

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра електрифікації, автоматизації виробництва та інженерної екології

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Кудрик Ярослав Анатолізович

УДК 621.359.4

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Розробка та аналіз оцінки ефективності енергозберігаючої системи
підприємства по переробці сільськогосподарської продукції
(тема роботи)

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

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

Кудрик Я. А.

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

Соколовський Олег Феліксович

(прізвище, ім'я, по батькові)

к.т.н., доцент кафедри електрифікації,
автоматизації виробництва та інженерної екології
(науковий ступінь, вчене звання)

Житомир – 2021

АНОТАЦІЯ

Кудрик Я. А. Розробка та аналіз оцінки ефективності енергозберігаючої системи підприємства по переробці сільськогосподарської продукції. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка – Поліський національний університет, Житомир, 2021.

Робота присвячена аналізу структури енергозабезпечення сільськогосподарського виробництва для розробки рекомендацій по оптимізації системи енергопостачання.

Запропонована модель для оптимізації структури енергетичних потоків підприємства по переробці сільськогосподарської продукції .

Ключові слова: енергоспоживання, енергоресурси, оптимізаційна модель.

SUMMARY

Kudryk Ya. A. Development and analysis of evaluation of efficiency of energy saving system of the enterprise on processing of agricultural products. Qualification work for a master's degree in specialty 141 - Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics - Polissya National University, Zhytomyr, 2021.

The work is devoted to the analysis of the structure of energy supply of agricultural production to develop recommendations for optimizing the energy supply system.

A model for optimizing the structure of energy flows of the enterprise for processing agricultural products is proposed.

Key words: energy consumption, energy resources, optimization model.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. КОНЦЕПТУАЛЬНА СХЕМА ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ	6
1.1 Аналіз основних показників енергетичної ефективності при виробництві сільськогосподарської продукції.	6
1.2 Закономірності енергозабезпечення і енергозбереження сільськогосподарських підприємств.	12
Висновки по розділу 1	17
РОЗДІЛ 2. ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ	18
2.1 Оптимізація схем енергозабезпечення сучасних сільськогосподарських підприємств.	19
2.2 Обґрунтування використання технологій «Розумних мереж» для енергозабезпечення машинних технологій на сільськогосподарських підприємствах.	24
Висновки по розділу 2	27
РОЗДІЛ 3. ОПТИМІЗАЦІЯ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ОБ'ЄКТІВ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ СТРУКТУРИ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОТОКІВ	28
3.1 Математична модель структури енергетичних потоків системи енергопостачання сільськогосподарських об'єктів.	29
3.2 Приклад реалізації моделі структури енергетичних потоків.	32
Висновки по розділу 3	34
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	36
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	38

ВСТУП

Складна структура енергозабезпечення сільськогосподарського виробництва потребує особливого підходу до оптимізації системи енергопостачання. У роботі розглянуто один із варіантів вирішення цієї задачі. Необхідно було визначити такий варіант використання енергоресурсів, за якого сумарні енерговитрати сягають мінімального значення, тобто. який енергоносіє, і в якому кількості доцільно використовуватиме забезпечення окремого навантаження. Енергетичні потоки являють собою споживану енергію, що передається, протягом якого-небудь проміжку часу. Переважно це потоки електричної та теплової енергії, які можуть бути отримані від різних джерел. Тому при використанні системного підходу під час виборів рішень, у якому об'єкт розглядається як складна система, що складається з багатьох елементів, необхідно провести оптимізацію структури енергетичних потоків.

Метою кваліфікаційної роботи є проведення аналізу та структури енергетичних потоків використання енергії сільськогосподарських підприємств шляхом розв'язання оптимізаційної задачі. В даному випадку задачі оптимізації необхідно здійснювати за допомогою аналітичних та чисельних методів. При цьому враховуються необхідні в кожному конкретному випадку обмеження та дотримання всіх умов сумісності при порівнянні різних варіантів постачання та використання енергії.

Об'єктом дослідження в роботі являється структура енергозабезпечення сільськогосподарського виробництва.

Практична реалізація роботи заключається в розробці моделі з урахуванням специфіки сільськогосподарських підприємства та джерел енергії яка реалізується з використанням табличного процесора MSExcel.

Для оптимізації структури енергетичних потоків підприємства у програму закладаються вихідні дані всіх джерел енергії, які можуть використовуватися на сільськогосподарських підприємствах.

Методичні підходи при виконанні роботи. При виробництві сільськогосподарської продукції значні витрати припадають на паливо-енергетичні ресурси, споживання яких з господарствам не однозначно і має великий розкид [1,2,3]. Для визначення особливостей використання ресурсів, були використано вибірку даних по двадцяти господарствам Поліського регіону. Аналіз даних виконано з використанням математичної статистики та багатовимірних статистичних методів.

Перелік публікацій автора за темою дослідження.

РОЗДІЛ 1

КОНЦЕПТУАЛЬНА СХЕМА ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ

1.1 Аналіз основних показників енергетичної ефективності при виробництві сільськогосподарської продукції

Аналіз літературних джерел та довідкових матеріалів показав, що питаннями енергозбереження та підвищенням енергоефективності займаються безліч співробітників різних установ. Розроблено стандарти, ДСТУ [6,7], видані десятки книг та сотні статей. Однак існує і безліч тлумачень цих понять [1,2,8]. Це пов'язано в основному з тим, що на машини, технології, прилади у різних галузях народного господарства існують різні вимоги та стандарти з енергетичної ефективності. Показників енергетичної ефективності як індикаторів реалізації заходів щодо енергозбереження, існує так само безліч [9, 10, 11, 12, 13].

У найзагальнішому понятті їх можна об'єднати у три блоки (рис.1.1).

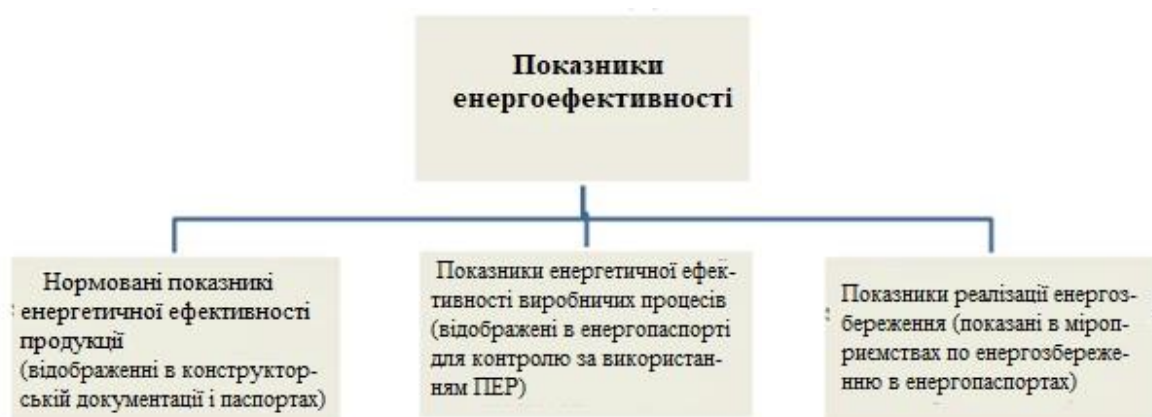


Рисунок 1.1. Три блоки показників енергоефективності



Рис.2. Классификация показателей энергетической эффективности



Рис.3. Основные показатели эффективности

Метою даної роботи – спроба розробки концептуальної схеми основних показників енергетичної ефективності при виробництві сільськогосподарської продукції.

Показники енергетичної ефективності сільськогосподарської продукції визначали за літературними джерелами [4,10,12], довідковим матеріалом та за результатами енергетичних обстежень господарств Житомирської області [5]. В результаті розробили концептуальну схему основних показників енергетичної ефективності при виробництві сільськогосподарської продукції. У нашій роботі визначили основні блоки концептуальної схеми, що впливають на енергетичну ефективність: класифікація показників та енергозбереження, як керуючий вплив на енергоефективність, використання показників та основні показники.

Енергозбереження це раціональне використання паливно-енергетичних

ресурсів (ПЕР) при виконанні технологічних операцій з метою отримання кінцевих продуктів сільського господарства. Ефективність реалізації заходів щодо енергозбереження оцінюються показниками енергоефективності [22]. Виконання заходів щодо зниження енергоємності сільськогосподарської продукції, економії ПЕР та скорочення втрат при передачі енергії є керуючим впливом на величини показників енергоефективності [3,14]. Вибір технологічних процесів та технічних засобів у сільському господарстві здійснюється з обліком енергозбереження, яке характеризується основними енергетичними показниками енергоефективності [7,9].

Показники енергетичної ефективності можна класифікувати за видом сільськогосподарської, що випускається продукції (молоко, м'ясо, зерно, овочі тощо), за видом енергії (електроенергія, теплова енергія), по виду палива (моторне, тверде, рідке, газ, дрова тощо) за методом їх визначення (експериментальний, розрахунковий, змішаний), по області використання (прогноз, план, факт) (рис.1.2).

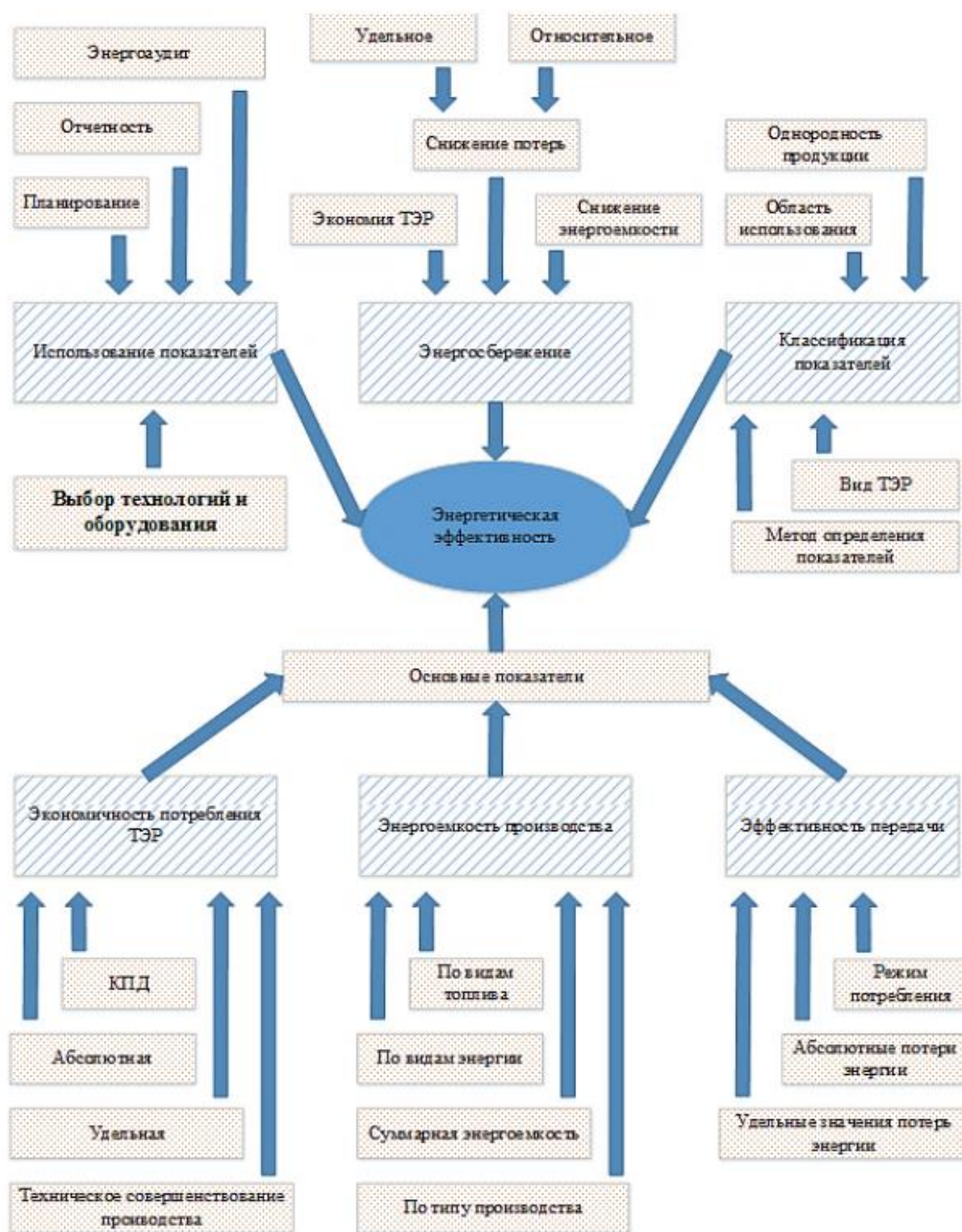


Рис.4. Концептуальная схема основных показателей энергетической эффективности при производстве сельскохозяйственной продукции

Енергоємність продукції сільського господарства може мати абсолютні та відносні значення. Абсолютні значення показників – витрати пального та енергії на основні та допоміжні процеси одержання одиниці продукції. Наприклад на тваринницьких підприємствах молочного спрямування основна

продукція молоко, проте витрати на допоміжну продукцію (корми, зерно, овочі тощо) та допоміжне виробництво (майстерні, гаражі тощо) значні та досягають 30-40%. Питоме значення показників енергоємності сільськогосподарської продукції - відношення абсолютного значення енергоємності продукції до одному з показників, що відображають основні експлуатаційні властивості виробів. Крім того, енергоємність визначається, як за окремими технологічним процесам, так сумарна по господарству та видам ПЕР. Тому доцільно при розрахунку та плануванні величини енергоємності визначати як відношення витрат енергії в тоннах умовного палива (тис.у.т.) до кількості виробленої продукції.

Економічність енергоспоживання визначають як кількість енергії, витрачене виконання технологічного процесу, в одиницю часу. Наприклад, використання датчика руху при керуванні системою освітлення дає економію енергоспоживання від 50% до 70% за порівняно з тим, що світильник вмикається вимикач безконтрольно. У вуличному освітленні використовують різні режими горіння в залежності від часу доби. Так у світильнику можливо автоматичне включення однієї, двох та трьох ламп. Економія від використання такої схеми підключення 10-15%. Підігрів води на технологічні потреби тваринницьких ферм виробляти тільки в нічний час з 23-00 д 7-00. При цьому необхідно використовувати акумулятори тепла. Економія електроенергії 15-20%.

Енергетична ефективність передачі ПЕР характеризується величиною втрат. Втрати під час передачі електричної енергії бувають технологічні та нераціональні. Технологічні складаються з умовно-постійних; навантажувальних; втрат, зумовлених похибками приладів обліку. Зниження нераціональних втрат можливо за результатами рекомендацій енергетичного обстеження. Зниження технологічних втрат за рахунок використання приладів обліку з вищим класом точності, удосконалення схем електропостачання.

Втрати при передачі теплової енергії діляться на мережеві та нераціональні технологічні втрати у системах опалення, вентиляції, гарячого водопостачання. Зниження цих втрат можливе за рахунок впровадження рекомендацій з енергозбереження, відображених у енергопаспорти. Показники ефективності передачі енергії залежить від характеристики системи передачі: довжини ліній електропередач, класу напруги (0,4кВ, 10-110кВ), переріз проводів, відповідність навантаження під час передачі електричної енергії; довжини та перерізу теплопроводу, характеристики його ізоляції під час передачі теплової енергії.

Розглянуті вище показники взаємопов'язані, але кожен показник може надавати певний вплив на енергетичну ефективність. Для зручності практичного використання основні показники представлені у вигляді концептуальної схеми основних показників енергетичної ефективності при виробництві сільськогосподарської продукції (рис. 1.4).

Концептуальна схема складається з основних блоків, що впливають на енергетичну ефективність. За результатам енергетичних обстежень сільгосппідприємств[5] концептуальна схема доповнена блоками методів використання на практиці показників енергетичної ефективності.

Таким чином запропонована концептуальна схема основних показників енергетичної ефективності під час виробництва сільськогосподарської продукції дозволяє

провести всебічну оцінку енергетичних характеристик сільськогосподарських технологій та здійснити вибір найкращих технологій з точки зору енергозбереження та високої енергоефективності. Концептуальна схема є основою обґрунтування критеріїв оцінки енергетичної ефективності технологій, комплексів машин та обладнання при виробництві сільськогосподарської продукції, як при проектуванні нових, так і за модернізації існуючих. Концептуальна схема в сукупності з критеріями оцінки

енергетичної ефективності буде основою при розробці алгоритму оцінки технологій та обладнання утилізації органічних відходів тваринництва.

1.2 Закономірності енергозабезпечення і енергозбереження сільськогосподарських підприємств

Енергетична політика України у сільському господарстві повинна бути направлена на вдосконалення структури паливно-енергетичного балансу, освоєння нових видів палива та енергії, розробку та впровадження енергозберігаючих технічних засобів, раціоналізацію та модернізацію систем забезпечення паливом та електроенергією, включаючи широке використання децентралізованих систем енергозабезпечення, місцевих та відновлюваних енергоресурсів, аж до локального енергозабезпечення ряду об'єктів та підприємств на основі альтернативних джерел енергії[6]. Важливим, а можливо, і визначальним є перехід на нові енерго- та ресурсозберігаючі технології, що забезпечують зростання ефективності сільськогосподарської галузі загалом.

Зростаючі витрати на оплату паливно-енергетичних ресурсів негативно позначаються на економіці сільськогосподарських підприємств. Необхідність зниження витрат на енергопостачання села визначає раціональна побудова структури паливно-енергетичного балансу підприємств та регіонів, виробництво та освоєння нових видів палива, використання місцевих енергоресурсів, відходів сільськогосподарського виробництва.

Для широкого залучення в енергетичний баланс села поновлюваних енергоресурсів необхідний більш високий технологічний та технічний рівень виробництва з використанням інноваційних технологій та нового енергоефективного обладнання [7].

В результаті енергетичних обстеження нами виявлено особливості та закономірності енергоспоживання та енергозбереження сільськогосподарських підприємств у природно-кліматичних умовах регіону Полісся:

- територіальна розосередженість теплових та електричних навантажень;
- наявність великої кількості дрібних виробничих об'єктів (до 50 одиниць будівель та споруд);
- використання декількох видів енергоносіїв (електроенергія, природний газ, вугілля, деревні відходи, моторне паливо);
- наявність великої кількості та різноманітності техніки (автомобілів від 6 до 24 шт., тракторів від 11 до 27 шт., комбайнів до 6 прим.);
- сезонність проведення робіт;
- велика довжина ліній електропередач (в основному розподільні мережі із класом напруги 10кВ);
- велика кількість трансформаторних підстанцій 10/0,4кВ (в обстежених господарствах від 4 до 19 прим.);
- використання великої кількості асинхронних двигунів з низьким ступенем завантаження до 20% (в обстежених господарствах понад 100шт);
- фактичне споживання електричної енергії становить 20-30% від заявлених обсягів;
- електричні навантаження виробничих об'єктів сільгосппідприємств мають епізодичний характер.

Виявлення закономірностей проводилося шляхом аналізу матеріалів експрес та повних енергетичних обстежень сільгосппідприємств тваринництва регіону Полісся за допомогою однофакторного дисперсійного аналізу [3,4].

Виявлено основні особливості енергозабезпечення та енергозбереження сільськогосподарського підприємства. Ці особливості властиві не одному, а багатьом сільгосппідприємствам. Аналіз проведено з використанням статистичних пакетів MSExcel та StatgraphicsPlus. Ці особливості приймаємо як закономірності енергозабезпечення та енергозбереження сільськогосподарського підприємства [5,6]. аналізу були обрані результати виробничої діяльності 21 господарства регіону

В результаті аналізу виявлено, що в всіх обстежених господарствах загальне споживання енергоресурсів зростає з збільшенням обсягу виробництва (рис.1.5), це закономірно. Проте, чим більше господарство, тим самим енергоємність виробництва нижче (рис. 1.6).

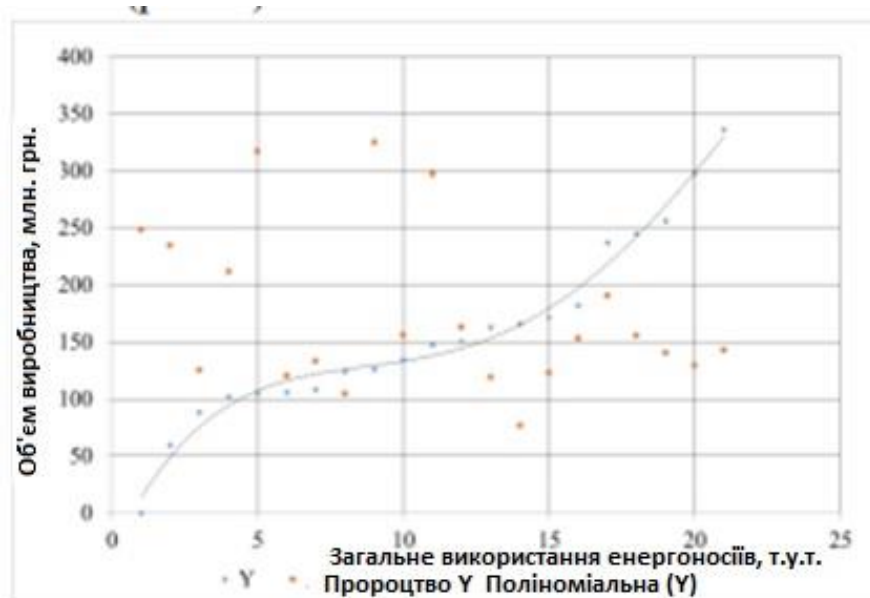


Рисунок 1.5. Залежність енергоспоживання від виробництва

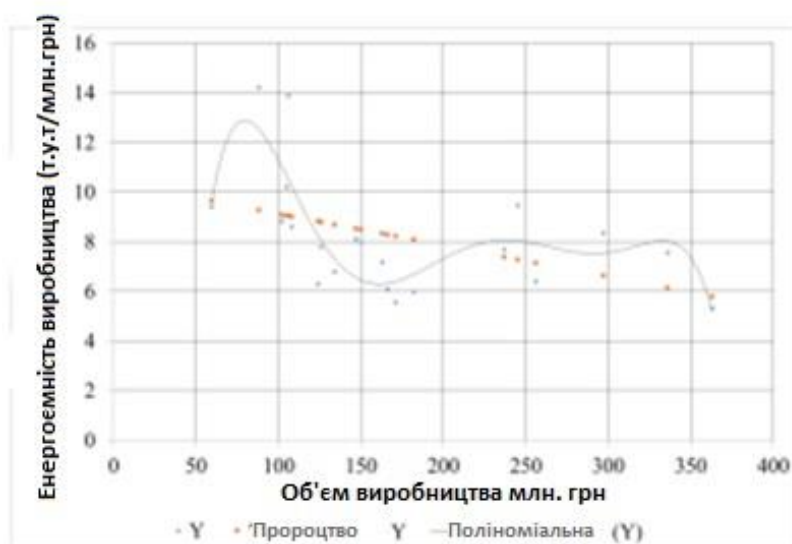


Рисунок 1.6. Залежність енергоємності від об'єму виробництва.

Частка плати за енергоресурси також знижується зі збільшенням обсягу виробництва та відповідно до обсягів споживання ПЕР (зниження становить

майже на 9% від малих до великих підприємств рис.1.7). Це пояснюється тим, що у великих господарствах під час модернізації або будівництві тваринницьких комплексів використовується електрообладнання з більш високим класом енергоефективності, споживачі, як правило, зосереджені в одному місці, що дає можливість зменшити необхідну потужність протягом доби шляхом вирівнювання графіка навантажень.

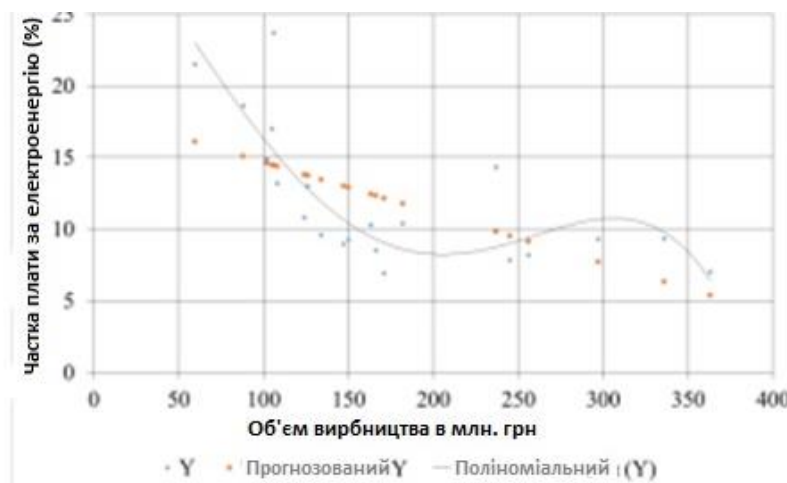


Рисунок 1.7. Залежність частки плати за електроенергію від об'єму виробництва.

Аналіз вищенаведених закономірностей необхідно враховувати при розробці «Програм енергозбереження та підвищення енергоефективності сільськогосподарського підприємства» та розробці науково-обґрунтованих рекомендацій по раціональному використанню енергоресурсів для господарств. Для господарств характерна велика протяжність ліній електропередач, здебільшого розподільні мережі з класом напруги 10кВ. Велика кількість трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ обстежених господарствах від 8 до 39 шт.).

Проте взаємозв'язок кількості спожитої електроенергії від кількості точок підключення не виявлено (рис.1.8).

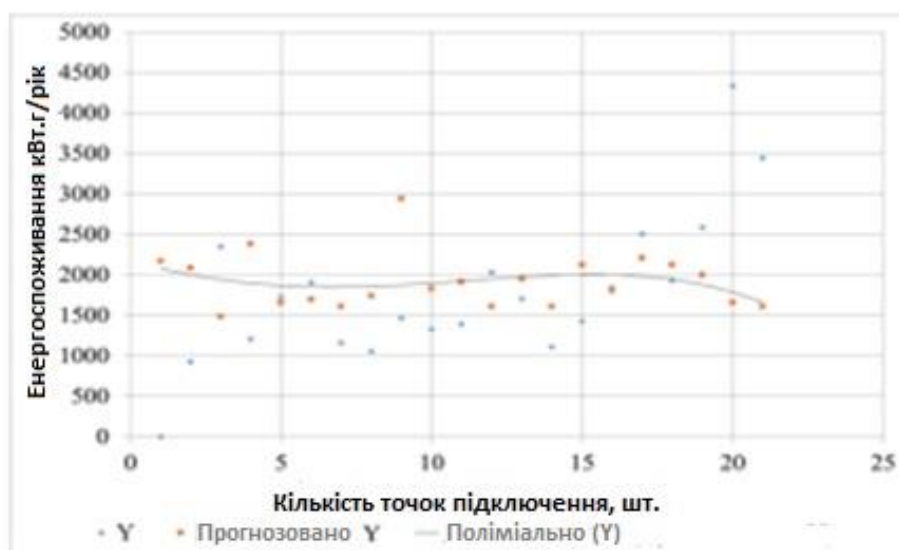


Рисунок 1.8. Залежність споживання електроенергії від розподілу електричних мереж в господарствах

Слід припустити, що кількість точок підключення (трансформаторних підстанцій) залежить в основному від схем розподільних мереж, їх розгалуженості та географічного розміщення споживачів електроенергії. Аналіз кількості фактично спожитої електроенергії та дозволених обсягів споживання протягом року (дозволена потужність) показав, що всі господарства мають дозовану потужність значно вище, ніж фактичне споживання електроенергії (рис. 1.9).

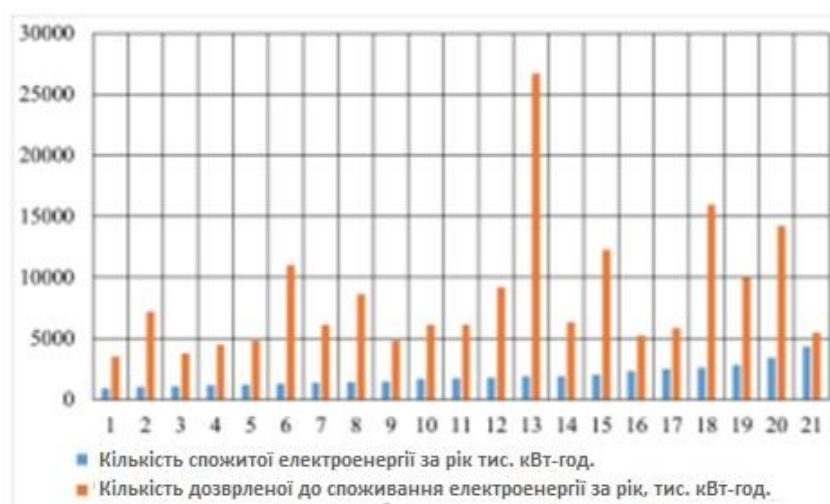


Рисунок 1.9. Взаємоз'язок кількості спожитої електроенергії і розподіленої до споживання.

Наприклад, дозволений обсяг споживання електроенергії за рік у господарствах регіону становить від 7000 до 50000 тис. кВт· год. При цьому обсяги споживання електроенергії з коефіцієнтом попиту 0,5 може бути від 3500 тис.кВт/годину до 26718 тис.кВт/год.на рік. Фактично споживається у 5-6 разів менше. Фактичне споживання електричної енергії становить 20-30% від заявленої. Це свідчить про великий запас недовикористаних потужностей.

Висновки по першому розділу

1. Особливості електропостачання сільськогосподарських підприємств: велика протяжність ліній електропередач (до 40км); в основному розподільні мережі із класом напруги 10кВ; велика кількість трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ обстежених господарствах від 8 до 39 шт. взаємозв'язку їх кількості з обсягом виробництва не виявлено); електрична навантаження сільгосппідприємств має епізодичний характер.

2. Аналіз кількості фактично спожитої електроенергії та дозволених обсягів споживання в протягом року (дозволена потужність) показав, що всі господарства мають дозволену потужність значно вищу, ніж фактичне споживання електроенергії. Фактичне споживання електричної енергії становить 20-30% від заявленого.

3 Виявлена тенденція зниження енергоемності на 10-12% при зростанні виробництва основного виду продукції 15-20% свідчить про активну роботу підприємств з реалізації методів енергозбереження. У більших господарствах питомий показник витрат енергоресурсів на одиницю продукції нижче. Частка плати у собівартості продукції за енергоресурси також знижується зі збільшенням обсягу виробництва та відповідно обсягу споживання ПЕР пропорційно зниженню енергоемності. Це пояснюється тим, що у великих господарствах при модернізації чи будівництві виробничих комплексів використовується електрообладнання з більш високим класом енергоефективності (А, А+).

РОЗДІЛ 2

ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ

Аналізуючи літературні джерела та результати енергетичних обстежень, [1,2,3,4] виявлено, що структура енергозабезпечення сучасних сільськогосподарських підприємств досить складна. Сільгосппідприємства характеризуються наявністю великої кількості дрібних об'єктів енергоспоживання; більшість будівель, не опалюються від централізованих мереж, але мають локальне електричне обігрів робочих місць. Сільські споживачі живляться від розгалужених і великої протяжності повітряних ліній електропередач із класом напруги 10 кВ. Мають відносно невеликі, але різні за потужністю навантаження, які видалені одна від іншої на великі відстані навіть у межах одного господарства. До будь-якої точки електричної мережі може бути приєднано велику кількість споживачів з найрізноманітнішими характеристиками. В окремих випадках живлення дрібних навантажень здійснюється від малопотужних однофазних трансформаторів. Для скорочення протяжності сільських розподільних мереж їх формують у розгалужені радіальні мережі.

Технологічний процес сільськогосподарського виробництва має свої особливості, що призводять до підвищеним навантаженням у ранкові та вечірні години, різким зниженням їх у денний час та відсутність навантажень уночі. Наприклад, на тваринницьких фермах у час ранкового та вечірнього доїння роздають корм і годують тварин, прибирають гній, обробляють тварин, миють посуд тощо. При цьому на виробниче (силове) навантаження додатково додається освітлювальне навантаження виробничих приміщень та житлового сектора господарств. Нерівномірний графік споживання електроенергії протягом доби ускладнює проблему отримання високої якості електроенергії, що збільшує втрати енергії у сільських мережах. Однофазне освітлювальне навантаження завжди призводить до нерівномірності струмів за фазами та спотворення в них напруги. Удосконалення системи електропостачання

сільських територій можливо з використанням технології Microgrid, яка є системою, що оптимізує енерговитрати, що дозволяє перерозподіляти електроенергію, оперативно міняти характеристики електричної мережі.

2.1 Оптимізація схем енергозабезпечення сучасних сільськогосподарських підприємств

Структура споживання енергоресурсів в процентному вираженні (середнє значення по розглянутих господарствах) представлена на рис. 2.1.

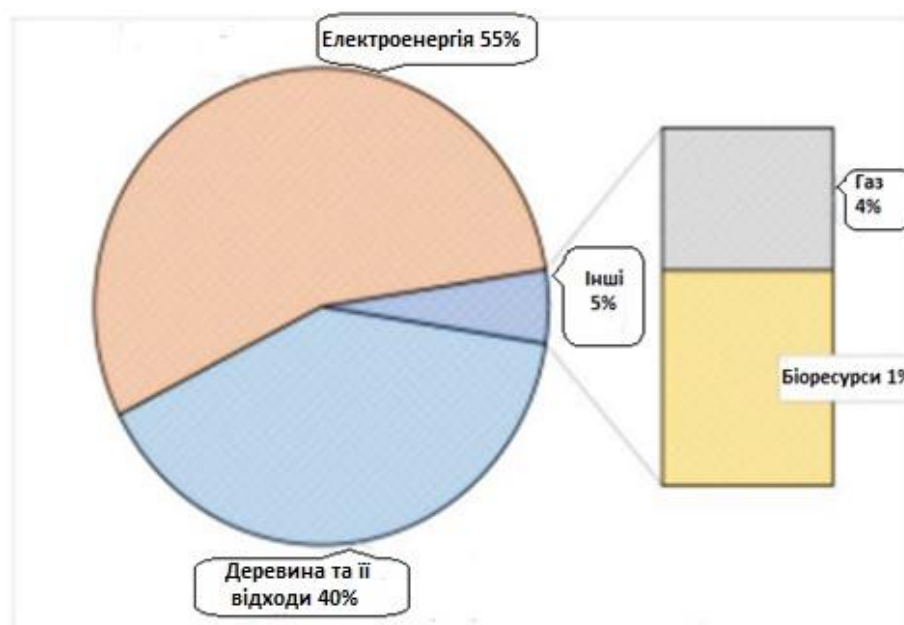


Рисунок 2.1. Структура споживання енергоресурсів

З рис. 1, видно, що в загальній структурі енергоспоживання господарств електроенергія становить 55%, споживання деревини та її відходів – 40%. Частка теплової енергії, газу та ін. значно менше - до 5%.[5] . Основний енергоресурс стаціонарних процесів – електроенергії. Деревина використовується тільки для забезпечення роботи котелень та обігріву будинків.

На рис.2.2 представлена класифікація енергоспоживачів сільських територій, де енергоспоживачі сільських територій поділені на сільськогосподарські підприємства та сільські поселення. В сільських

поселеннях споживачами енергоресурсів є житлові будинки та соціально-побутові об'єкти.

Енергоспоживачами сільськогосподарських підприємств є адміністративні будівлі, майстерні та гаражі, об'єкти рослинництва, об'єкти тваринництва. Умовно можна прийняти, що енергоспоживачі це приміщення яке споживає електричну або теплову енергію, обладнання у складі будівлі, окремі приміщення та одиночні зовнішні споживачі. Усередині приміщень можуть бути змонтовані такі споживачі електроенергії, як системи освітлення, електропривод, живлення систем автоматики та (або) споживачі теплової енергії – системи опалення та гарячого водопостачання.



Рисунок 2.2. Класифікація енергоспоживачів сільських територій

Структура енергопостачання для будь-яких сільських енергоспоживачів представлено на рис.2.3. Енергія використовується у двох видах:

- безпосереднє використання електроенергії на освітлення, електропривод, живлення систем управління;
- на опалення та гаряче водопостачання – може використовуватися як електроенергія (електрокотельні, ІЧ-обігрів, електрокалорифери, ТЕНи тощо), так і теплова енергія від котелень (на вугіллі, на мазуті, на природному газі, на біопаливі: дрова, тріска, пілети (пелети), від котелень з тепловим насосом

(«земля», «вода», «повітря»), від геліоводонагрівачів та геліоповітрянагрівачів, рекуператорів [9].

Централізоване енергопостачання можливо тільки електрикою від ТЕЦ, ГЕС, АЕС. Теплопроводи від магістральних котелень у сільському господарстві не використовуються.

Енергопостачання споживачів можливо від місцевих джерел енергії. Це електропостачання систем освітлення, електропривод, живлення систем керування від дизельних електростанцій, сонячних та вітрових електростанцій, міні-ГЕС. Теплопостачання забезпечується місцевими котельними на вугіллі, на мазуті, на природному газі, на дровах, пелетах, на трісці, від котелень з тепловим насосом («земля», «вода», «повітря»), від геліо водонагрівачів та геліоповітря нагрівачів. Можливе використання для одночасного отримання електроенергії та тепла когенераційних установок на біогазі, на двигуні зовнішнього згоряння «Стирлінгу» або спалювання відходів та утилізація звалищних газів. Зеленим кольором виділені джерела енергії, що відносяться до поновлюваних.

Таким чином, у системі енергозабезпечення стаціонарного технологічного обладнання сільськогосподарського виробництва електропостачання займає основну позицію. У цих випадках можливо використання технології Microgrid. Система Microgrid - це зменшена версія централізованої системи електропостачання, створена для збільшення надійності постачання електроенергії. Така система має власні джерелами генерації енергії та здатна задовольнити попит споживачів за максимум пікових навантажень. Мікрогриди широко використовують поновлювані джерела енергії, такі як сонце та вітер. Також як і великі енергосистеми, мікрогриди здатні самостійно генерувати та здійснювати доставку електроенергії споживачам, тільки роблять усе це на місцевому рівні.

У нашому випадку система Microgrid включає набір генеруючих джерел та набір споживачів (рис. 2.3). Генеруючі об'єкти представлені комбінацією традиційних джерел, що працюють на дизельному паливі (дизель-генератори)

або газі (газо-поршневі енергоустановки), та ВІЕ (в основному вітроустановками, сонячними станціями, мікроГЕС). Можлива будь-яка комбінація зазначених джерел. Основною причиною для використання ВІЕ може бути чисто економічний ефект (субсидії, гарантований тариф тощо) або зниження витрати основного палива. Заміщення традиційного джерела «зеленим» також позитивно позначиться на екологічний аспект. Якщо кінцевому споживачеві важливо знизити шкідливі викиди від традиційних джерел та покращити рівень життя, то для власників генерації застосування ВІЕ ще й знижує оподаткування за шкідливі викиди.

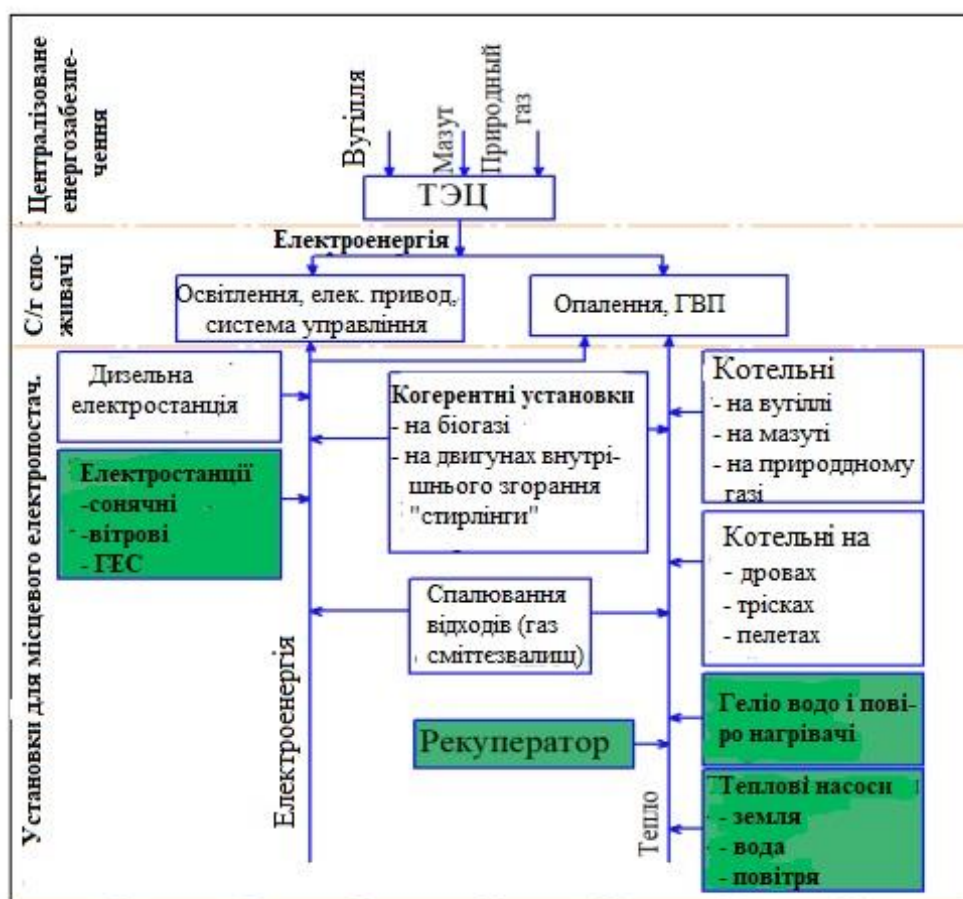


Рисунок 2.3. Схема структури енергозабезпечення

Таким чином, вибір генеруючих джерел може бути визначено як за економічному критерію, так і за екологічного. Економічний критерій для вибору джерела енергопостачання визначається енергоємністю виробництва, ставленням обсягу споживання енергоресурсів (тис. грн) до обсягу

виробництва продукції (тон). Величина енергоемності безпосередньо пов'язана з вартістю кВт-години енергії (як електричної, і теплової). Цю величину грн/кВт-годину можна вважати економічним критерієм. За екологічний критерій приймаємо загальний питомий викид забруднюючих речовин від вироблення енергії (ЗР г/кВт-годину) на місцевих генеруючих джерел енергопостачання (Табл. 2.1).

Таблиця 2.1. Питома викид забруднюючих речовин (ЗР) при виробленні електричної та теплової енергії на місцевих генеруючих джерелах енергії (г/кВт.- год.)

Джерело викидів	CO	NO	SO ₃	Пил	CO ₂	Всього
Дизельні електростанції	0,3	2,8	5,3	0,4	5,4	14,2
Котельні на вугіллі	2,0	4,8	10,0	1,0	10,0	27,8
Котельні на мазуті	0,3	2,8	5,3	0,4	5,4	14,2
Котельні на природному газі	-	2,1	0,02	0,05	1,29	3,49
Котельні на дровах	4,5	3,8	2,1	0,5	2,0	12,9
Котельні на пелетах	-	-	-	-	-	5,8
Котельні на трісках	3,6	3,8	1,2	0,2	1,3	10,1
Котельні на біогазі	-	-	-	-	-	4,7

Єдиний критерій під час вибору генеруючих джерел енергії може бути представлений як добуток вартості кВт-години виробленої енергії на питомий викид забруднюючих речовин. Цей коефіцієнт можна назвати "Коефіцієнт енергоекологічності" [10]. Оптимальне значення цього коефіцієнта при виборі генеруючого джерела - найменше.

Як приклад, розглянемо можливість застосування коефіцієнта «енергоекологічність» при виборі джерела енергопостачання підприємства яке має котельні працюючі на дизельне паливо, дрова, тріска і пелети (табл. 2.2).

Таблиця 2.2. Коефіцієнт енергоекологічності

Вид палива	Ціна кВт-год (грн)	Питомі викиди грам/кВт-год	Коефіцієнт екологічності
Дизельне	9,1	14,2	129,2
Тріска	3,0	10,1	30,3
Дрова	5,1	12,9	65,8
Пелети	7,6	5,8	44,1

Аналізуючи дані, представлені в таблиці 2.2 видно, що найменший коефіцієнт «енергоєкологічності» при генерації енергії від спалювання тріски. Однак при цьому вартість кВт – години низька, а питомі викиди знаходяться на середньому рівні. Вартість кВт-година використання пелет вище, а питомі викиди нижчі, ніж у котелень на тріски. При цьому коефіцієнт «енергоєкологічність» у котелень на пелетах і трісках практично однаковий. Таким чином, коефіцієнт «енергоєкологічність» може бути критерієм при виборі генеруючих джерел енергії.

2.2 Обґрунтування використання технологій «Розумних мереж» для енергозабезпечення машинних технологій на сільськогосподарських підприємствах

На сьогодні в системі електропостачання впроваджуються технології Smart Grid які дозволять оптимізувати енергозатрати і перерозподіляти електроенергію. Технологія Smart Grid це автоматизована система, яка може самостійно регулювати подачу електроенергії в залежності від зміни режиму споживання. Технологія Smart Grid складається з «розумних» лічильників, інформаційно- вимірювального комплексу, системи управління. Вона забезпечує використання енергоресурсів, підвищення надійності електропостачання і якості електроенергії, можливість управління електроспоживанням та зниженням рівня оплати за енергоресурси. Розробці і реалізації технології Smart Grid присвячені роботи багатьох зарубіжних вчених [11] і моделювання [12] та розвитку до «розумних» мереж [13]. Впровадження технологій Smart Grid на сільських територіях знаходяться пока що на рівні проектів.

В даній роботі на основі даних про споживання електроенергії на сільськогосподарських підприємствах визначаємо орієнтовну структуру технології і критерії оцінки доцільності впровадження різних генеруючих джерел.

Із аналізу результатів енергетичних обстежень в господарствах Поліського регіону визначено:

- встановлена потужність електроприймачів в господарствах складає від 0,8 до 2,8 тис. кВт, середнє значення – 1,5 кВт;
- фактично споживана потужність електроприймачами – 0,4 – 0,9 тис. кВт;
- розподільча мережа в основному напругою 10 кВт;
- вузли обліку встановлені на трансформаторних підстанціях 10/0,4 кВ і їх кількість знаходиться в діапазоні 8-22 одиниць.

Споживачами електроенергії в сільськогосподарських підприємствах являються адміністративні споруди, майстерні і гаражі, об'єкти тваринництва, рослинництва і кормовиробництва, житлові будівлі. Структура споживання електроенергії для підприємств тваринництва представлена на рис. 2.4.

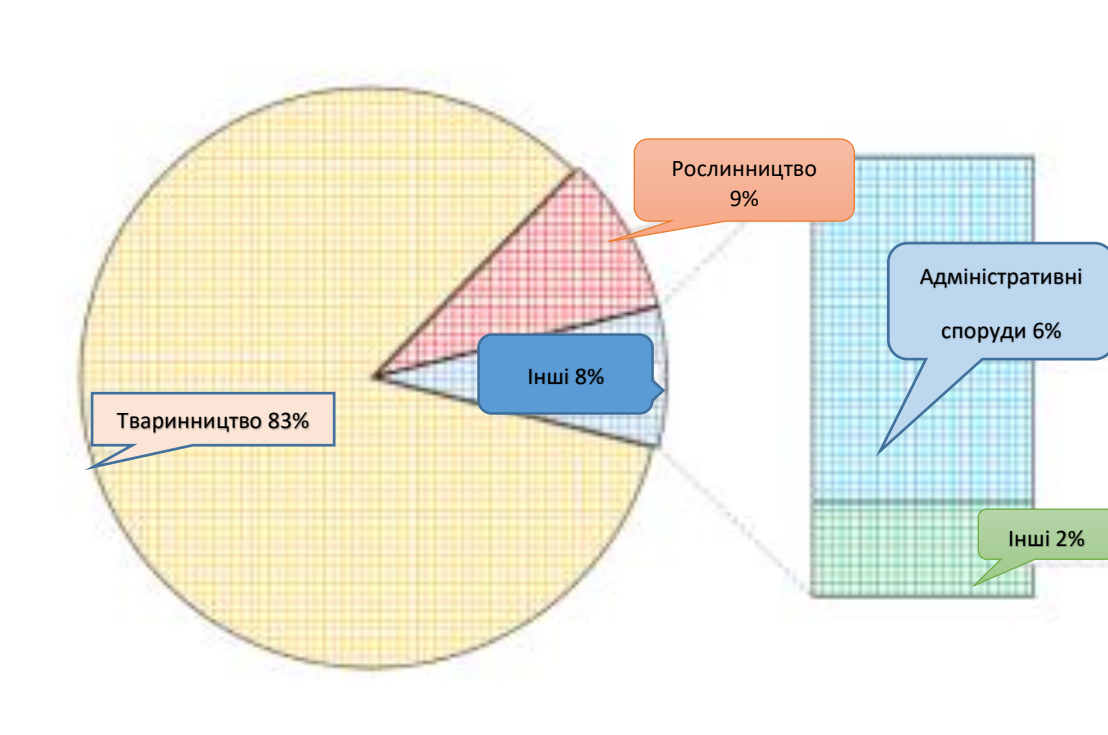


Рисунок 2.4. Структура споживання електроенергії сільськогосподарського підприємства

Електроенергія в основному використовується на освітлення, для обігріву приміщень, на гаряче водопостачання та на електропривод.

Варіант архітектури системи Smart Grid представлений на рис.2.5.

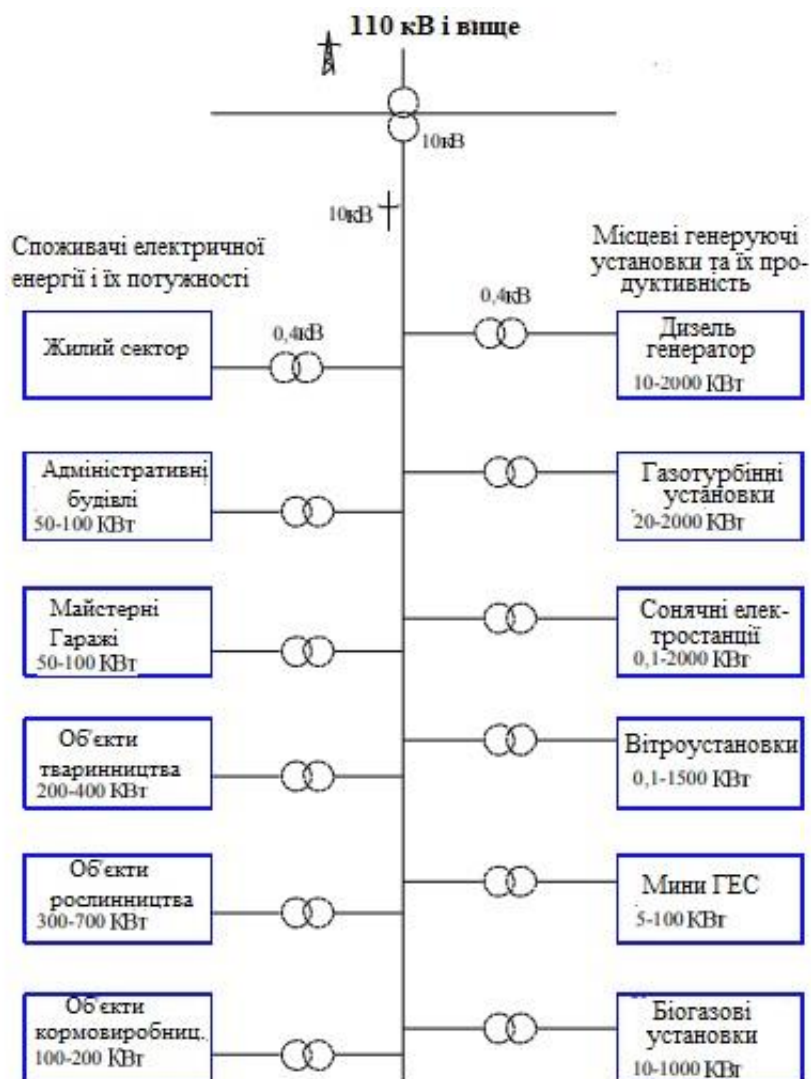


Рисунок 2.5. Архітектура мереж Smart Grid

Традиційні джерела виробляють, як правило електроенергію напругою 0,4 кВ. ВІЕ в своєму складі повинні мати інвертор і великий запас акумуляуючих потужностей, так як поступаюча енергія (сонячна, вітрова і енергія води) не постійні в часі. Дана електроенергія може бути змінного і постійного струму напругою 12-100 В.

На рис. 2.5 представлені споживачі електроенергії з визначеними показниками потужності. Найбільш споживає це тваринницький комплекс (до 700 кВт). Потрібно враховувати, що архітектура мереж є орієнтовною.

Можлива потужність місцевих джерел показана на рис. 2.5. Слід відмітити, що теоретично дизельні електростанції, газотурбінні установки і сонячні електростанції можуть повністю забезпечити потреби господарства в електроенергії. Таким чином, зіставляючи потрібні потужності в часі з генерованими від різних джерел, можна обґрунтувати алгоритм роботи системи електропостачання.

При розробці технологій Smart Grid важливим моментом являється вибір місцевого джерела генерації електроенергії.

Фактори які впливають на вибір місцевого джерела електроенергії наступні:

- економічні – це кошторист на вибір будівництва електроспоруд грн/кВт і ціна генерації електроенергії, грн/кВт-год;
- екологічні – викиди забруднених речовин при генерації електроенергії кг/кВт-год і величина негативного впливу даних речовин на навколишнє середовище;
- площа генеруючої установки, m^2 ;
- шумове забруднення навколишнього середовища;
- енергетичний коефіцієнт оцінювання.

Висновки по другому розділу

1. Споживачів сільськогосподарських підприємств умовно можна поділити на приміщення у складі будівлі, окремо приміщення та одиночні зовнішні споживачі.

2. На сільгосппідприємствах здебільшого використовується три енергоресурси: деревина, моторне паливо для забезпечення роботи мобільного техніки та електроенергія - для забезпечення функціонування стаціонарного технологічне обладнання.

3. Структура енергозабезпечення сучасних сільськогосподарських

підприємств досить складна. Удосконалення системи електропостачання сільських територій можливо з використанням технології Microgrid, яка є системою, що оптимізує енерговитрати, що дозволяє перерозподіляти електроенергію, оперативно міняти показники електричної мережі.

4. Єдиний критерій під час вибору генеруючих джерел енергії може бути представлений як добуток вартості кВт-години виробленої енергії на питомий викид забруднюючих речовин. Цей коефіцієнт запропоновано назвати «Коефіцієнт енергоекологічності». Оптимальне значення цього коефіцієнта при виборі генеруючого джерела – найменше. Коефіцієнт «енергоекологічність» може бути критерієм при виборі генеруючих джерел енергії.

РОЗДІЛ 3

ОПТИМІЗАЦІЯ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ОБ'ЄКТІВ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ СТРУКТУРИ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОТОКІВ

Територіальне розосередження теплових та електричних навантажень (до 40км), наявність великої кількості дрібних об'єктів (до 50 одиниць будівель та споруд), використання кількох видів енергоносіїв (електроенергія, природний газ, вугілля, деревні відходи, моторне паливо, відновлювані джерела енергії, рідке паливо) вимагає особливого підходу до вирішення задачі енергозабезпечення та енергозбереження сільськогосподарських підприємств [14].

Доцільно визначити такий варіант використання енергоресурсів, при якому сумарні енерговитрати досягають мінімального значення, тобто. який енергоносіє, і в якій кількості доцільно використовувати для забезпечення окремого навантаження. Енергетичні потоки є енергією, що передається протягом будь-якого проміжку часу. Здебільшого це потоки електричної та теплової енергії, які можуть бути отримані від різних джерел. Використовуючи системний підхід при виборі рішень, у якому об'єкт розглядається як складна система, що складається з безлічі елементів, можливо провести оптимізацію структури енергетичних потоків методом математичного моделювання.

3.1 Математична модель структури енергетичних потоків системи енергопостачання сільськогосподарських об'єктів

Математична модель представляє собою систему рівнянь та нерівностей, які відбивають взаємозв'язки різних факторів в окремих елементах об'єкта та між елементами, такими як споживачі енергоресурси та різні джерела енергоресурсів, включаючи поновлювані [3,4]. Знаючи, для конкретного господарства,

характеристику споживачів енергоресурсів та потенційного джерела енергії, визначаємо мінімальні витрати на енергозабезпечення виробництва необхідної продукції. Розв'язання задачі оптимізації здійснюється за допомогою аналітичних та чисельних методів. При цьому враховуються необхідні у кожному конкретному випадку обмеження та дотримуються всі умови сумісності при порівнянні різних варіантів енергопостачання та енерговикористання.

Використання нетрадиційних відновлюваних джерел енергії може розглядатися як самостійна частина загальної системи електропостачання. Проте використання цих джерел енергії накладатимуть певні обмеження, пов'язані з нерівномірністю подачі енергії в часі. У зв'язку з цим необхідно рішати задачу про раціональне співвідношення між різними джерелами енергії при енергозабезпеченні споживачів.

На рисунку 3.1 представлена пропонована структура для господарства, де стрілками показані напрямки енергопотоків, кількість споживаної енергії - X_i . Цифрами на рисунку позначені джерела енергії (1-5) та споживачі енергії (7-14). На рисунку 1 стрілками показано напрями енергопотоків, кількість споживаної енергії – X_i . Цифрами на рисунку позначені джерела енергії (1-5) та споживачі енергії (7-14).

Оптимізаційна задача представлена в вигляді цільової функції, мінімум якої потрібно знайти.

$$J = \sum_{j=1}^m \cdot \sum_{i=1}^n \cdot \sum_{q=1}^p Z_{i,j,q} \cdot \alpha_{i,q} \cdot x_{i,j,q} + \sum_{j=1}^m \cdot \sum_{i=1}^n \cdot \sum_{q=1}^p Z'_{i,j,q} + \sum_{i=1}^k Z'_i \cdot C_i \rightarrow \min \quad (3.1)$$

При цьому на цільову функцію накладаються такі обмеження

$$\sum_{j=1}^m \cdot \sum_{i=1}^n \alpha_{i,q} \cdot x_{i,j,q} = \lambda_{i,q} \cdot y_i \pm C_i \quad (3.2)$$

$$\sum_{i=1}^n \cdot \sum_{q=1}^p \alpha_{i,q} \cdot x_{i,j,q} = \pm C_i \quad (3)$$

$$\alpha_{i,j,q} \leq x_{i,j,q} \leq b_{i,j,q}, A_i \leq C_i \leq B_i, A_j \leq C_j \leq B_j, \\ i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m, q = 1, 2, \dots, p$$

де $Z_{i,j,q}$ - енергетичні затрати j -го споживача при використанні енергії виду q , поступаючої від i -го джерела, грн; $\alpha_{i,q}$ - собівартість енергії q -го джерела, грн; $x_{i,j,q}$ - кількість переданої енергії виду q від i -го джерела до j -го споживача, одиниць енергії в рік; $Z'_{i,j,q}$ - складова приведених затрат, яка відбиває капіталовкладення і експлуатаційні витрати без врахування енергетичної складової, грн./рік; Z_i - затрати на енергію, яка поступає додатково в систему або виходить із системи по зв'язку 1, грн./т. у. т.; $\lambda_{i,q}$ - питома витрата енергії на виробництво 1 кВт год енергії, виробленої i -м джерелом; y_i - кількість виробленої продукції i -м джерелом, одиниць енергії в рік; $\alpha_{i,j,q}$, $b_{i,j,q}$, $x_{i,j,q}$, A_i , B_i - граничні значення величини; C_i ; p - число видів енергоносіїв.

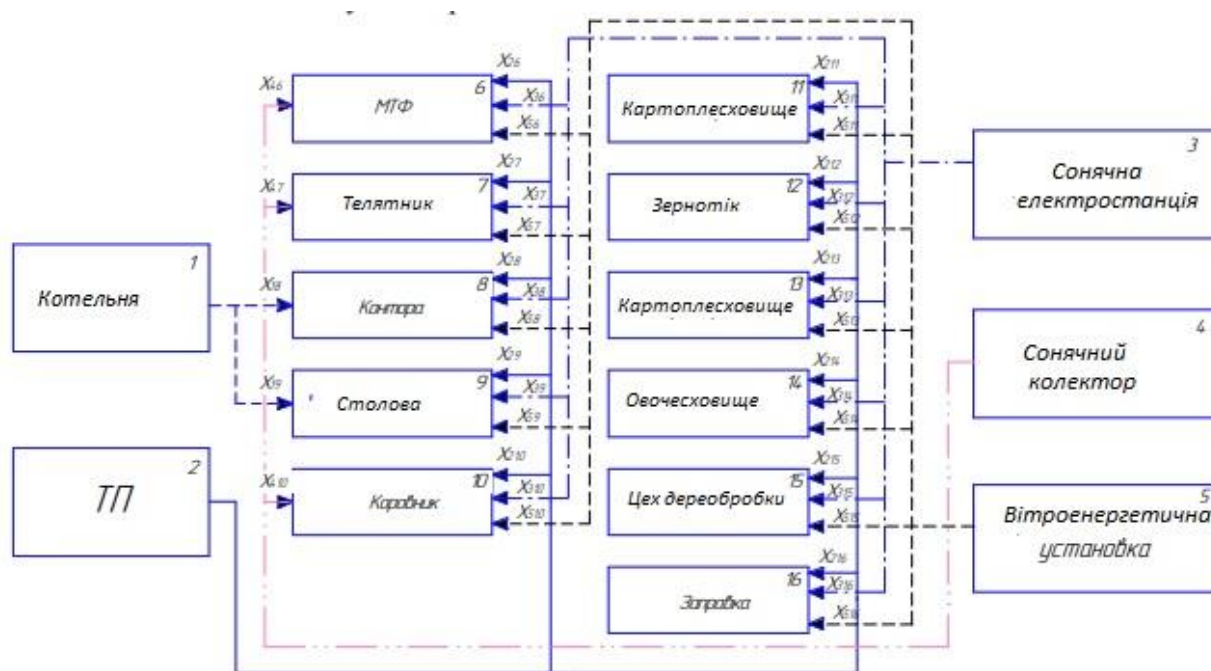


Рисунок 3.1. Можлива структура енергоспоживання для господарства ТП – трансформаторна підстанція, МТФ – молочно-товарна ферма

Рівняння (3.1) та (3.2) вирішуються окремо для джерел та споживачів енергії. Обмеження вносять верхня (a) та нижня (b) межа використання ресурсів. Змінними у моделі є зв'язки x , що виражають річне споживання енергоресурсів споживачами.

Використовуючи лише першу складову цільової функції, можна визначити енерговитрати на рік без урахування витрат на капіталовкладення та експлуатаційні витрати, для обліку яких необхідно використовувати другу складову цільової функції.

Якщо вдасться знехтувати всіма елементами розбиття, то рекордом являється оптимальне рішення завдання. Інакше, з невідкинутих підмножин вибирається найбільш перспективна (наприклад, при найменшому значенні нижньої оцінки), і тому воно піддається розбиттю. Нові підмножини знову перевіряються і т.д.

3.1 Приклад реалізації моделі структури енергетичних потоків

Розроблена модель з урахуванням специфіки підприємства та джерел енергії реалізується з використанням табличного процесора MSExcel. Для оптимізації структури енергетичних потоків підприємства у програму необхідно закладати вихідні дані всіх джерел енергії, які необхідно отримати на цій території, зокрема, нетрадиційні.

Приклад розрахунку для конкретного сільськогосподарського підприємства наведено нижче. При цьому як якість джерела оптимізації обрано молочно товарна ферма на 800 голів ВРХ. Вихідні дані для розрахунку представлені в таблиці 3.1. На рисунку 3.2 наведено можливу структуру енергоспоживання для технологічного процесу.

Для оптимізації енергоспоживання згідно з формулами (3.1-3.3) складаються обмежувальні рівняння джерел та споживачів енергії. Нижче наведено система рівнянь для оптимізації енергоспоживання корівника.

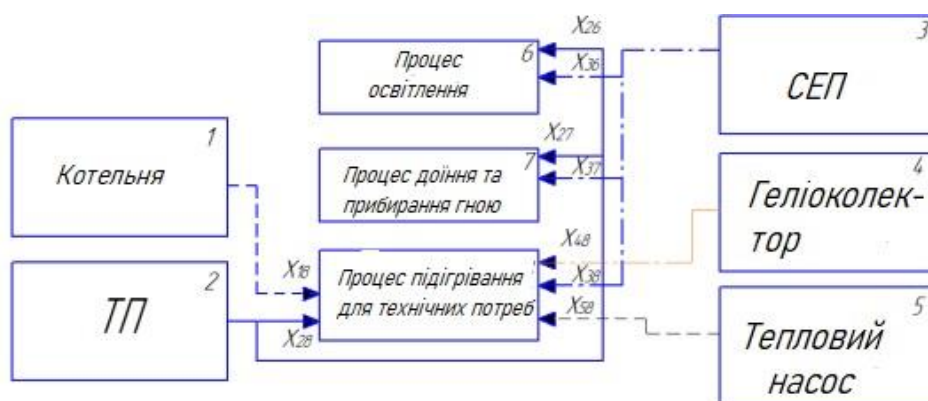


Рисунок 3.2. Можлива структура електропостачання коровника

$$\begin{aligned}
 P_6 : \alpha_2 \cdot x_{26} + \alpha_2 \cdot x_{36} &\leq B_6 \cdot Z_6 \\
 P_7 : \alpha_2 \cdot x_{27} + \alpha_2 \cdot x_{37} &\leq B_7 \cdot Z_7 \\
 P_8 : \alpha_1 \cdot x_{18} + \alpha_2 \cdot x_{28} + \alpha_2 \cdot x_{38} + \alpha_2 \cdot x_{48} + \alpha_2 \cdot x_{58} &\leq B_8 \cdot Z_8
 \end{aligned}
 \tag{3.4}$$

Таблиця 3.1. Початкові данні для розрахунку

Ціна електроенергії, грн.год	Ціна електроенергії від СЕП, грн.год	Ціна енергії від міні котельні, грн.год	Ціна енергії від теплового насоса, грн. год	Ціна енергії від геліоколектора, грн., год
1,6	3,20	1,1	1,0	1,2
Максимальна потужність ТП, кВт.год	Максимальна потужність СЕП, кВт.год	Максимальна потужність міні котельні, кВт.г	Максимальна потужність теплового насоса, кВт.год	Максимальна потужність геліоколектора, кВт.год
100	10	10	5	10

Програма враховує наявні у розпорядженні підприємства енергетичні ресурси, максимальну потужність джерела енергії та собівартість отримання 1 кВт-год. енергії від цих джерел.

У блок 2 комбінування закладаються осередки, варіюючи якими програма знаходить оптимальне значення необхідної потужності всіх можливих джерел енергії, які можуть бути використані при виробничій діяльності підприємства. Розрахунковий блок 3, 5, 6 представляє собою практичну реалізацію функцій моделі представленої у формулі (3.4). В його осередках вказуються процеси, на які припадають витрати енергетичних ресурсів, відповідно до рисунка 3.2, в відповідності з напрямком енергетичних

потоків в залежності від їх застосовності ставитися 1 або 0. Цільова функція в програмі закладена в відповідно до формули 3.1.

У блок обмежень 3 вводяться граничні значення енерговитрат на технологічний процес на одиницю часу відповідно до існуючого технологічного процесу підприємства. Блок виведення розрахунків 5 показує значення оптимальних потужностей всіх можливих джерел енергії, які можуть бути використані для цього підприємства. Блок розрахунку економічних показників 6 показує економічний ефект отриманий від різниці між існуючою системою енергопостачання та розрахунковою.

У якості альтернативних джерел енергії запропоновані:

- сонячна електростанція на базі фотоелектричних модулів для отримання електричної енергії;
- геліоколектор для отримання теплової енергії;
- котельня на дровах для отримання теплової енергії;
- тепловий насос для отримання теплової енергії.

У таблиці 3.1 представлені вихідні дані, які використані в розрахунку За результатами розрахунків визначено структура енергоспоживання яка включала електроенергію від ТП 81 кВт-год, тепло від теплового насоса 5 кВт-год, тепло від котельні 34 кВт-год.

Розрахунок економічних показників проводиться за формулою:

$$E_{\text{зат}} = Z_{i.\text{стр.}} + Z_{o.\text{стр.}},$$

де – $Z_{i.\text{стр.}}$ витрати на енергоносії по існуючій структурі та $Z_{o.\text{стр.}}$ по оптимізованій структурі на місяць відповідно.

Розрахунок показує, що використання даної структури дозволяє отримати щомісячний економічний ефект у розмірі 14 800 грн-місяць.

Висновки по третьому розділу

Таким чином, розроблена модель дозволяє оптимізувати енергетичні потоки господарства шляхом підбору енергоджерел для кожного об'єкта з урахуванням його виробничих особливостей.

При розв'язанні задачі для кожного об'єкта підбирається з погляду собівартості тип енергоджерела, який дозволить знизити собівартість продукції до мінімуму. При цьому в моделі закладаються усі можливі типи енергоджерел, які можна отримати на цій території. Цю модель можна використовувати при оптимізації структури енергозабезпечення на сільськогосподарських підприємствах Поліського регіону. Модель застосовна під час обґрунтування заходів з енергозбереження та переходу на автономне енергозбереження об'єктів сільськогосподарського підприємства з використанням нетрадиційних джерел.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В результаті проведеного аналізу, розроблених моделей та проведеного аналізу при виконанні кваліфікаційної роботи можна зробити наступні висновки:

1. Особливістю електропостачання сільськогосподарських підприємств є велика протяжність ліній електропередач (до 40км), які живляться від розподільних мереж із класом напруги 10кВ, велика кількість трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ та електричні навантаження сільгосппідприємств мають епізодичний характер.

2. Аналіз кількості фактично спожитої електроенергії та дозволених обсягів споживання в протягом року показав, що майже всі господарства мають дозволену потужність значно вищу, ніж фактичне споживання електроенергії. Фактичне споживання електричної енергії становить 20-30% від заявленого.

3. Виявлена тенденція зниження енергоємності на 10-12% при зростанні виробництва основного виду продукції 15-20% свідчить про активну роботу підприємств з реалізації методів енергозбереження. У більших господарствах питомий показник витрат енергоресурсів на одиницю продукції нижче.

4. Споживачів сільськогосподарських підприємств умовно можна поділити на приміщення у складі будівлі, окремо приміщення та одиночні зовнішні споживачі. На сільгосппідприємствах здебільшого використовується три енергоресурси: деревина, моторне паливо для забезпечення роботи мобільного техніки та електроенергія - для забезпечення функціонування стаціонарного технологічне обладнання.

5. Структура енергозабезпечення сучасних сільськогосподарських підприємств є досить складною. Для удосконалення системи електропостачання сільських територій можливо використання технології Microgrid, яка є системою, що оптимізує енерговитрати, та дозволяє перерозподіляти електроенергію..

6. За єдиний критерій під час вибору генеруючих джерел енергії може бути вибраний добуток вартості кВт-години виробленої енергії на питомий викид забруднюючих речовин. Цей коефіцієнт запропоновано назвати «Коефіцієнт енергоекологічності».

7. В ході виконання роботи розроблена модель структури енергетичних потоків системи енергопостачання сільськогосподарських об'єктів яка дозволяє оптимізувати енергетичні потоки господарства шляхом підбору енергоджерел для кожного об'єкта з урахуванням його виробничих особливостей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Водяников, В.Т. Научно-технический прогресс и энергетика АПК: экономика и тенденции развития / В.Т. Водяников, А.В. Шахов; под ред. В.Т. Водяникова. — Липецк: Издат. дом «Липецкая газета», 2010. — 288 с.
2. Жученко, А.А. Энергетический анализ в сельском хозяйстве / А.А. Жученко. — Кишинев: Штиница, 1991. — 312 с.
3. Кузьменко, А.В. Организационно-экономический механизм энергосбережения в АПК региона / А.В. Кузьменко. — Ставрополь: ГП «Ставропольская краевая типография», 2000. — 288 с.
4. Тимофеев Е.В. Анализ эффективности ресурсного обеспечения производства сельскохозяйственной продукции математическими методами / Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2007. № 79. С. 74-78
5. Екологічний паспорт Житомирської області// Управління екології та природних ресурсів: Ж.2019-187 с
6. Постанова Кабінету міністрів України « Про затвердження державної цільової економічної програми енергоефективності і розвитку сфери виробництва енергоносіїв з відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива на 2010-2016 роки» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/243-2010-%D0%BF>
7. Комплексна державна програма енергозбереження України. СХВАЛЕНО постановою Кабінету Міністрів України від 5 лютого 1997 р. N 148.
9. Судаченко В.Н., Эрк А.Ф., Тимофеев Е.В., Выбор варианта энергоснабжения объектов сельхозпроизводства по экономическим критериям // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2017. № 92. С. 43-48.
10. Ракутько С.А., Бровцин В.Н., Мишанов А.П., Маркова А.Е., Ракутько Е.Н. Оценка экологичности и энергоэффективности предприятия АПК с

помощью иерархической модели ISSN 0131-5226. Теоретический и научно-практический журнал. ИАЭП. 2018. Вып. 94 искусственной биоэнергетической системы // Региональная экология. 2015. № 6 (41). С.

11. Andr n, Filip Pr stl , Strasser, Thomas I. , Kastner, Wolfgang. Engineering Smart Grids: Applying Model-Driven Development from Use Case Design to Deployment// ENERGIES. 2017. - 10. - . 3. - : 374. - DOI: 10.3390/en10030374

12. Chhaya, Lipi K. ; Sharma, Paawan ; Kumar, Adesh ; Bhagwatikar, Govind. Cross Layer Optimization and Simulation of Smart Grid Home Area Network // Modelling and Simulation in Engineering. 2018.- 14 С. : 3561739. DOI: 10.1155/2018/3561739

13. Amini, M.H.; Nabi, B.; Haghifam, M.R. Load Management Using Multi-Agent Systems in Smart Distribution Network. // Proc. 2013 IEEE Power and Energy Society General Meeting, 2013. - С. 1-5.

14. Валге А.М., Тимофеев Е.В., Структура алгоритма управления ресурсным обеспечением сельскохозяйственного производства // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2008. № 80. С. 169-177.