

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ ТВАРИННИЦЬКИХ ПРИМІЩЕНЬ

С. В. ГАЙДУКЕВИЧ, старший викладач
Л. С. КОЛОДІЙЧУК, кандидат педагогічних наук, доцент
М. В. ПОТАПЕНКО, старший викладач
Н. П. СЕМЕНОВА, старший викладач
ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»
E-mail: SoleykoS@mail.ru

Анотація. Проаналізовано можливості використання теплових насосів для підвищення енергоефективності систем опалення тваринницьких приміщень, на прикладі телятника на 600 голів. Проведено моніторинг витрати і надходження теплоти в залежності від зміни теплового режиму сільськогосподарського приміщення і навколишнього середовища та встановлено залежність між цими показниками. Складено тепловий баланс об'єкту дослідження і розраховано теплове навантаження, виходячи з умов забезпечення температурного режиму в залежності від виду тварин, теплопровідності огорожувальних конструкцій і кліматичної зони розташування. Встановлено, що найбільші тепловтрати в телятнику виникають через огорожувальні конструкції і вентиляцію залежно від зовнішньої температури. Обчислено основні технічні характеристики теплового насосу та проведено їх аналіз.

Ключові слова: *тепловий насос, теплонасосна система, система опалення, теплове навантаження*

Актуальність. Низька ефективність використання енергетичних ресурсів, особливо в електротехнологічних комплексах щодо забезпечення мікроклімату в спорудах АПК, обумовлює пошук шляхів удосконалення існуючих і розробку нових прогресивних електротехнологій та засобів реалізації.

Сьогодні підвищення енергоефективності системи опалення тваринницького приміщення стає все більш актуальним у зв'язку із ростом цін й зменшенням лімітів на енергоносії.

Це пов'язано з тим, що забезпечення необхідного мікроклімату є одним з найбільш енергоємних технологічних процесів (до 40 % від загальних енерговитрат) поряд із приготуванням й роздаванням кормів, прибиранням гною.

Зокрема, в умовах постійно зростаючих цін на енергоносії пошук шляхів енергозбереження є першочерговим завданням, вирішення якого

дозволить забезпечити максимальну продуктивність тварин за мінімальних витрат паливно-енергетичних ресурсів.

Враховуючи вище сказане, в умовах інтенсивного розвитку промислового тваринництва важливою інженерною задачею є створення таких вентиляційно-опалювальних систем, які б забезпечували необхідні зоогігієнічні умови утримання тварин і знижували енерговитрати на створення оптимального мікроклімату.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розробкою опалювальних установок та підвищенням їх ефективності в аграрному секторі економіки займалися такі науковці як А. А. Амерханов, А. Г. Римарів, Г. Н. Самарін, С. В. Мельник, Н. А. Садомів, М. П. Шаталів, А. Г. Семенова, А. В. Соковікова, А. М. Адріанів, В. В. Савічев, К. И. Шкурихіна, К. А. Гарькавий, В. Г. Житів, С. А. Філатов, А. В. Бодунов, Ю. А. Воробйова, Д. А. Лашин, П. Ш. Ібрагімов і інші..

Більшість науковців вважають, що вітчизняне аграрне виробництво неминуче стикається з необхідністю модернізації техніки, технологій і процесів з метою виробництва конкурентоздатної на світовому ринку продукції.

Повна модернізація, в основному, спрямована на підвищення продуктивності, точності регулювання параметрів технологічного процесу і підвищення енергоефективності [2].

Мета дослідження – розглянути питання підвищення енергоефективності системи опалення тваринницького приміщення за рахунок використання повітряного теплового насоса.

Матеріали і методи дослідження. Відомо, що ефективність теплового насосу, як будь-якої теплової установки, залежить безпосередньо від географічного розташування, особливостей кліматичної зони, особливостей самого приміщення тощо. В теплових насосах використовують низькотемпературні джерела теплоти. Зокрема повітря, ґрунт, поверхневі природні води та підземні води.

З перелічених низькотемпературних джерел теплоти зупинимось на повітрі, що не потребує капіталовкладень і є безкоштовним джерелом.

Результати дослідження та їх обговорення. Основними видами енергоресурсів, які споживає аграрне виробництво, є паливно-мастильні матеріали (ПММ), газ, тепла і електрична енергії. В залежності від сільськогосподарського напрямку пріоритет віддається різним його видам. Тваринництво, в основному, споживає ПММ і електроенергію, перетворюючи їх в теплову енергію.

На відміну від газових котлів, котлів на рідкому і твердому паливі, теплові насоси мають відмінні показники економічності роботи (щомісячні витрати зменшуються від 2 до 10 разів).

Основна відмінність теплового насоса від інших генераторів теплової енергії, наприклад, електричних, газових і дизельних генераторів тепла полягає в тому, що за виробництва тепла до 80% енергії вбирається з навколишнього середовища. Це дозволяє отримати в 3-4 рази більше теплової енергії в порівнянні з витраченою електричною.

На сьогоднішній день в Україні вартість виробництва теплової енергії значно залежить від виду «палива»: найдешевшим є природний газ, потім електроенергія і дизельне паливо. Тому з'являється можливість відмовитися або значно скоротити використання вище згаданих видів палива, а значить, менше часу приділяти обслуговуванню обладнання з його виробництва, звичайно, це економія енергії і грошей.

Одним із ключових чинників, що впливають на собівартість одержуваної сільськогосподарської продукції, є її енергоємність. За стандартом енергоємність розраховується як кількість енергії, що витрачається на виробництво одиниці продукції. Величина зворотна енергоємності – енергоефективність.

Енергоефективність представляє собою ефективне, в даному випадку, раціональне використання енергетичних ресурсів. Іншими словами, використання меншої кількості енергії, але при цьому забезпечуючи той же рівень вихідної продукції. На даний момент основним технологічним процесом є процес підтримання нормованих параметрів мікроклімату.

За таким показником, як енергоефективність, вітчизняні виробники мають помітне відставання від своїх західних колег. Суттєвий вплив в даній ситуації має географічне положення і кліматичні умови країни, а також недоліки у використанні новітніх технологій, технічних пристроїв і систем управління. Саме тому дотепер аграрний бізнес не має підвищеного попиту і є проблемним для малих господарств. За постійного зростання цін на енергоносії ситуація лише ускладнюється.

Якщо врахувати, що вартість 1 кВт·год неухильно зростає, як і вартість всіх енергоресурсів, то необхідно знайти більш економний, енергозберігаючий спосіб формування мікроклімату. При цьому важливо, щоб він був найбільш точний, оскільки відхилення від норм приведуть до втрат через порушення імунітету тварин. Адже чим менше вік тварин, тим більше енергії на них потрібно витратити, щоб довести до реалізаційного віку. Нижче приведена таблиця 1 [4] розкриває дану інформацію на прикладі телят.

1. Залежність споживаної енергії від віку телят

Вік телят, міс	0-1	1-2	3	4-6
Температура утримання, °С	16-18	12-16	10-12	8-10
Необхідна кількість енергії на 1 голову за год., ккал	135,8	114,35	57,6	13,75

Вважаємо, що для економії й ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів, необхідна розробка і впровадження енергозберігаючого устаткування з метою створення і підтримування в необхідних межах основних параметрів мікроклімату в тваринницьких приміщеннях.

На практиці однією з перспективних енергозберігаючих технологій, яка використовує відновлювані джерела енергії для створення оптимального мікроклімату, є застосування теплових насосів. Теплові насоси є різновидом трансформаторів теплоти і призначені для одержання

теплоносія середнього та підвищеного потенціалу, використовуваного за теплового споживання [6].

Схиляємось до думки, що в умовах інтенсивного розвитку промислового тваринництва важливою задачею є модернізація вентиляційно-опалювальних систем за такими напрямками:

- застосування новітніх технологій енергозбереження в тваринницьких приміщеннях;
- впровадження автоматизованих систем управління параметрами мікроклімату тваринницьких приміщень.

Зокрема, підвищення енергоефективності енергозбереження і створення точної системи підтримки температурно-вологісних параметрів мікроклімату дозволять істотно скоротити енерговитрати на одиницю одержуваної сільськогосподарської продукції. У ході дослідження з'ясовано, що потенціал енергозбереження і пов'язане з ним коректування роботи системи регулювання температурно-вологісних параметрів мікроклімату тваринницького приміщення можна визначити за наступними критеріями:

- зниження втрат теплоти через огороджувальні конструкції, виключення інфільтрації;
- використання альтернативних джерел енергії;
- використання низькопотенційних джерел тепла.

При цьому зниження втрат теплоти через огороджувальні конструкції, виключення інфільтрації можна досягти за рахунок будівництва нових або реконструкції старих приміщень шляхом ліквідації всіх наявних тріщин, нерівностей в кладці тощо. Такі заходи є економічно і енергетично витратними, але можливими для застосування.

Стосовно використання альтернативних джерел енергії, то не обхідно враховувати, що кожний з них може застосовуватися для певної кліматичної зони і буде ефективним лише за правильного вибору необхідної технології.

Вважаємо, що використання низькотемпературних джерел теплоти є найдоцільнішим зі всіх вище представлених заходів. Адже підвищення рентабельності тваринницьких комплексів з одночасним зниженням енергоємності одержуваної продукції можна досягти, провівши реконструкції існуючих систем опалення, взявши за основу теплові насоси, які використовують малу кількість електричної енергії для вироблення великої кількості теплової енергії для обігріву тварин (рис.1).

Для проведення експерименту вибрано телятник на 600 голів, віком до 4 місяців, вагою 200 кг (довжина – 92 м, ширина – 24 м, висота – 3,5 м) у ТОВ «Жива земля Потутори» Бережанського району Тернопільської області.

Якщо врахувати, що в даному господарстві вирощуються імпорتنі породи корів, які не пристосовані до кліматичних умов даної зони, то природно період адаптації буде тривалим і виробництво продукції скорочується.

Будь-який живий організм може бути представлений як енергетична система. За проведення дослідження ми врахували, що кожна енергетична

система повинна бути розроблена так, щоб за мінімальної витрати електричної енергії виконувалися необхідні функції. Кількість енергії, споживаної організмом, витрачається на його нормальне функціонування і на виробництво аграрної продукції. Тобто, частину енергії організм витрачає на обігрів. Чим нижче температура навколишнього середовища від необхідного значення, тим більше енергії він витрачає на підтримку її усередині свого тіла на потрібному рівні. Проте, якщо температура буде раціональною, то частину енергії свого організму тварині витратити не доведеться і вона буде перенаправлена на інші процеси [7].

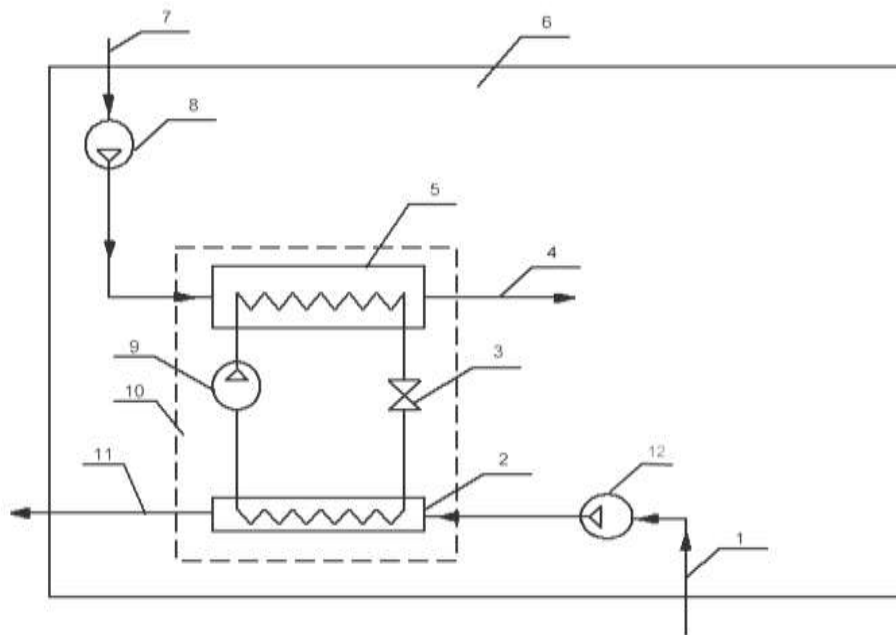


Рис.1. Схема теплового насоса в системі опалення телятника на 600 голів: 1 – подача зовнішнього повітря на випарник теплового насоса; 2 – випарник; 3 – дросельний вентиль; 4 – підігріте повітря, яке надходить в приміщення; 5 – конденсатор; 6 – тваринницьке приміщення; 7 – забір зовнішнього повітря для охолодження конденсатора теплового насоса; 8, 12 – вентилятор; 9 – компресор; 10 – тепловий насос; 11 – охоложене повітря, що видаляється з випарника

Тепловий баланс ми розраховували, виходячи з умов забезпечення температурного режиму приміщення, з урахуванням обсягу надходження і витрати теплоти згідно відомих методик для найхолодніших місяців року. Тепловий баланс повинен бути позитивним. При цьому витрата теплоти в тваринницьких приміщеннях залежить від виду тварин, теплопровідності матеріалів будівлі і кліматичної зони розташування.

- Сумарні витрати теплоти $Q_{виптр}$ можна виразити рівнянням:

$$Q_{виптр.} = Q_{вент.} + Q_{випр.} + Q_{огор} + Q_{обдув.}, \text{ ккал/год}, \quad (1)$$

де $Q_{вент}$ – витрати теплоти на зігрівання вентиляційного повітря;

$Q_{випр.}$ – витрати теплоти на випаровування вологи з поверхні підлоги і інших огорож;

$Q_{огор}$ – витрати теплоти через захисні конструкції;

$Q_{обдув}$, – витрати теплоти на обдування.

Теплоту, що надходить до приміщення описує формула:

$$Q_{припл} = Q_m + Q_{осв} + Q_{рад} - Q_{инф}, \text{ ккал/год}, \quad (2)$$

де Q_m - тепловиділення від тварин;

$Q_{осв}$ - тепловиділення від освітлювальних приладів;

$Q_{рад}$ - тепловиділення від сонячної радіації;

$Q_{инф}$ - тепловиділення від інфільтрації зовнішнього повітря.

За аналізу загального рівняння теплового балансу виявлено, що найбільші тепловтрати виникають через огорожувальні конструкції і вентиляцію залежно від зовнішньої температури. Ця залежність виявилася лінійною: чим нижче зовнішня температура, тим більші тепловтрати і нестача тепла, яке необхідно забезпечити.

У зв'язку з цим розрахунок теплового балансу проводимо у всьому діапазоні низьких (від'ємних) температур за трьома точками: за $t_H = 0^\circ\text{C}$; за $t_H = -22^\circ\text{C}$; (розрахункова температура згідно СНіП); за $t_H = -32^\circ\text{C}$.

Результати розрахунків зводимо у таблицю 2.

2. Результати розрахунку сільськогосподарського приміщення методом теплового балансу

Складові балансу	Тепловтрати за $t_H=15^\circ\text{C}$		
	0°C	-22°C	-32°C
	$\Delta t = 15^\circ\text{C}$	$\Delta t = 37^\circ\text{C}$	$\Delta t = 47^\circ\text{C}$
Втрати через огороження, ккал/год	44989,77	65648,98	77023,661
Втрати на вентиляцію, ккал/год	155388,794	222876,566	273120,452
Втрати на випаровування, ккал/год	9460,5	9460,5	9460,5
Втрати на обдування, ккал/год	1019,68	2039,36	3195
Загальні витрати, ккал/год	210858,744	300025,406	362799,613
Надходження тепла від тварин, ккал/год	238706,48	238706,48	238706,48
Загальне надходження тепла в приміщення, ккал/год	246250,84	246250,84	246250,84
Загальний баланс, ккал/год	35392,096	-53774,566	-116548,79

Зобразимо одержані дані графічно в залежності від температури навколишнього повітря (рис. 2).

Аналізуючи графік (рис. 2) можна оцінити динаміку необхідного введення теплової енергії в приміщення для підтримки необхідного теплового балансу залежно від температури зовнішнього повітря. Лінія 6 загального теплового балансу йде в негативний діапазон координат тільки після мінус 6°C . Виходячи з цього можна стверджувати, що в телятнику вистачає теплоти, яка виділяється тваринами і іншими пристроями, тільки до моменту зниження температури до вказаної величини. За температури зовнішнього повітря нижче мінус 6°C необхідно вводити додаткові теплові потужності.

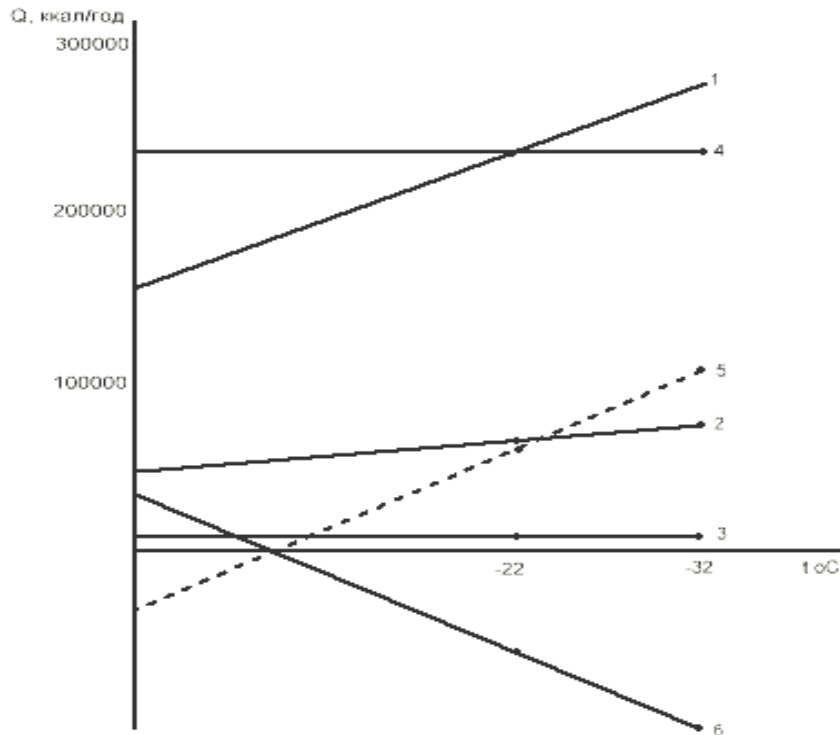


Рис. 2. Графік теплового балансу приміщення в залежності від температури навколишнього середовища: 1 - витрата теплоти на обігрів вентиляційного повітря; 2 – витрата теплоти через огорожувальні конструкції; 3 - витрата на випаровування вологи; 4 - тепловиділення тваринами; 5 – теплота, яка необхідна для опалення приміщення; 6 - загальний тепловий баланс

При цьому кількість теплоти, необхідну для опалення тваринницького приміщення, доцільно визначати з рівняння теплового балансу:

$$Q_{оп.} = Q_{випр} - Q_{прил}, \text{ ккал/год.} \quad (3)$$

Теплову потужність ми визначали за формулою:

$$P_{роз} = 4,18 \cdot Q_{оп.} / (3600 \cdot \eta_{оп}), \quad (4)$$

де $\eta_{оп}$ - к.к.д. опалювальної установки, $\eta_{оп} = 1$.

За визначеною тепловою потужністю можна вибрати 4 опалювально-вентиляційні установки типу СФОЦ -25/0,5-И1, потужністю 23,6 кВт або 4 повітряні теплові насоси типу PUNZ-HRP200YKA (табл.. 3), які легко можна поєднати з існуючою системою опалювання.

3. Технічна характеристика теплового насосу

Модель	Теплова потужність, кВт	Потужність охолодження, кВт	Напруга, В/фаз а/ Гц	Електрична потужність споживання, кВт	Коефіцієнт перетворення (COP)*	Шум, дБ
PUNZ-HRP200YKA	23	20	380/3/50	6,31	3,65	58

4. Порівняння експлуатаційних затрат за опалювальний сезон 4728 год.

Параметри	Електро-калорифер	Тепловий насос
Вхідна теплова потужність, кВт	4 x 23,6 = 94,4	4 x 23 = 92
Вартість одиниці електроенергії, грн/кВт	1,29	1,29
Електрична потужність споживання, кВт	4 x 23,6 = 94,4	4 x 6,31 = 25, 24
Вартість енергії за 1 год роботи, грн	211,78	32,56
Споживання електроенергії за опалювальний сезон, кВт	446323,2	119334,72
Затрати на опалювальний сезон, грн	575756,93	153941,79

Порівняльний аналіз табл. 4 показав, що експлуатаційні затрати за опалювальний сезон в 3,7 раз нижчі за використання повітряного теплового насосу, чим традиційної опалювально-вентиляційної установки.

Висновки і перспективи. Тваринництво є унікальною галуззю, оскільки умови підтримання оптимального мікроклімату не однакові для всіх видів тварин і потрібно вводити додаткові теплові потужності в залежності від температури зовнішнього повітря, виду і віку тварин та їх утримання. Ефективного зниження енерговитрат (в 3,7 рази) в системах мікроклімату тваринницьких приміщень можна досягти за використання повітряного теплового насосу.

Умови функціонування повітряного теплового насосу визначаються з врахуванням одержаних закономірностей, що описують взаємозв'язок електроспоживання з параметрами зовнішнього повітря.

Список використаних джерел

1. Кузык, Б. Н. Россия – 2050: стратегия инновационного прорыва. – 2-е изд., доп./ Б. Н. Кузык, Ю. В. Яковец – Междунар. ин-т. П. Сорокина – Н. Кондратьева. – М.: ЗАО «Экономика», 2005. – 624 с.
2. Драганов, Б. Х. Теплотехника: Підручник / Б. Х. Драганов, А. А. Долінський, А. В. Міщенко, Є. М. Письменний – Київ: «ІНКОС». – 2005. – 504 с.
3. Горшков, В. Г. Тепловые насосы. Аналитический обзор /В. Г. Горшков// Справ. пром. оборудование. – 2004. - № 2. – С. 47-80.
4. Бочкарев, В. Н. Приобретенные иммунодефицитные состояния у КРС в зоне экологического неблагополучия / В. Н. Бочкарев, В. И. Иванов, И. И. Кузьменков, В. Г. Артеменко, Д. И. Яцюк //Ветеринарная патология.- М., 2003.- №2.- С.8-14.
5. Амерханов, Р. А. Решение задачи воздухообмена в животноводческом помещении: Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. Тр. 3-й / Р. А. Амерханов, К. А. Гарькавый, И. В. Шевчук// Энергосберегающие технологии в животноводстве и стационарной энергетике: материалы международной научно-техн. конф., 14-15 мая 2003 г., Москва, ГНУ ВИЭСХ. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2003. – Ч. 3. – С. 380-385.
6. Мартыновский, В. С. Циклы, схемы и характеристики термотрансформаторов / под ред. В. М. Бродянского. – М.: Энергия, 1979. – 288 с.

7. Любимова, З. П. Оценка естественной резистентности крупного рогатого скота / З. П. Любимова, А. Н. Смирнова //Бюл. ВНИИРГЖ. -1987. №96. - С.29-33.

8. НТП 1-99. Нормы технологического проектирования предприятий крупного рогатого скота [Электронный ресурс] / Режим доступа: www.s-doc.ru/ntp-1-99.

References

1. Kuzyik, B. N., Yakovets, Yu. V. (2005) Rossiya – 2050: strategiya innovatsionnogo proryiva. [Russia – 2050: strategy of innovative breakthrough] – 2-e izd., dop./ – Mezhdunar. in-t. P. Sorokina – N. Kondrateva. ZAO «Ekonomika», 624.

2. Drahanov, B. Kh., Dolinskyi, A. A., Mishchenko, A. V., Pysmennyi, Ie. M. (2005) Teplotekhnika: Pidruchnyk [Heating engineering: Textbook]. «INKOS». 504.

3. Gorshkov, V. G. (2004) Teplovyie nasosyi. Analiticheskiy obzor [Heat pumps. Analytical review]. Sprav. Prom. oborudovanie. 47-80.

4. Bochkarev, V. N., Ivanov, V. I., Kuzmenkov, I. I., Artemenko, V. G., Yatsyuk, D. I. (2003) Priobretennyie immunodefitsitnyie sostoyaniya u KRS v zone ekologicheskogo neblagopoluchiya [Acquired immunodeficiency in cattle in the zone of ecological trouble]. Veterinarnaya patologiya.- M., 8-14.

5. Amerhanov R.A., Garkavyy K.A., Shevchuk I.V. (2003) Reshenie zadachi vozduhoobmena v zhitovnovodcheskom pomeschenii: Energoobespechenie i energosberezhenie v selskom hozyaystve. [The solution of the problem of air in the livestock house: energy Supply and energy saving in agriculture]. GNU VIESH, 380-385.

6. Martyinovskiy, V. S. (1979) Tsiklyi, shemy i harakteristiki termotransformatorov [Cycles, schemes and characteristics of thermotransformers]. Energiya, 288.

7. Lyubimova, Z. P., Smirnova, A. N. (1987) Otsenka estestvennoy rezistentnosti krupnogo rogatogo skota [Evaluation of natural resistance of cattle]. Byul. VNIIRGZh. 29-33.

8. NTP 1-99. Normy tehnologicheskogo proektirovaniya predpriyatiy krupnogo rogatogo skota [Norms of the technological planning of enterprises of cattle]. Available at: www.s-doc.ru/ntp-1-99.

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ

С. В. Гайдукевич, Л. С. Колодийчук, М. В. Потапенко, Н. П. Семёнова

Аннотация. Проанализированы возможности использования тепловых насосов для повышения энергоэффективности систем отопления животноводческих помещений, на примере телятника на 600 голов. Проведен мониторинг затрат и поступления теплоты в зависимости от изменения теплового режима сельскохозяйственного помещения и окружающей среды и установлена зависимость между этими показателями. Составлен тепловой баланс объекта исследования и рассчитана тепловая нагрузка исходя из условий обеспечения температурного режима в зависимости от вида животных, теплопроводности ограждающих конструкций и климатической зоны

расположения. Установлено, что наибольшие теплопотери в телятнике возникают через ограждающие конструкции и вентиляцию в зависимости от внешней температуры. Вычислены основные технические характеристики теплового насоса и проведен их анализ.

Ключевые слова: *тепловой насос, теплонасосная система, система отопления, тепловая нагрузка*

INCREASE OF POWER EFFICIENCY OF THE SYSTEM OF HEATING OF STOCK-RAISING APARTMENTS.

S. V. Gaydukevich, L. S. Kolodiychuk, M. V. Potapenko, N. P. Semenova

Abstract. *Possibilities of the use of thermal pumps are analysed for the increase of power efficiency of the systems of heating of stock-raising apartments, on the example of calf-house on 600 heads. Monitoring of expense and receipt of warmth is conducted depending on the change of the thermal mode of agricultural apartment and environment and set dependence between these indexes. Thermal balance of object of research is made and expected the thermal loading coming the terms of providing of temperature condition from depending on the type of animals, heat conductivity of barriering constructions and climatic area of location. It is set that most thermal losses in a calf-house arise up through barriering constructions and ventilation depending on an external temperature. Basic technical descriptions of thermal are calculated to the pump and conducted their analysis.*

Keywords: *thermal pump, thermal pump system, system of heating, thermal loading*

УДК 621.3.067

ДОСЛІДЖЕННЯ НА МОДЕЛІ В MatLab СПЕКТРА ВИХІДНОЇ НАПРУГИ ТА СТРУМУ ОДНОФАЗНОГО ТИРИСТОРНОГО РЕГУЛЯТОРА ЗА РОБОТИ НА RL-НАВАНТАЖЕННЯ

І. М. ГОЛОДНИЙ, кандидат технічних наук, доцент

О. В. САНЧЕНКО, аспірант*

**Національний університет біоресурсів
і природокористування України**

E-mail: golodnyi@ukr.net

Анотація. *Сучасний асинхронний регульований електропривод базується на використанні напівпровідникових перетворювачів різних типів, дослідженню електромагнітних процесів в яких приділено мало*

* Науковий керівник – кандидат технічних наук, доцент І. М. Голодний

© І. М. Голодний, О. В. Санченко, 2017