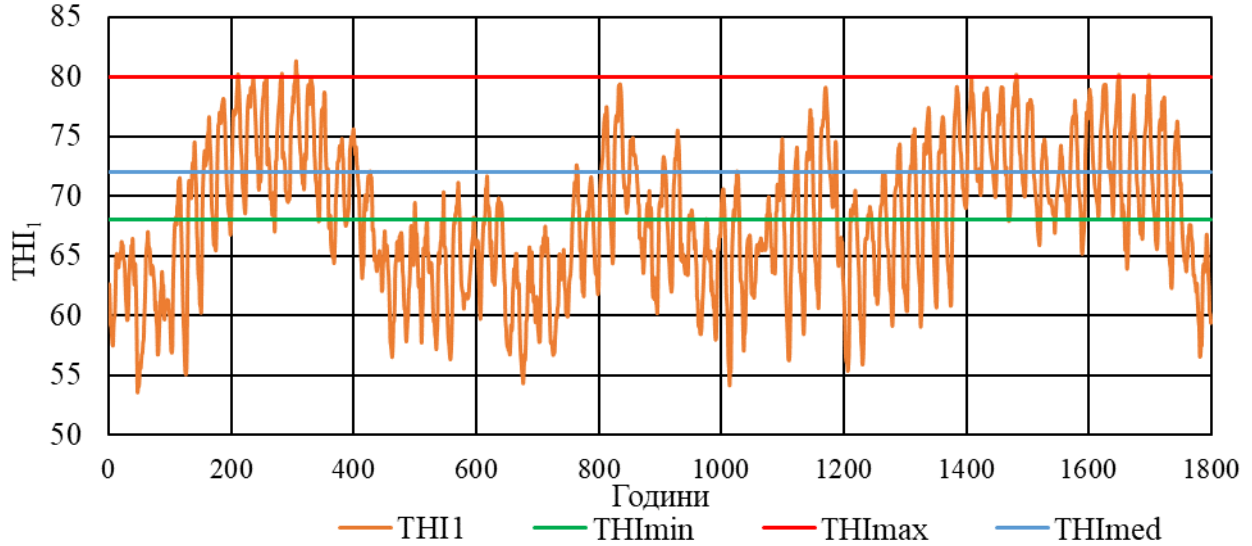


Рис. 2.2. Динаміка зміни ТНІ в період з 18.06.2022 по 31.08.2022 (1800 годин), розрахована за температурою та відносною вологістю повітря яке надходить в корівник із зовні

Отримані дані, дозволили також виконати аналіз ефективності роботи системи охолодження в помірній (максимальна температура 21.9°C) та жаркий (максимальна температура 32.2°C) літні періоди часу, що обмежені однією добою.

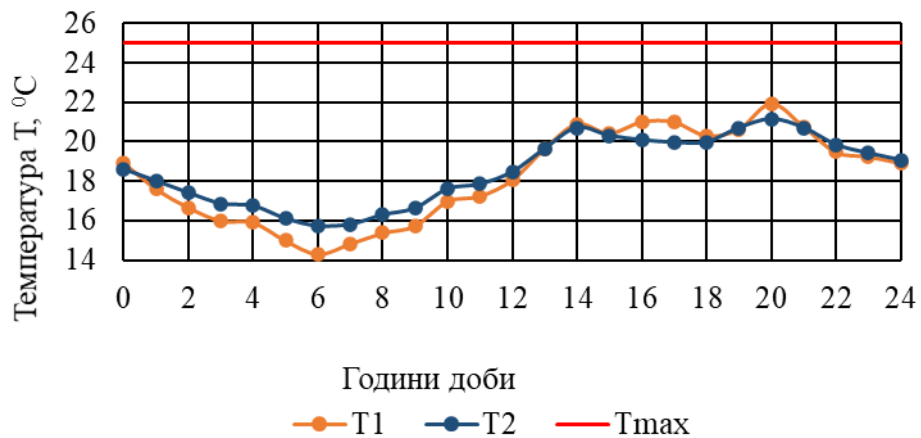


Рис. 2.3. Динаміка температури в помірний день (максимальна температура 21.9°C)

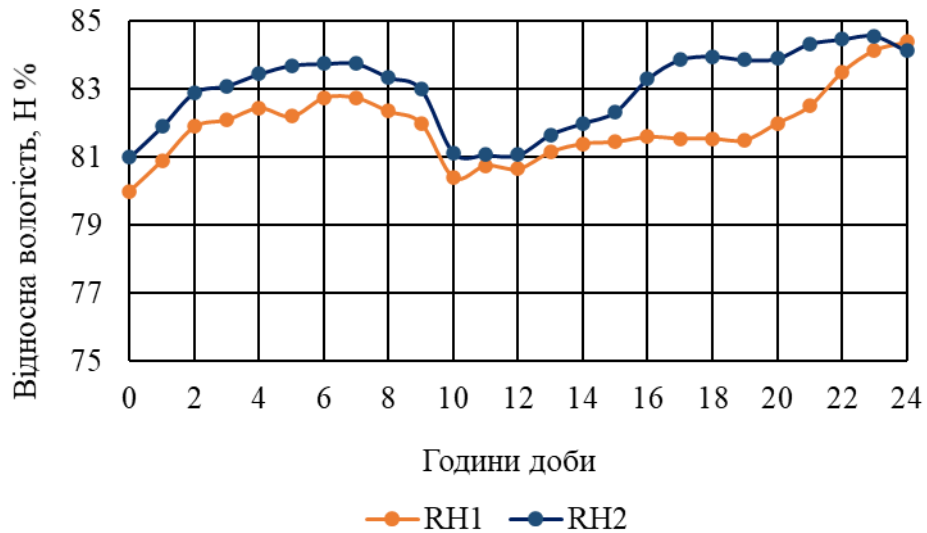


Рис. 2.4. Динаміка відносної вологості в помірний день (максимальна температура 21.9°C)

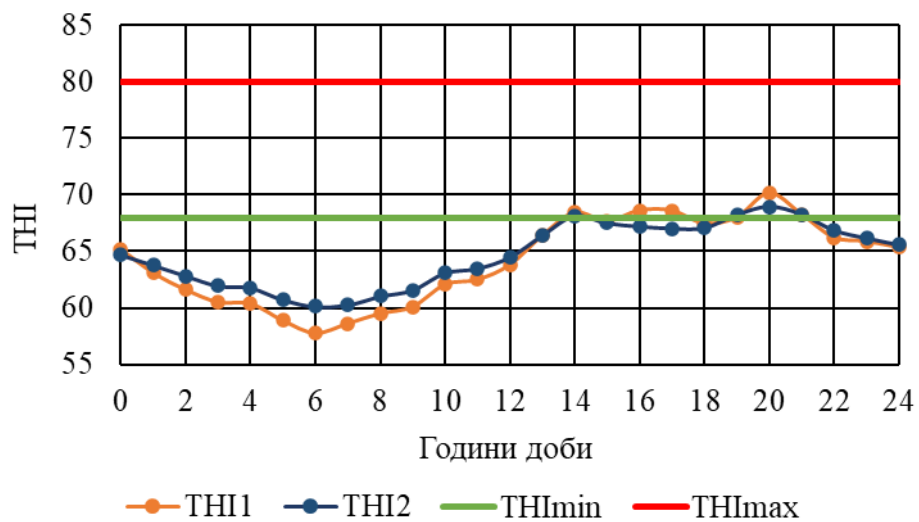


Рис 2.5. Динаміка ТНІ в помірний день (максимальна температура 21.9°C)

Аналіз графіків дозволяє зробити висновок про достатню ефективність роботи системи охолодження, хоча і не спостерігається зменшення ТНІ в порівнянні із повітрям що надходить зовні. Проте корови фактично увесь час знаходяться в приміщенні із ТНІ менше 70, а робота системи охолодження дозволяє ТНІ знаходитися в допустимих для відсутності теплового стресу межах. Крім того робота система згладжує раптові зміни температури (16,17,20 години доби) на рис. 2.3.

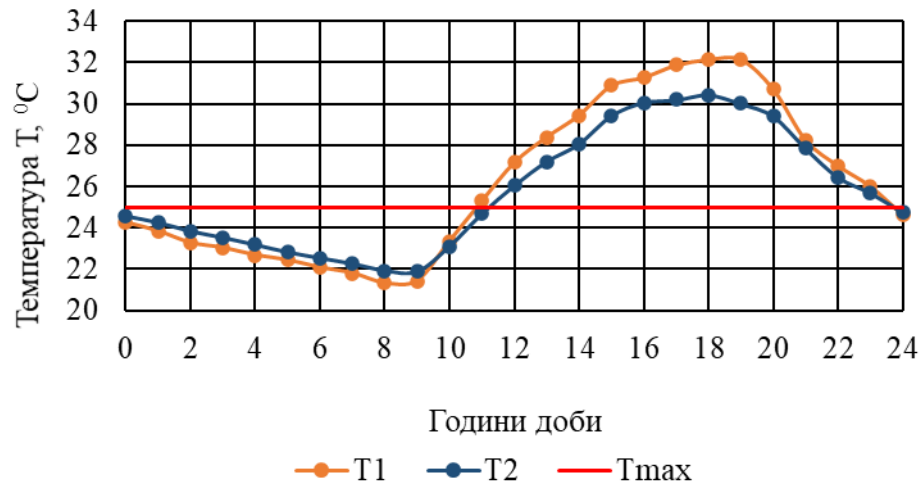


Рис. 2.6. Динаміка температури в жаркий день (максимальна температура  $32.2^{\circ}\text{C}$ )

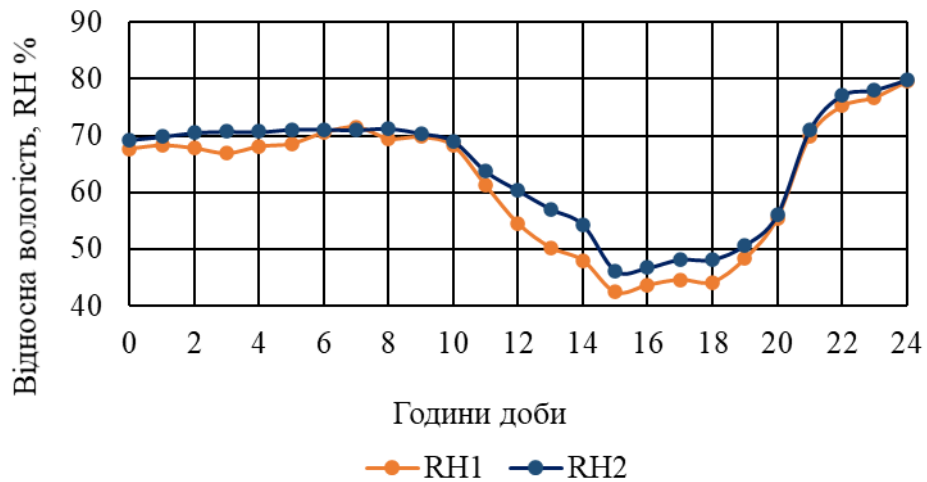


Рис. 2.7. Динаміка відносної вологості в жаркий день (максимальна температура  $32.2^{\circ}\text{C}$ )

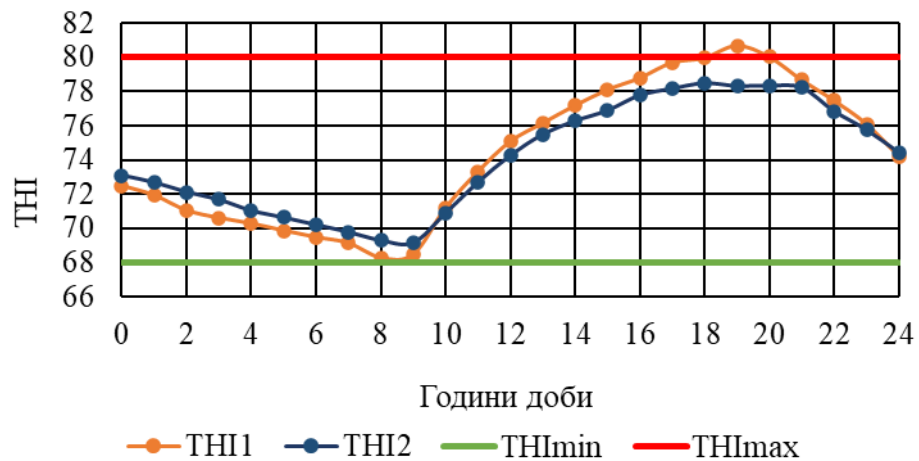


Рис. 2.8. Динаміка ТНІ в жаркий день (максимальна температура  $32.2^{\circ}\text{C}$ )



Із збільшенням температури відносна ефективність роботи системи охолодження зростає. Цей ефект пояснюється вищою інтенсивністю протікання адиабатного процесу охолодження повітря, тобто в нагрітому повітрі розпилена вода більш інтенсивніше відбирає тепло. Крім того, відносна вологість нижча при вищих температурах, що також сприяє інтенсифікації та тривалості процесу охолодження. Наприклад, для точки 18 (час доби) графіків на рис. 2.6-2.8 протікання процесу охолодження повітря, за рахунок його зволоження, можна представити у графічному вигляді на діаграмі стану вологого повітря (рис. 2.9).

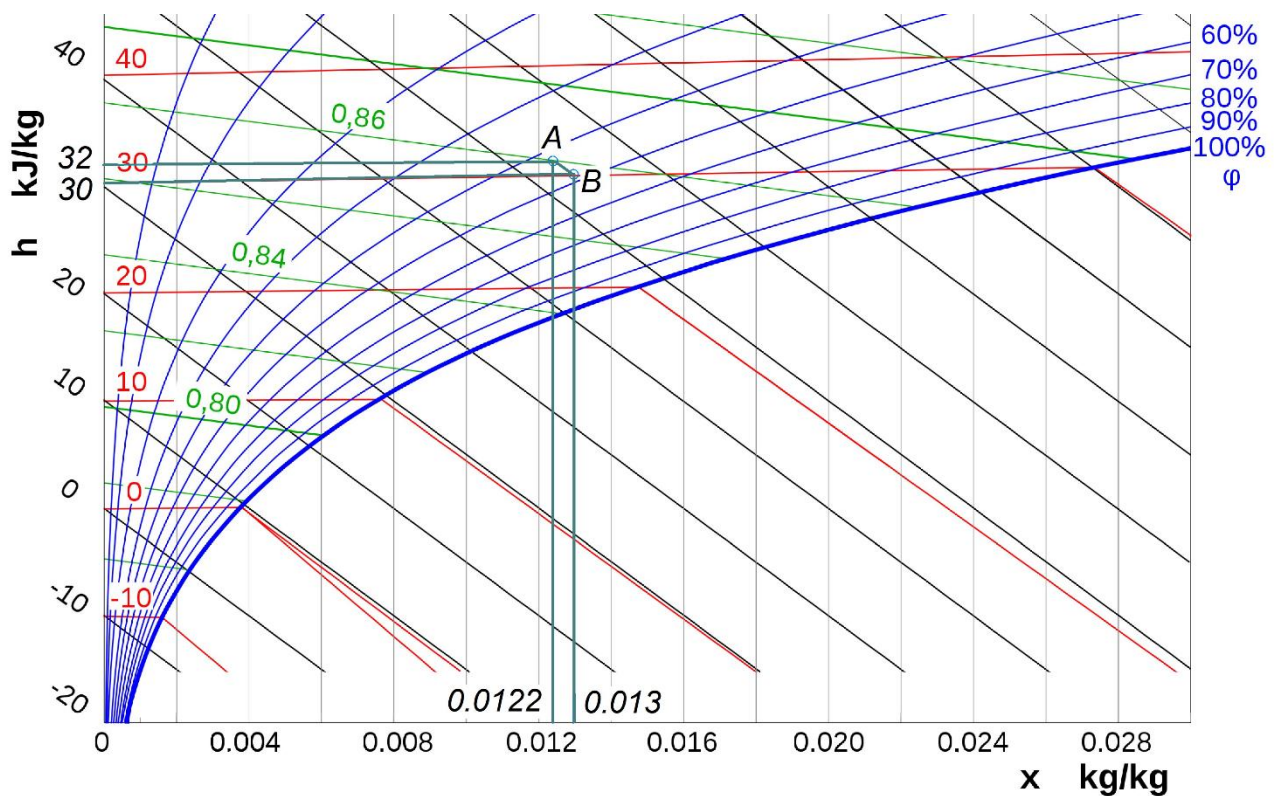


Рис. 2.9. Фрагмент діаграми вологого повітря

Повітря надходить зовні із температурою  $32^\circ\text{C}$ , відносною вологістю 48% та вологовмістом  $0.0122 \text{ kg/kg}$  (точка А). Форсунки встановленні на вентиляторах розпилюють воду, вологовміст зростає до  $0.013 \text{ kg/kg}$ , відносна вологість зростає до 48%, а температура зменшується до  $30^\circ\text{C}$  (точка В). Крім того робота вентиляторів на повну потужність, після піднімання температури

вище 25°C, також сприяє підвищенню ефективності системи охолодження, внаслідок більш рівномірно наповнення вологою простору в приміщенні корівника та більш інтенсивного повітрообміну. Інтенсивний постійний повітрообмін, що забезпечується роботою вентиляторів на повну потужність, дозволяє уникнути надмірного зростання відносної вологості приміщенні. Тому, можна зробити висновок, що найбільш ефективною є робота системи охолодження, коли вентилятори системи працюють на повну потужність.

Очевидно, що система охолодження створює сприятливі умови для зниження температурного стресу корів. Але потрібно проводити подальші дослідження, для того щоб оптимізувати втрати води та електричної енергії, визначити вплив розміру крапель води та періодичності роботи системи на ефективність зниження температурного стресу корів.

### **Висновки до 2-го розділу**

Дослідження роботи системи охолодження виконували в корівнику на 240 місць. Із збільшенням температури відносна ефективність роботи системи охолодження зростає. Цей ефект пояснюється вищою інтенсивністю протікання адиабатного процесу охолодження повітря, тобто в нагрітому повітрі розпилена вода більш інтенсивніше відбирає тепло. Крім того робота вентиляторів на повну потужність сприяє підвищенню ефективності системи охолодження, внаслідок більш рівномірно наповнення вологою простору в приміщенні корівника та більш інтенсивного повітрообміну. Інтенсивний постійний повітрообмін, що забезпечується роботою вентиляторів на повну потужність, дозволяє уникнути надмірного зростання відносної вологості приміщенні. Тому, можна зробити висновок, що найбільш ефективною є робота системи охолодження, коли вентилятори системи працюють на повну потужність.

## РОЗДІЛ 3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

### 3.1. Розрахунок об'єму вентиляції

У тваринницьких приміщеннях переважно прийнята припливно-витяжна вентиляція на природній тязі повітря. Для правильної її експлуатації потрібно порівняно точний оптимальний розрахунок обсягу вентиляції. При цьому зазвичай враховують вміст у повітрі вуглекислого газу та водяної пари. Визначають годинний обсяг вентиляції, кратність повітрообміну, сумарну площу перерізу витяжних труб та припливних каналів кількість витяжних труб та припливних каналів [3].

Як критерій придатності повітря беремо  $\epsilon$  вміст у ньому вуглекислоти. Необхідний за вмістом вуглекислоти повітрообмін  $V_{co_2}$ , м<sup>3</sup>/год, визначають за формулою:

$$V_{co_2} = \frac{C_{тв} \cdot N}{C_1 - C_2}, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (3.1)$$

де  $C_{тв}$  – кількість вуглекислоти, що виділяється однією твариною, л/годину;  
 $N$  – поголів'я тварин у приміщенні, гол.;  
 $C_1$  – вміст вуглекислоти у свіжому припливному повітрі, л/м<sup>3</sup> (0,3 л/м<sup>3</sup>);  
 $C_2$  – гранично допустима концентрація вуглекислоти в приміщенні, л/м<sup>3</sup>

$$V_{co_2} = \frac{90 \cdot 100 + 87 \cdot 48 + 36 \cdot 21}{2,0 - 0,3} = 8195 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Необхідний за вмістом вологи повітрообмін  $V_{H_2O}$ , м<sup>3</sup>/год, у корівник визначається за формулою:

$$V_{H_2O} = \frac{q \cdot N + W}{(q_1 - q_2) \cdot \rho}, \quad (3.2)$$

де  $q$  – кількість вологи, що виділяється однією твариною, г/год;

$q_1$  – вміст вологи в приміщенні при допустимій відносній вологості для даного виду тварин, г/кг ;

$q_2$  – вміст вологи зовнішнього повітря, г/кг;

$W$  – обсяг вологи, яка виділяється з мокрих місць підлоги, годівниць, напувалок, г/год, ( $W=25\%$  від добутку  $q \cdot N$ );

$\rho$  – густина сухого повітря, кг/м<sup>3</sup>

$$V_{H_2O} = \frac{(288 \cdot 100 + 87 \cdot 153 + 36 \cdot 67) + (288 \cdot 100 + 87 \cdot 153 + 36 \cdot 67) \cdot 0,25}{(13,875 - 3,2) \cdot 1,222} = 4266,3 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Відношення розрахункового об'єму повітря, що подається (видаляється) за одиницю часу до корисного об'єму приміщення  $V_n$  називається кратністю повітрообміну  $K_{об}$ :

$$K_{об} = \frac{V}{V_n} = \frac{8195}{8190} = 1,0. \quad (3.3)$$

У випадку  $K_{про} > 5$  необхідно забезпечувати кондиціонування повітря.

При використанні природної вентиляції загальну площу витяжних каналів  $F_\epsilon$  м<sup>2</sup> розраховують за формулою:

$$F_\epsilon = \frac{V}{3600v_\epsilon}, \quad (3.4)$$

де  $V$  – прийнятий для розрахунків повітрообмін, м<sup>3</sup>/год;  
 $v_{\epsilon}$  – швидкість руху повітря в каналі, м/с,

$$v_{\epsilon} = \sqrt{\frac{2gH(\rho_z - \rho_{\epsilon})}{\rho_{\epsilon}}}, \quad (3.5)$$

де  $H$  – витяжний канал по висоті, м ( $H = 3,5$  м);

$g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>;

$\rho_z, \rho_{\epsilon}$  – відповідно густина повітря зовні та всередині приміщення, кг/м<sup>3</sup>

;

$$v_{\epsilon} = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 3,5 \cdot (1,226 - 1,222)}{1,222}} = 0,474 \text{ м/с.}$$

$$F_{\epsilon} = \frac{8195}{3600 \cdot 0,474} = 4,8 \text{ м}^2$$

Кількість каналів  $n_{\kappa}$ , шт., Визначаємо за виразом:

$$n_{\kappa} = \frac{F_{\epsilon}}{f_{\epsilon}}, \quad (3.6)$$

де  $f_{\epsilon}$  - площа поперечного перерізу каналу, м<sup>2</sup> ( приймаємо  $f_{\epsilon}$  із стандартного ряду розмірів:  $0,4 \times 0,4$ ;  $0,5 \times 0,5$ ;  $0,6 \times 0,6$ ;  $0,7 \times 0,7$ ;  $1 \times 1$  м  $f_{\epsilon} = 0,49$  м<sup>2</sup> )

$$n_{\kappa} = \frac{4,8}{0,49} = 10 \text{ шт.}$$

Сумарну продуктивність  $W_{\epsilon}$ , м<sup>3</sup>/годину, витяжних вентиляторів у запропонованій системі вентиляції (враховуючи механічне збудження повітряного потоку) слід визначити з деяким запасом:

$$W_{\epsilon} = (2...3) \cdot V_n, \quad (3.7)$$

де 2...3 - коефіцієнт запасу,

$$W_{\epsilon} = 2 \cdot 8195 = 16390 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Продуктивність припливних вентиляторів повинна на 10...20% перевищувати продуктивність витяжних установок, щоб створювати у корівнику незначно підвищений тиск повітря. І саме тому холодне повітря, яке надходить зовні та пилоподібні частинки, а також хвороботворні мікроорганізми не потраплятимуть у приміщення крізь щілини стін, вікон та дверей.

Кількість  $n_{\epsilon}$ , шт., вентиляційних установок визначаємо з відношення:

$$n_{\epsilon} = \frac{W_{\epsilon}}{Q_{\epsilon}}, \quad (3.8)$$

де  $Q_{\epsilon}$  - продуктивність обраного вентилятора, м<sup>3</sup>/год, ( $Q = 11000 \text{ м}^3/\text{год}$ )

$$n_{\epsilon} = \frac{16390}{11000} = 5,5 \text{ шт.}$$

Приймаємо 6 осьових вентиляторів з наступною характеристикою:

подача при тиску 20 Па – 12000 м<sup>3</sup>/год;

діаметр робочого колеса – 710 мм;

частота обертання – 1000 хв<sup>-1</sup>;

потужність двигуна – 0,37 кВт;  
 діапазон регулювання частоти обертання – 10:1;  
 маса електровентилятора – 26 кг.

### 3.2. Розрахунок параметрів осьового вентилятора

Обчислюємо коефіцієнт швидкохідності  $n_s$ ,

$$n_s = 53 \frac{L^{0,5}}{P^{0,75}} \omega_0, \quad (3.9)$$

де  $L$  – продуктивність вентилятора, м<sup>3</sup>/с;  
 $P$  – тиск, що розвивається вентилятором, Па;  
 $\omega_0$  – Кутова швидкість вентилятора, рад/с;

та перевіряють, чи відповідає отримане значення області роботи осьових вентиляторів 200...400 [5].

$$n_s = 53 \frac{3,33^{0,5}}{40^{0,75}} 104 = 334.$$

Колову швидкість  $u_2$ , м/с, на зовнішньому діаметрі колеса визначаємо за формулою

$$u_2 = \frac{\pi D_2 n}{60}, \quad (3.10)$$

де  $D_2$  – діаметр втулки,  $D_2 = 0,12$  м.

Колова швидкість

$$u_2 = \frac{3,14 \cdot 0,12 \cdot 1000}{60} = 36,85 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Площу кільцевого перерізу  $\omega_K, \text{м}^2$ , знаходимо за формулою

$$\omega_K = \frac{\pi(D_2^2 - D_1^2)}{4}. \quad (3.11)$$

$$\omega_K = \frac{3,14(0,71^2 - 0,12^2)}{4} = 0,384 \text{ м}^2.$$

Коефіцієнт витрати  $\varphi$  визначимо за формулою

$$\varphi = \frac{L}{\omega_K u_2} = \frac{3,33}{0,384 \cdot 36,85} = 0,235. \quad (3.12)$$

Осьову складову абсолютної швидкості  $C_n, \text{м/с}$

$$C_n = \varphi \cdot u_2, \quad (3.13)$$

$$C_n = 0,235 \cdot 36,85 = 8,66 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Середній діаметр лопаток  $D_{\text{ср}}, \text{м}$ , визначимо за формулою

$$D_{\text{ср}} = \sqrt{\frac{(D_2^2 + D_1^2)}{2}}. \quad (3.14)$$



$$D_{\text{cp}} = \sqrt{\frac{(0,12 + 0,71)}{2}} = 0,5 \text{ м.}$$

Колову швидкість  $u_{\text{cp}}$ , м/с, на середньому діаметрі колеса визначаємо за формулою

$$u_{\text{cp}} = \frac{D_{\text{cp}} \omega_0}{2}, \quad (3.15)$$

$$u_{\text{cp}} = \frac{0,5 \cdot 104}{2} = 26,4 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Кут лопатки  $\beta_1^\circ$  на вході визначаємо за формулою

$$\beta_1 = \text{arctg} \frac{c_n}{u_{\text{cp}}}, \quad (3.16)$$

$$\text{Кут лопатки } \beta_1 = \text{arctg} \frac{8,66}{26,4} = 18^\circ.$$

Число лопаток  $Z$  приймаємо 4 штуки.

Крок профілю  $t$ , м, дорівнює

$$t = \frac{\pi D_{\text{cp}}}{Z} = \frac{3,14 \cdot 0,5}{4} = 0,4 \text{ м.} \quad (3.17)$$

Довжину хорди лопатки  $b$ , м, визначаємо за формулою

$$b = 0,6 \cdot t = 0,6 \cdot 0,4 = 0,24 \text{ м.} \quad (3.18)$$

Кут установки лопатки  $\theta^\circ$

$$\theta = \beta_1 + 2^\circ = 18 + 2 = 20^\circ. \quad (3.19)$$

Модернізація вентилятора полягає у зміненому робочому колесі, яке має аеродинамічну форму зі спеціальною геометрією лопатей, що забезпечує більшу продуктивність у порівнянні зі стандартним робочим колесом при тих же витратах електроенергії.

Робоче колесо виготовлене зі сплаву алюмінію і має мещу вагу, тому двигун відчуває менше навантажень у момент запуску, а отже, продовжується термін експлуатації електродвигуна.

Корпус вентилятора виготовляється з листової оцинкованої сталі та має жорстку конструкцію. Посадковий діаметр на вал електродвигуна 22мм. Зовнішній діаметр робочого колеса 710мм (рис. 3.1).

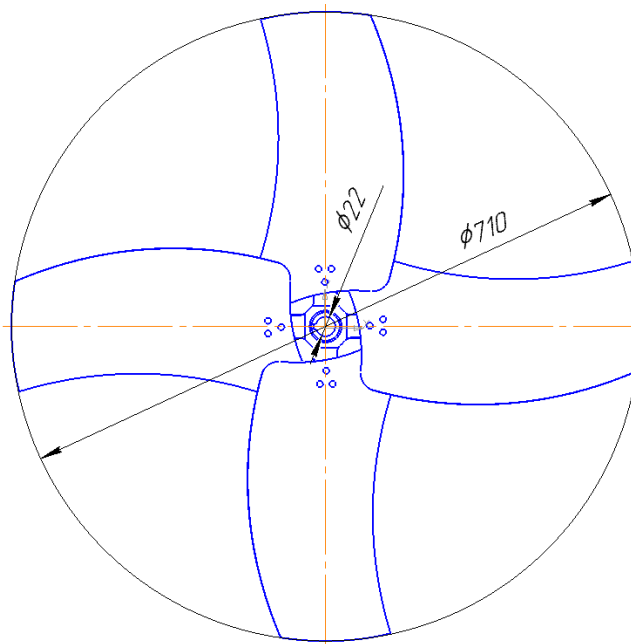


Рис 3.2 – Схема робочого колеса

Таблиця 3.1. Технічні характеристики

Назва	Продуктивність, м <sup>3</sup> /год	Потужність двигуна,	Частота оберт.,	Напруга, В	Маса, кг
-------	--	------------------------	--------------------	------------	----------

		кВт	ха <sup>-1</sup>		
Вентилятор осьовий стандартний	11000	0,37	1000	380	32
Вентилятор осьовий модернізований	12000	0,37	1000	380	26

Модернізований вентилятор зі зміненим робочим колесом, який має аеродинамічну форму зі спеціальною геометрією лопатей, забезпечує більшу продуктивність у порівнянні зі стандартним робочим колесом за тих же витрат електроенергії. Лопаті робочого колеса виготовлені з алюмінієвого сплаву, що дозволило знизити вагу робочого колеса на 1,6 кілограма, за рахунок чого збільшується продуктивність вентилятора, двигун відчуває менше перевантажень в момент запуску і продовжується термін його експлуатації.

### **Висновки до 3-го розділу**

У конструкторській частині здійснено модернізацію осьового вентилятора. За рахунок застосування нових лопаток вентилятора аеродинамічної форми, виготовлених з алюмінієвого сплаву, зросла продуктивність вентилятора з 11000 до 12000 м<sup>3</sup>/год. Модернізація також сприяє продовженню терміну служби приводного електродвигуна.

## ВИСНОВКИ

Система охолодження за допомогою розпилення води є ефективним та економічно вигідним способом забезпечення комфорту та здоров'я корів в умовах підвищеної температури та вологості.

Для досягнення максимальної ефективності системи необхідно ретельно вивчити технічні аспекти та дотримуватися правильної експлуатації, враховуючи конструкцію корівника, температуру та вологість повітря, якість води та навички оператора.

Система охолодження за допомогою розпилення води має свої обмеження, зокрема, може бути менш ефективною при дуже високій температурі та вологості. Однак, при правильній експлуатації ця система може позитивно впливати на продуктивність та здоров'я тварин, забезпечуючи максимальний ефект за мінімальні витрати.

Дослідження роботи системи охолодження виконували в корівнику на 240 місць. Із збільшенням температури відносна ефективність роботи системи охолодження зростає. Цей ефект пояснюється вищою інтенсивністю протікання адиабатного процесу охолодження повітря, тобто в нагрітому повітрі розпилена вода більш інтенсивніше відбирає тепло. Крім того робота вентиляторів на повну потужність сприяє підвищенню ефективності системи охолодження, внаслідок більш рівномірно наповнення вологою простору в приміщенні корівника та більш інтенсивного повітрообміну. Інтенсивний постійний повітрообмін, що забезпечується роботою вентиляторів на повну потужність, дозволяє уникнути надмірного зростання відносної вологості приміщенні. Тому, можна зробити висновок, що найбільш ефективною є робота системи охолодження, коли вентилятори системи працюють на повну потужність.

У конструкторській частині здійснено модернізацію осьового вентилятора. За рахунок застосування нових лопаток вентилятора аеродинамічної форми, виготовлених з алюмінієвого сплаву, зросла продуктивність вентилятора з 11000 до 12000 м<sup>3</sup>/год. Модернізація також сприяє продовженню терміну служби приводного електродвигуна.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Mylostyvyi, R.; Chernenko, O. Correlations between Environmental Factors and Milk Production of Holstein Cows. *Data* 2019, 4, 103. <https://doi.org/10.3390/data4030103>
2. Bleizgys, R.; Naujokienė, V.; Čėsna, J. Humidification–Cooling System in Semi-Insulated Box-Type Cowsheds Prevent the Loss of Milk Productivity Due to Thermal Stress. *Agronomy* 2022, 12, 1131. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051131>
3. Kic, P. Influence of External Thermal Conditions on Temperature–Humidity Parameters of Indoor Air in a Czech Dairy Farm during the Summer. *Animals* 2022, 12, 1895. <https://doi.org/10.3390/ani12151895>
4. Boyu Ji, Thomas Banhazi, Kristen Perano, Afshin Ghahramani, Les Bowtell, Chaoyuan Wang, Baoming Li, A review of measuring, assessing and mitigating heat stress in dairy cattle, *Biosystems Engineering*, Volume 199, 2020, Pages 4-26, <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.07.009>.
5. A.T. Chamberlain, C.D. Powell, E. Arcier, N. Aldenhoven The relationship between on-farm environmental conditions inside and outside cow sheds during the summer in England: can Temperature Humidity Index be predicted from outside conditions?, *Animal - Open Space*, Volume 1, Issue 1, 2022, 100019, <https://doi.org/10.1016/j.anopes.2022.100019>.
6. Armstrong, D.V., 1994. Heat stress interaction with shade and cooling. *Journal of Dairy Science* 77, 2044–2050. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(94\)77149-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(94)77149-6)
7. H. Levit, S. Pinto, T. Amon, E. Gershon, A. Kleinjan-Elazary, V. Bloch, Y.A. Ben Meir, Y. Portnik, S. Jacoby, A. Arnin, J. Miron, I. Halachmi, Dynamic cooling strategy based on individual animal response mitigated heat stress in dairy

cows. *Animal*, Volume 15, Issue 2, 2021, 100093, <https://doi.org/10.1016/j.animal.2020.100093>.

8. J. Broucek, P. Novak, J. Vokralova, M. Soch, P. Kisac, M. Uhrinca. Effect of high temperature on milk production of cows from free-stall housing with natural ventilation. *Slovak J. Anim Sci.*, 42 (4) (2009), pp. 167-173

9. G. Tresoldi, K.E. Schütz, C.B. Tucker Cooling cows with sprinklers: Effects of soaker flow rate and timing on behavioral and physiological responses to heat load and production *Journal of Dairy Science*, 102 (1) (2019), pp. 528-538. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14962>

10. J. C. Lin, B. R. Moss, J. L. Koon, C. A. Flood, R. C. Smith III, K. A. Cummins, D. A. Coleman *Applied Engineering in Agriculture*. 1998 14(2): 177-182. (doi: 10.13031/2013.19370)

11. Вербовський, В. М. (2019). Охолодження корів в умовах підвищеної температури. *Тваринництво України*, 1, 32-36.

12. Al-Haidary, A. A., & Al-Haidary, I. A. (2019). Cooling dairy cows during heat stress using water spray and forced ventilation. *Journal of Animal Science*, 97(5), 2233-2241.

13. Демидов, І. О. (2017). Вплив систем охолодження на ефективність вирощування та здоров'я корів. *Вісник аграрної науки*, 6, 12-17.

14. Brown-Brandl, T. M., Eigenberg, R. A., Nienaber, J. A., & Hahn, G. L. (2005). Dynamic response indicators of heat stress in shaded and non-shaded feedlot cattle, Part 1: Analyses of indicators. *Biosystems Engineering*, 90(4), 451-462.

15. Петришин, О. В. (2020). Системи охолодження в корівниках: переваги та недоліки. *Аграрна наука і харчові технології*, 2, 87-92.

16. Шевчук, О. В. (2015). Особливості використання систем охолодження у корівниках. *Наукові праці Вінницького національного аграрного університету*, 1(68), 120-123.

17. Зарубіжні джерела:

18. DeVries, T. J., & Beauchemin, K. A. (2007). Short communication: Impact of feedbunk shade on the production and behavior of dairy cows in a freestall barn. *Journal of Dairy Science*, 90(9), 4091-4095.
19. Du Preez, J. H., & Joubert, F. J. (1987). The cooling of dairy cows by means of sprinklers during hot weather. *South African Journal of Animal Science*, 17(2), 55-60.
20. Gebremedhin, K. G., Collier, R. J., & Renquist, B. J. (2008). Effect of heat stress on dairy animals and its economic impact on the dairy industry. *Journal of Dairy Science*, 91(5), 2046-2052.
21. Hillman, P. E., Orihuela, A., & Hines, R. H. (1971). The effect of shade and sprinkling on milk production and body weight change of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 54(4), 553-556.
22. Renaudeau, D., Collin, A., Yahav, S., de Basilio, V., Gourdine, J. L., & Collier, R. J. (2012). Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal*, 6(5), 707-728.

## **ДОДАТКИ**



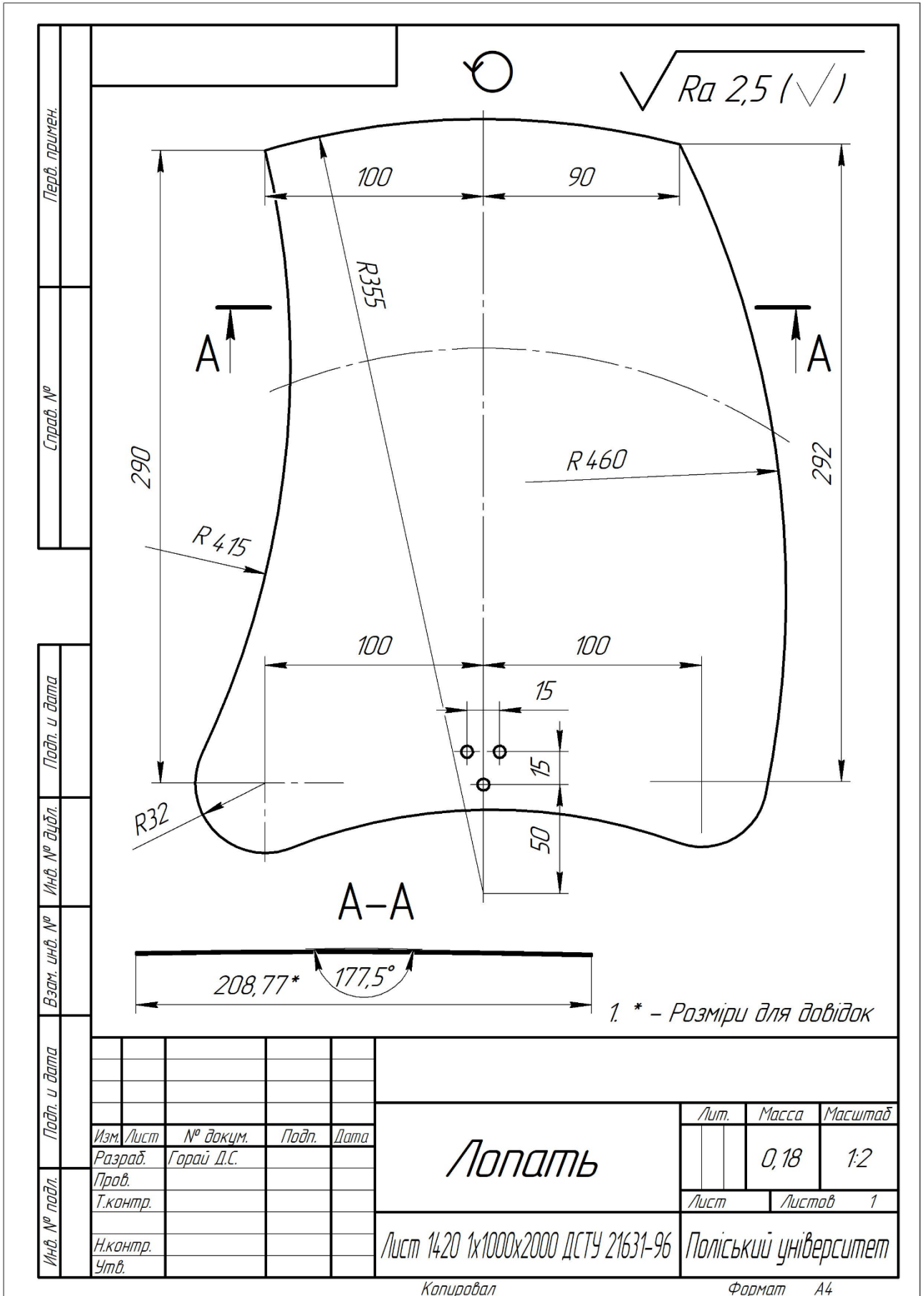






1		<i>Жалюзі</i>	1
2		<i>Корпус</i>	1
3		<i>Колесо робоче</i>	1
4		<i>Кронштейн</i>	4
5		<i>Електродвигун</i>	1





Перв. примен.	Справ. №	Подп. и дата	Инв. № отд.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Горай Д.С.		
Проб.				
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.				

**Лопать**

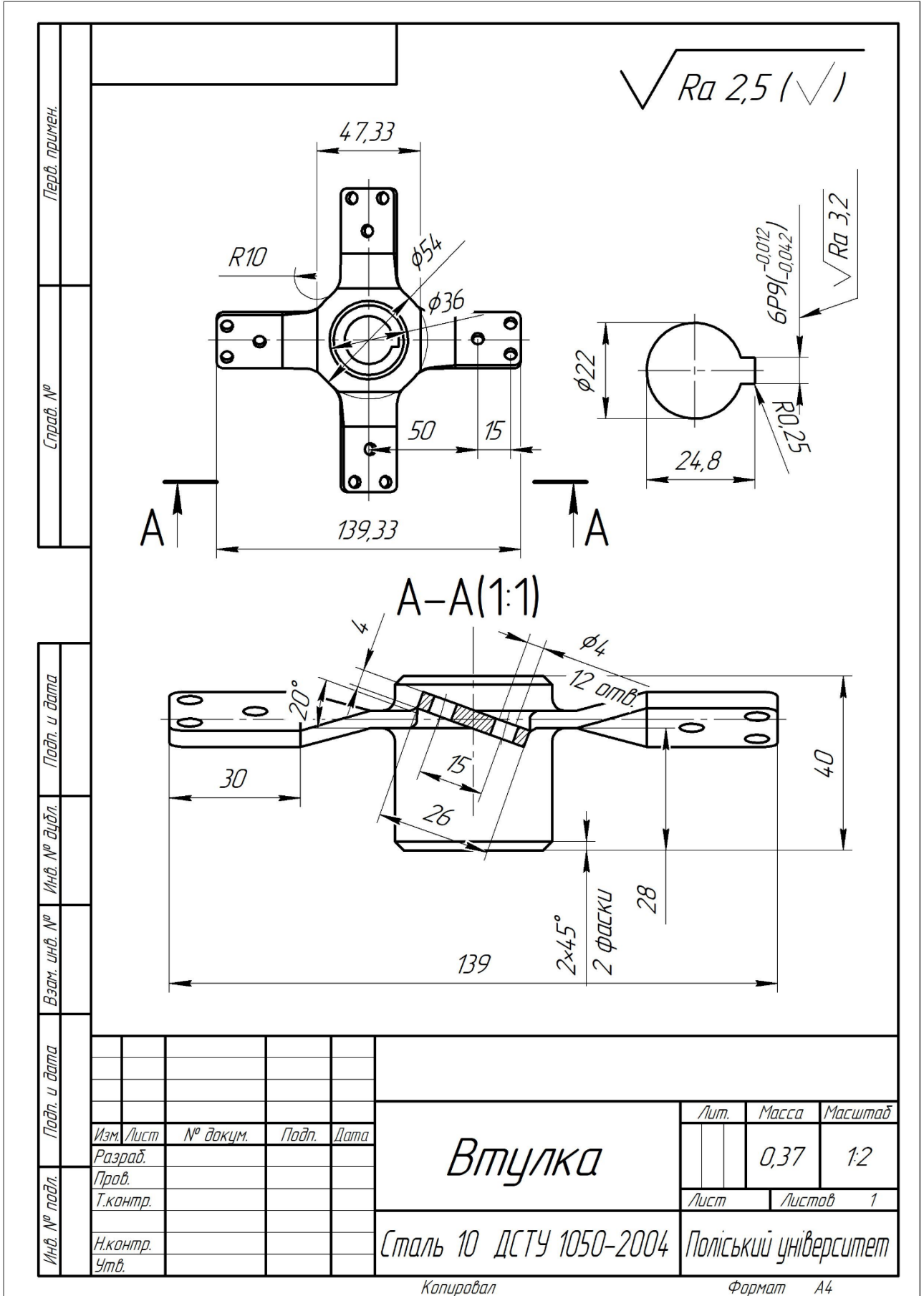
Лист 14-20 1x1000x2000 ДСТУ 21631-96

Лит.	Масса	Масштаб
	0,18	1:2
Лист	Листов	1
Поліський університет		

Копирвал

Формат А4

1. \* - Розміри для довідок



Справ. №  
Перв. примен.

Взам. инв. №  
Инв. № дубл.  
Подп. и дата

Подп. и дата  
Изм. / лист  
Разраб.  
Проб.  
Т.контр.  
И.контр.  
Утв.

Изм.	Лист	№ док-м.	Подп.	Дата

**Втулка**

Сталь 10 ДСТУ 1050-2004

Лит.	Масса	Масштаб
	0,37	1:2
Лист	Листов	1

Поліський університет