

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



**Інженерно-
технологічний
факультет
СНАУ**

СИСТЕМА МАШИНА-ПОЛЕ

Конспект лекцій

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра АГРОІНЖИНІРИНГУ

СИСТЕМА МАШИНА-ПОЛЕ

Конспект лекцій

**для здобувачів 4 та 3 с.т. курсу освітньої програми «Агроінженерія» денної
та заочної форм здобуття освіти ступеню вищої освіти «бакалавр»**

**ГАЛУЗЬ ЗНАНЬ Н Сільське, лісове, рибне господарство та ветеринарна
медицина**

СПЕЦІАЛЬНІСТЬ Н7 Агроінженерія

Суми – 2026

ББК

С 34

УДК 631 (075.8)

Укладачі: Шуляк М.Л., д.т.н., професор кафедри агроінжинірингу;
Саржанов Б.О., PhD, доцент кафедри агроінжинірингу;
Калнагуз О.М., старший викладач кафедри агроінжинірингу;
Батюк Л.М., завідувач навчальної лабораторії кафедри агроінжинірингу

С 34 Система машина-поле. Конспект лекцій для здобувачів 4 та 3 с.т. курсу освітньої програми «Агроінженерія» денної та заочної форм здобуття освіти ступеню вищої освіти «бакалавр»./ Укл. Шуляк М.Л., Саржанов Б.О., Калнагуз О.М., Батюк Л.М.– Суми: СНАУ, 2026. – 64 с..

Конспект лекцій для здобувачів вищої освіти спеціальності Н7 Агроінженерія ГАЛУЗЬ ЗНАНЬ Н Сільське, лісове, рибне господарство та ветеринарна медицина першого (бакалаврського) рівня вищої освіти призначений для ознайомлення з: шляхами зниження енергетичних витрат в рослинництві; машинно-тракторними агрегатами (МТА), як активного фактору системи машина-поле; з визначенням оцінки якості виконання технологічної операції; підготовкою сільськогосподарських машин до функціонування в польових умовах; визначенням вплив ходових систем МТА на ущільнення ґрунту і врожайність с.-г. культур та питанням збереження навколишнього середовища в системі машина-поле.

Рецензенти:

Харченко Ф.М. – к.т.н., доцент кафедри агроінжинірингу Сумського НАУ;

Думанчук М.Ю., – к.т.н., доцент кафедри технічного сервісу та галузевого машинобудування Сумського НАУ

Відповідальний за випуск: Шуляк М.Л., д.т.н., професор, завідувач кафедри агроінжинірингу СНАУ.

Рекомендовано до видання радою із забезпечення якості освітньої діяльності та якості вищої освіти інженерно-технологічного факультету. Протокол № 5 від 12.03.2026 року

© М.Л. Шуляк, Б.О. Саржанов,
О.М. Калнагуз, Л.М. Батюк
© Сумський національний аграрний
університет, 2026

ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН

Назва теми	Кількість годин
ТЕМА № 1. МЕТА І ЗАВДАННЯ ДИСЦИПЛІНИ. ЕНЕРГЕТИЧНИЙ БАЛАНС СИСТЕМИ "МАШИНА – ПОЛЕ". СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКЕ ВИРОБНИЦТВО.	2
ТЕМА 2. ЕНЕРГЕТИЧНИЙ БАЛАНС СИСТЕМИ «МАШИНА ПОЛЕ». ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОЗАТРАТ В СИСТЕМІ “МАШИНА-ПОЛЕ”.	4
ТЕМА 3. ВІДНОВЛЮВАЛЬНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ В СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ.	4
ТЕМА 4. ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР.	4
ТЕМА 5. ҐРУНТ ТА ЙОГО ВЛАСТИВОСТІ.	4
ТЕМА 6. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ВЗАЄМОДІЇ МАШИН З ҐРУНТОМ – ШЛЯХ СТВОРЕННЯ НОВИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАСОБІВ.	6
ТЕМА 7. СИСТЕМА ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА. ІСТОРИЧНА ДОВІДКА ВИНИКНЕННЯ СИСТЕМИ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА (СТЗ). МОНІТОРИНГ УРОЖАЙНОСТІ ПОЛІВ.	4
Разом годин:	28

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Тема № 1. Мета і завдання дисципліни. Енергетичний баланс Системи "Машина – поле". Сільськогосподарське виробництво.....	7
1. Мета і завдання дисципліни.....	7
2. Сукупна енергія Системи "Машина –поле" – ефективної реалізації технологічних процесів в сільськогосподарському виробництві.	11
Тема 2. Енергетичний баланс системи «машина поле». Зниження енергозатрат в системі “машина-поле”.....	14
1. Шляхи зниження енергозатрат.....	14
2. Біогаз. Класифікація біогазових установок.	15
Тема 3. Відновлювальні джерела енергії в сільськогосподарському виробництві.....	21
1. Нетрадиційних джерел енергії.....	21
2. Шлях отримання біогазу.....	25
Тема 4. Використання енергозберігаючих технологій вирощування сільськогосподарських культур.....	29
1. Використання енергозберігаючих технологій.....	29
2. Стан енергоспоживання у Україні та необхідність енергозбереження....	32
Тема 5. Ґрунт та його властивості.....	34
1. Механічне руйнування ґрунту.	34
2. Вплив рушіїв тракторів і сільськогосподарських машин на властивості ґрунту.....	38
3. Головні фактори ущільнення ґрунту.....	40
Тема 6. Моделювання процесів взаємодії машин з ґрунтом – шлях створення нових технологічних засобів.....	44
1. Вплив рушіїв на деформацію ґрунту в горизонтальній і вертикальній площині.....	44
2. Вплив швидкості руху ходових систем на ущільнення ґрунту.....	46
3. Головні шляхи і способи зменшення ущільнюючої дії на ґрунт засобів механізації.....	49
4. Вплив ширини захвата агрегату на ущільнюючу дію на ґрунт.....	51
Тема 7. Система точного землеробства. Історична довідка виникнення системи точного землеробства (СТЗ). Моніторинг урожайності полів.....	53
1. Суть застосування СТЗ.....	53
2. Основні завдання, які вирішуються системою точного землеробства....	55
Список використаних джерел.....	61

ВСТУП

Дисципліна «Система “Машина-Поле»» структурована у два основні технічні блоки: «Інженерна агрономія» — перший модуль, та «Взаємодія ходових систем сільськогосподарської техніки з ґрунтовим середовищем» — другий модуль. Крім того, курс включає вивчення принципів точного землеробства як інструменту інженерного управління агротехнологічними процесами та підвищення ефективності механізованого виробництва продукції рослинництва.

Дисципліна викладається на інженерно-технологічному факультеті для підготовки спеціалістів за напрямом 208 «Агроінженерія» і спрямована на формування у здобувачів системних інженерних знань щодо наукових основ раціонального використання машинно-тракторних агрегатів та технічних засобів виробництва.

Основна мета полягає у забезпеченні здатності аналізувати та синтезувати елементи системи «Машина-Поле», а також обирати оптимальні технічні та технологічні рішення для механізованого вирощування сільськогосподарських культур.

Основні теми які викладені в даних лекціях: Формування системи "Людина-Машина-Поле". Рівень та стан механізації рослинництва в Україні. Системний підхід в розв'язанні проблем механізації рослинництва. Енергетичний баланс системи "Машина-Поле". Шляхи зниження енергетичних витрат в рослинництві. Машинно-тракторні агрегати (МТА), як активний фактор системи "Машина-Поле". Оцінка якості виконання технологічних операцій. Підготовка сільськогосподарських машин до функціонування в польових умовах. Вплив ходових систем МТА на ущільнення ґрунту і врожайність с.-г. культур. Питання збереження навколишнього середовища в системі "Машина-Поле".

Вільне володіння методами ідентифікації та дослідження систем, яке отримають здобувачі, вони зможуть оцінити в ході проведення науково-дослідних робіт та виконання завдань. Сформувані у здобувачів знання з наукових основ розробки і організації оптимальних методів механізованого виробництва продукції рослинництва.

Навчити здобувачів обирати шляхи та методи вирішення актуальних проблем високоефективного використання сільськогосподарської техніки в польових умовах з метою отримання максимальних біологічних врожаїв з мінімальними енергетичними витратами і збереженням родючості ґрунту та навколишнього середовища; дати знання з вибору оптимальних режимів технологічних операцій при механізованому обробітку ґрунту, а також при вирощуванні та збиранні сільськогосподарських культур; показати шляхи підвищення продуктивності роботи сільськогосподарських машин і надійності виконання технологічного процесу, мінімізації питомих енергетичних витрат, усунення переущільнення та руйнування структури ґрунту ходовими системами сільськогосподарських агрегатів, зниження втрат сільськогосподарської продукції, збереження навколишнього середовища; розкрити методи визначення відповідності конструкцій сільськогосподарських машин природно-кліматичним умовам їх використання та контролю якості виконання механізованих операцій в рослинництві.

- Знати основи сучасного механізованого землеробства; методику енергетичної оцінки механізованих технологічних процесів в рослинництві; механізовані способи покращення ґрунтів і підвищення їх родючості, регулювання водного, повітряного та температурного режимів ґрунтів; методику та технічні засоби визначення основних технологічних та фізико-механічних параметрів ґрунту, матеріалів і продуктів сільськогосподарського виробництва та умов функціонування сільськогосподарської техніки в полі; критерії та методи оцінки якості та надійності виконання механізованих

технологічних операцій в рослинництві; основи нормального функціонування екопідсистеми "Людина Машина-Поле"

- Вміти розробляти оптимальні технологічні процеси механізованого вирощування та збирання польових сільськогосподарських культур; визначати енергетичні витрати на проведення польових робіт; вдосконалювати та використовувати сільськогосподарську техніку відповідно до вимог системи точного землеробства; прогнозувати перспективи розвитку системи "Машина - Поле".

ЛЕКЦІЯ 1.

МЕТА І ЗАВДАННЯ ДИСЦИПЛІНИ. ЕНЕРГЕТИЧНИЙ БАЛАНС СИСТЕМИ "МАШИНА – ПОЛЕ". СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКЕ ВИРОБНИЦТВО.

План лекції:

- 1. Мета і завдання дисципліни.**
- 2. Сукупна енергія Системи "Машина –поле" – ефективної реалізації технологічних процесів в сільськогосподарському виробництві.**

1. Мета і завдання дисципліни.

Мета дисципліни полягає у формуванні у здобувачів ґрунтовних знань щодо раціонального застосування механізованих засобів у процесі виробництва рослинницької продукції. Це досягається через аналіз і поєднання компонентів системи «Машина-Поле» та освоєння ефективних технологій механізованого вирощування сільськогосподарських культур.

Основні завдання дисципліни:

- навчити здобувачів обирати найбільш доцільні шляхи вирішення актуальних завдань, пов'язаних з ефективною експлуатацією сільськогосподарської техніки в польових умовах, для забезпечення високої врожайності за умов енергоощадності та екологічної безпеки;
- надати знання щодо вибору найраціональніших технологічних операцій для механізованого обробітку ґрунту, вирощування та збирання сільськогосподарських культур;
- ознайомити з методами підвищення ефективності роботи агротехніки, забезпечення стабільності технологічного процесу та зниження енерговитрат на одиницю продукції;
- показати способи зменшення ущільнення ґрунту та запобігання руйнуванню його структури під час роботи машин, а також методи зниження втрат урожаю і захисту навколишнього середовища;

– сформувати уявлення про підходи до оцінки відповідності конструкцій сільськогосподарських машин умовам їх використання та контроль за якістю виконання механізованих процесів у рослинництві.

В результаті вивчення дисципліни здобувач повинен:

Знати:

- засадничі принципи сучасного механізованого землеробства;
- підходи до енергетичного аналізу та оцінювання ефективності механізованих технологічних процесів у сфері рослинництва;
- механізовані технології поліпшення стану ґрунтів, підвищення їхньої родючості та регулювання водного, повітряного і теплового режимів у ґрунтовому середовищі;
- методи та технічні засоби для визначення ключових технологічних і фізико-механічних характеристик ґрунту, аграрних матеріалів і продукції, а також умов функціонування технічних засобів у польових умовах;
- критерії оцінки якості й надійності виконання механізованих агротехнологічних операцій у рільництві;
- концептуальні засади ефективного функціонування агроєкосистеми «Людина-Машина-Поле».

Вміти:

- модернізувати та ефективно застосовувати сільськогосподарські машини відповідно до потреб і стандартів сучасних технологій у галузі рослинництва;
- розробляти раціональні технологічні рішення для механізованого вирощування та збирання польових культур;
- здійснювати розрахунок енергоспоживання під час виконання основних польових операцій;
- аналізувати й передбачати напрями розвитку інтегрованої системи «Машина-Поле».

Отримати навички:

- 1) ефективного комплектування та підготовки до роботи машин і

знарядь в заданих умовах виробництва;

2) вибору раціональних параметрів і режимів роботи машин з урахуванням конкретних виробничих умов;

3) складання, регулювання, управління сільськогосподарськими машинами і знаряддями вітчизняного і зарубіжного виробництва;

В. П. Горячкін часто повторював, що перед тим як створювати робочий орган сільськогосподарської машини необхідно всесторонньо вивчити то середовище з яким цей робочий орган буде взаємодіяти.

Робочий орган машини взаємодіє з живою матерією, виливаючи на неї (деформує, руйнує, зрізає, подрібнює і т. д.). В процесі роботи машини, що виготовлені із металу, гуми, пластикових мас та інших матеріалів і володіють певними властивостями зношуються по певних закономірностях. В свою чергу жива природа має здатність відновлюватися.

Таким чином між робочим органом машини, рушіями машини і живою природою, що оточує машину і та яку вона діє виникають певні закономірності.

При створенні машин і робочих органів їх необхідно:

- розробка агротехнічних основ, що в свою чергу включає :

а) створення машинної технології вирощування сільськогосподарських культур;

б) обґрунтування агротехнічних вимог до сільськогосподарської техніки.

Таким чином на створення машини мають впливати два технологічні процеси – в сільськогосподарському виробництві і в машинобудуванні. Звідси і випливає технологічне коло створення машини. таким чином метою дисципліни є віднайти зв'язки між живими об'єктами сільськогосподарського виробництва і машиною з ціллю більш тісної адаптації одного об'єкта до другого

Розглянемо загальні положення енергетичного балансу системи

"Машина –Поле"

Історія життя на землі, як і самої землі починається з Сонця. В надрах Сонця сонячна речовина зникає з швидкістю 120 млн. тонн за хвилину і це супроводжується викиданням в космічний простір колосальної кількості енергії.

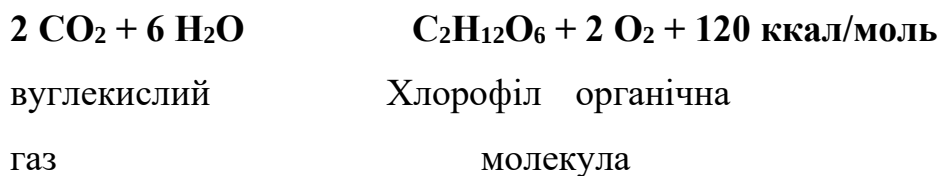
З усієї сонячної енергії землі досягає $5,5 \cdot 10^{23}$ кал., або 100000 кал./см² в рік.

1/3 часина цієї енергії витрачається на випаровування води .

67000 кал./см² – витрачається на фотосинтез – процес, що дає людству накопичення енергії Сонця.

Як відомо, процес фотосинтезу можна записати в наступному вигляді:

Енергія світла



З атмосферного повітря зв'язується вуглекислий газ в процесі фотосинтезу – утворюється 200 млрд/т Сахарів таким чином життя саме вирішило проблему накопичення енергії в зеленій масі рослин і дало можливість за рахунок них жити другим на Землі.

Якщо розглядати систему "Машина-Поле" то її енергія включає дві складові: енергія Сонця; антропологічну (штучну, зв'язану з діяльністю людини).

Енергія сонця завдяки фотосинтезу накопичується і в гумусі (20...30 ккал./га). Рослина може переробити до 30% сонячної енергії, але польовими рослинами КПД накопичення сягає всього 0,8...1,5%.

Досвід показує, що при правильній агротехніці вирощування культур КПД можна підняти до 5%. Це дало б можливість в Умовах отримати врожайність зернових до рівня 160...250 ц/га.

2. Сукупна енергія Системи "Машина –поле" – ефективної реалізації технологічних процесів в сільськогосподарському виробництві.

Таким чином сукупна енергія системи "Машина-Поле" дає можливість бути мірилом правильності технології вирощування сільськогосподарських культур і полягає в тому, що всі затрати на отримання продукції в процесі виробництва за допомогою енергетичних еквівалентів – витрат всіх видів енергії на одиницю матеріальних, трудових чи енергетичних ресурсів, перераховують в сукупну енергію і порівнюються з сукупною енергією, що міститься в виробленій продукції.

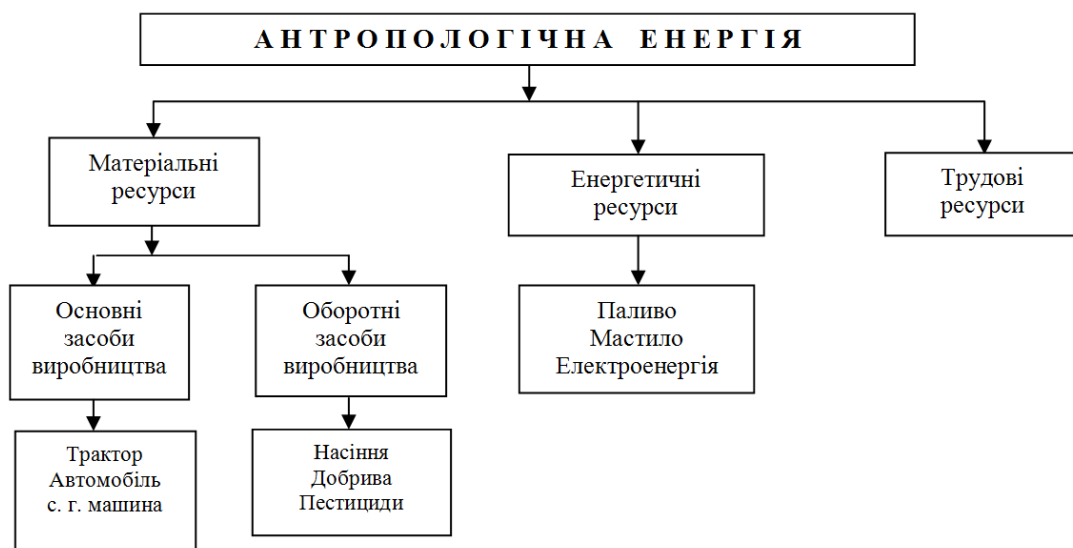


Рис. 1. Антропогенна енергія

Енергетична оцінка технологічного процесу вирощування с.-г. культур. Як відомо планом для виконання технологічних операцій при вирощуванні культури є технологічна карта. За критерії ефективності складеного плану як правило приймаються показники продуктивності агрегатів, витрати палива, витрати праці, можливо затрати грошових ресурсів. Як правило ці показники різні і по різному можна оцінити ефективність господарства в цьому напрямку.

Одним з найбільших природній і об'єктивним критерієм оцінки спроектованого плану робіт є енергетична оцінка технології. Суть якої

полягає в розрахунку витрат енергії при виконанні технологічних операцій у відповідності з довідковими еквівалентами сільськогосподарської продукції, об'ємами праці, витратами енергії на виготовлення машин і матеріалів та їх виконання машини і матеріалів та їх використання по технологічній карті на виробництво сільськогосподарської продукції.

За критерій енергетичної оцінки МТА на виконанні певної технологічної операції приймаються **питомі енергетичні витрати** – відношення сумарних енергетичних витрат на виконання даної операції до об'єму виконаної роботи (або виробленої продукції)

$$\eta = \frac{E_{ж} + E_{п} + E_{р,то} + E_{н} + E_{г} + E_{п}}{W}, \quad (1.1)$$

де $E_{ж}$ – витрати живої праці людей (тварин), МДж;

$E_{п}$ – витрати енергії палива, МДж;

$E_{р,то}$ – витрати енергії на виготовлення, ремонт і обслуговування с.-г. техніки, МДж;

$E_{н}$ – витрати енергії на виробництво насіння, МДж;

$E_{г}$ – витрати енергії на виробництво добрив, МДж;

$E_{п}$ – витрати енергії на виробництво пестицидів, МДж;

W – об'єм виробленої продукції (га, ц, кг, і т. п.).

Витрати енергії живої праці визначаються як

$$E_{ж} = \frac{n \cdot \varepsilon_{ж}}{W}, \quad (1.2)$$

де n – кількість робітників на виконанні операції;

$\varepsilon_{ж}$ – енергетичний еквівалент витрат живої праці, МДж/люд. – год.

W – продуктивність агрегату, га/год.

Витрати енергії палива визначаються

$$E_{п} = \varepsilon_{п} \cdot Q_{п}, \quad (1.3)$$

де $\varepsilon_{п}$ – енергетичний еквівалент палива, МДж/кг;

$Q_{п}$ – витрати палива, кг/га.

Витрати енергії на виготовлення, ремонт і ТО техніки

$$E_{p,TO} = \left(\frac{\varepsilon_T \cdot m_T}{T_T} + \frac{\varepsilon_m \cdot m \cdot \mu \cdot n}{T_M} \right) \cdot \frac{C}{100 \cdot W_G}, \quad (1.4)$$

де ε_T , ε_M – енергомiсткiсть одиницi маси енергозасобу i с.-г. машини вiдповiдно, МДж/кг;

T_T , T_M – вiдповiдно час зайнятостi енергозасобу i с.-г. машини в рiк, год.

n – кiлькiсть машин в агрегатi;

C – вiдсоток амортизацiйних вiдрахувань.

Для порiвняльної оцiнки однотипних агрегатiв рiзного складу при виконаннi однiєї i тiєї операцiї визначаються коефiцiєнти енергетичної ефективностi

$$\eta = \frac{\eta_H}{\eta_B}, \quad (1.5)$$

де η_H - питомi енергетичнi витрати при новому складi агрегату;

η_B – питомi енергетичнi витрати при базовому складi агрегату.

Коефiцiєнт енергетичної ефективностi є величиною безрозмiрною, при чому $\eta < 1$ при зниженнi енергозатрат i $\eta > 1$ при збiльшеннi енергозатрат при виконаннi однотипної операцiї.

Для оцiнки енергетичної ефективностi нової технологiї порiвняно з базовою вiдповiднi значення коефiцiєнтiв енергетичної ефективностi перемножуються.

Крiм цього оцiнка ефективностi використаної технологiї буде повною в тому випадку, коли сукупнiсть витрат енергiї та виробництво продукцiї вiднесенi до отриманої енергомiсткостi продукцiї будуть меншi одиницi, що свiдчить про примноження сукупної енергiї.

Контрольнi запитання:

1. Як визначаються витрати енергiї.
2. Як визначити витрати енергiї живої працi.
3. Як визначити енергiї на виробництво добрив.

ЛЕКЦІЯ 2.

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ БАЛАНС СИСТЕМИ «МАШИНА ПОЛЕ». ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОЗАТРАТ В СИСТЕМІ “МАШИНА-ПОЛЕ”.

План лекції:

1. Шляхи зниження енергозатрат.

2. Біогаз. Класифікація біогазових установок.

1. Шляхи зниження енергозатрат.

Біогазові установки (БГУ) в Україні класифікують за типом сировини (гній, силосу, відходи харчової промисловості), способом завантаження (порційні або безперервні) та за потужністю (від фермерських до великих промислових комплексів). Більшість сучасних систем працюють за принципом безперервної подачі та когенерації для виробництва тепла та електроенергії.

В індивідуальних та фермерських господарствах завжди знаходяться відходи великої рогатої худоби (ВРХ), свиней, птиці, а також відходи рослинного походження. Їхні постійно зростаючі об'єми створюють цілий ряд проблем щодо їх збору, транспортування, зберігання, переробки. Присутність цих відходів створює несприятливу екологічну обстановку, пов'язану із забруднення навколишнього середовища, ґрунтових вод та ґрунту.

Найперспективнішим вирішенням цієї проблеми є утилізація сільськогосподарських відходів в біогазових установках (БГУ) з отриманням біогазу та рідких високоякісних органічних добрив. Одночасно установка може бути використана для переробки стоків побутової каналізації та індивідуальних господарств.

Актуальність теми – паливна складова в ціні сільськогосподарської продукції виросла до 70%. В країні незначні запаси традиційних енергетичних ресурсів наприклад, нафти добувається всього 20% від

необхідного.

Розглянемо основні шляхи зниження енергозатрат користуючись нижче приведеною схемою:



Рис. 1. Шляхи зниження енергозатрат в системі машина-поле

2. Біогаз. Класифікація біогазових установок.

Отримання біогазу з органічних відходів

З метою визначення впливу технологічних показників, які необхідні для вибору режимів ферментації гною та конструктивно-технологічних параметрів ферментера на вихід біогазу під час твердофазної ферментації органічної сировини в анаеробних умовах, були проведені експериментальні дослідження. Свіжий підстилковий гній ВРХ завантажувався у ферментер дискретно чотири рази на добу через 6 годин відповідно до експозиції зброджування.

Основним критерієм оцінки роботи ферментера при проведенні експериментальних досліджень був показник питомого виходу біогазу з кілограма сухої речовини. Вихід біогазу контролювався щодобово газовим лічильником, показники якого заносились у журнал випробувань ферментера.

В Україні на сьогоднішній день налічується до 3 млн.т органічних відходів на свинарниках і птицих фермах. В молочному тваринництві в органічні відходи переходить до 47% затраченої енергії.

В природних умовах розклад любых відходів біомаси, в тому числі і органічних відходів тварин, проходить в гумусі ґрунту шляхом розкладу та

елементарні складові під дією мікроорганізмів, грибів, бактерій. Для протікання цього процесу необхідна вологість, тепло і відсутність світла. На кінцевій стадії процесу повний розклад проходить під дією великої кількості бактерій, що класифікуються як аеробні, або анаеробні.

Аеробні бактерії розвиваються при наявності кисню і вуглецю біомаси окислюється до CO_2 .

В закритих об'єктах з недостатнім доступом кисню із зовнішнього середовища розвиваються анаеробні бактерії, що також існують за рахунок розкладу вуглеводів.

В кінцевому випадку вуглець ділиться між повністю окисленим (CO_2) і повністю відновленим (CH_4). Поживні речовини, такі як розчинні сполуки азоту, поновлюючись гумусний шар.

Біогазова установка призначена для виробництва біогазу з органічних відходів сільськогосподарського виробництва шляхом бродіння для забезпечення селянських господарств газом на побутові потреби та високоякісним органічним добривом.

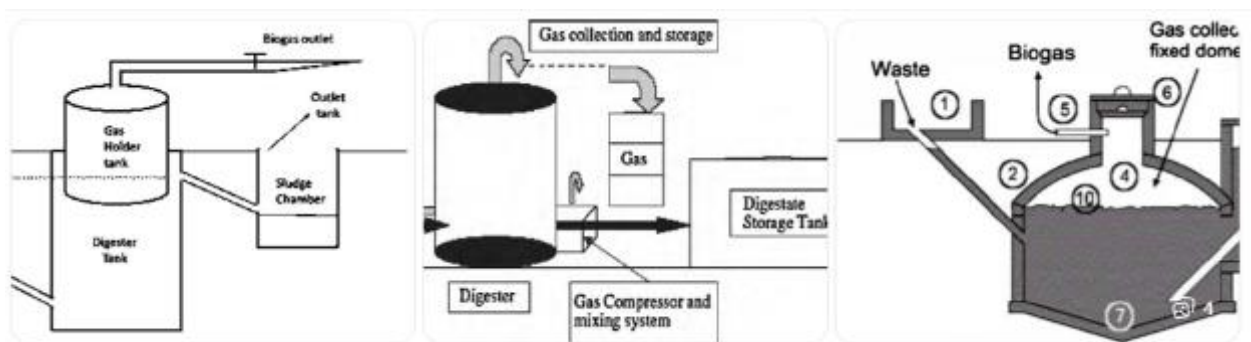


Рис. 2. Схеми біогазових установок.

Біогазова установка являє собою бакову конструкцію для створення ряду обладнання по виробництві біогазу.

Біогаз – продукт анаеробного бродіння органічних відходів.

До складу біогазу входить: 60...75% CH_4 (метан); 23...38% CO_2 (двооксид вуглецю); 2% H_2 (водень), H_2S (сірководень).

Вихід біогазу з органічних відходів тваринництва

Класифікація біогазових установок:

Побутові біогазові установки

Побутовими біогазовими установками називаються установки які використовуються для утилізації побутових органічних відходів і забезпечення господарства енергоносіями (тепло, електроенергія).

Побутові біогазові установки використовуються на невеликих фермерських господарствах з метою утилізації органічних відходів та отримання альтернативного виду палива – біогазу.

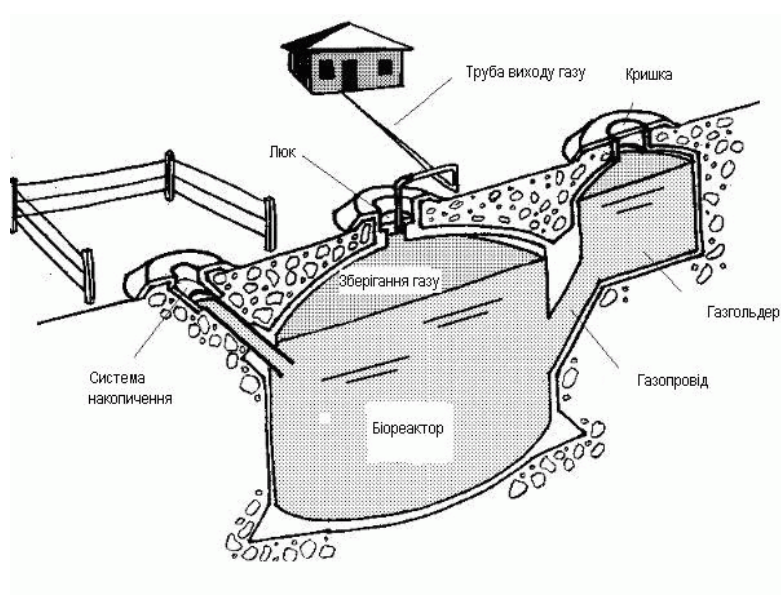


Рис. 3. Приклад побутової біогазової установки.

Промислові біогазові установки

Промисловими називаються біогазові установки які використовуються з метою утилізації органічних відходів та охорони довкілля, а також отримання екологічно-чистого органічного добрива.

Промислові біогазові установки використовуються на великих тваринницьких комплексах в основному з метою утилізації органічних відходів. Біогаз, як правило, використовують на технологічні потреби.

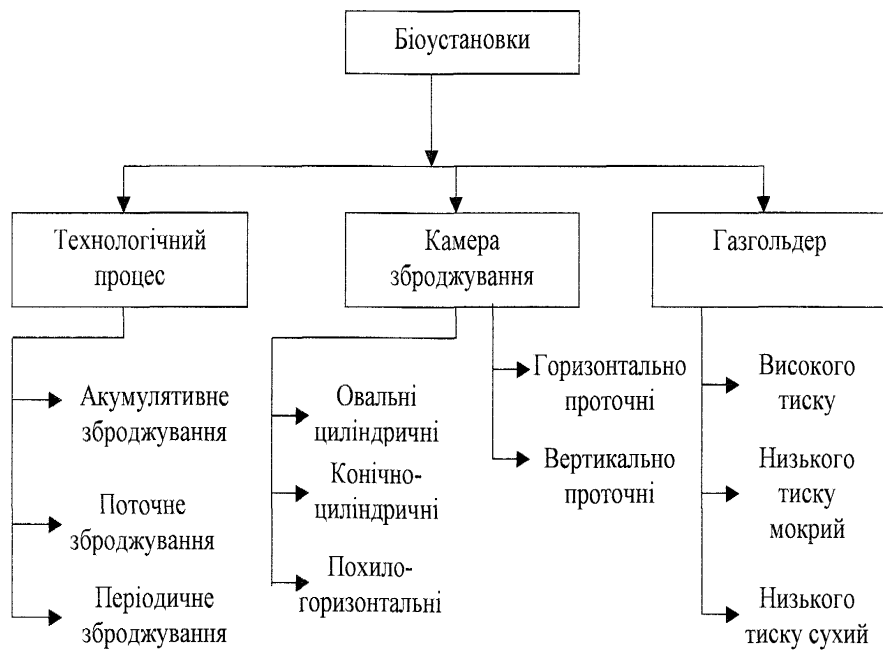


Рис. 4. Технологічна схема біогазових установок.

На першому етапі завантаження в ємність ферментатора гною великої рогатої худоби тривалість процесу ферментації повинна бути 20 діб, свинячого гною - 30 діб. Більшу кількість газу отримують при завантаженні різних органічних компонентів в порівнянні із завантаженням лише одного компоненту. Наприклад, при переробці гною великої рогатої худоби і пташиного посліду в біогазі може міститися до 70 % метану, що значно підвищує ефективність біогазу як палива.

Після того, як процес зброджування стабілізується, слід завантажувати сировину у ферментатор щодня, але не більше 10 % кількості маси, що переробляється в ньому. Вологість сировини, що рекомендується, влітку 92-95 %, взимку — 88-90 %. У ферментаторі, разом з виробництвом газу, здійснюється знезараження органічних відходів від патогенної мікрофлори, дезодорування неприємних запахів, що виділяються.

Отримуваний мул коричневого кольору періодично вивантажується з ферментатора і використовується як добриво. Для підігріву маси, що переробляється, використовують тепло, яке виділяється при її розкладанні в біоферментаторі. При пониженні температури у ферментаторі знижується

інтенсивність газовиділення, оскільки мікробіологічні процеси в органічній масі сповільнюються. Тому надійна теплоізоляція біогазової установки (біоферментатора) одна з найбільш важливих умов її нормальної роботи. Для забезпечення необхідного режиму ферментації рекомендується змішувати гній, що закладається у ферментатор, з гарячою водою (бажано 35-40 °С). Втрати тепла необхідно зводити до мінімуму також при періодичному довантаженні і очищенні ферментатора.

Для кращого обігріву ферментатора можна використовувати «тепличний ефект». Для цього над куполом встановлюють дерев'яний або легкий металевий каркас і покривають поліетиленовою плівкою. Якнайкращі результати досягаються при температурі сировини, яка зброджується, 30-32°C і вологості 90-95%.

На півдні України біогазові установки можуть працювати ефективно без додаткового підігріву органічної маси у ферментаторі. У районах середньої і північної смуги частину отриманого газу необхідно витратити в холодні періоди року на додатковий підігрів зброджуваної маси, що ускладнює конструкцію біогазових установок. Можлива ситуація, коли після першого наповнення ферментатора і початку відбору газу останній не горить. Це пояснюється тим, що спочатку отриманий газ містить більше 60 % вуглекислого газу. В цьому випадку його необхідно випустити в атмосферу і через 1-3 дні робота біогазової установки відбудуватиметься в стабільному режимі.

При ферментації екскрементів від однієї тварини можна отримати за добу: великої рогатої худоби (жива маса 500-600 кг) — 1,5 м3 біогазу, свині (жива маса 80-100 кг) — 0,2 м3 , курки або кроля — 0,015 м3 . За одну добу ферментації з гною великої рогатої худоби утворюється 36 % біогазу, а свинячого — 57 %. По кількості енергії 1 м3 біогазу еквівалентний 1,5 кг кам'яного вугілля, 0,6 кг гасу, 2 кВт/год електроенергії, 3,5 кг дров, 12 кг гнойових брикетів.

Широкий розвиток біогазові технології отримали в Китаї, вони активно

упроваджуються у ряді країн Європи, Америки, Азії, Африки. У Західній Європі, наприклад в Румунії, Італії, більше 10 років тому почали масово застосовувати малогабаритні біогазові установки з об'ємом сировини 6-12 м³, що перероблялася. Малогабаритні біогазові установки. Власники присадибних і фермерських господарств в Україні теж почали виявляти цікавість до таких установок.

На території будь-якої садиби можна обладнати одну з найбільш простих біогазових установок, які, наприклад, застосовуються в індивідуальних господарствах Румунії.

Біогазова установка являє собою комплекс технологічних апаратів безперервної дії, в якому відбувається анаеробна ферментація органічного субстрату у герметичному біореакторі з контрольованими параметрами температури, вологості та гідравлічного часу утримання, що забезпечує генерацію біогазу та отримання стабілізованого органічного добрива.

Контрольні запитання:

1. Що таке біопаливо.
2. Як отримати біогаз з органічних відходів.
3. Які основні шляхи зниження енергозатрат.

ЛЕКЦІЯ 3.

ВІДНОВЛЮВАЛЬНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ В СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ.

План лекції

1. Нетрадиційних джерел енергії
2. Шлях отримання біогазу

1. Нетрадиційних джерел енергії

Нетрадиційні джерела енергії це: - сонячне випромінювання на поверхні землі, - вітрова енергія, - енергія води, - біомаса – продукт фотосинтезу.

Для с.-г. нашої країни, особливо в останній час постало питання нехватки традиційних енергетичних ресурсів. Це пов'язано з малими запасами твердого палива. Нафти добуваються всього 20% від необхідного. За останні роки паливна складова в ціні с.-г. продукції виросла до 70% (В. У. Шевченко, П. З. Півань. Енергетика України: який шлях обрати, щоб вижити. К. Просвіта 1999 р.)

Програмою розвитку енергетики України визначено та найближче майбутнє доля нетрадиційних джерел енергії досягне 10%.

Найбільш реальною перспективою отримання енергії є активне використання біомаси. Первинна енергія системи біомаси – кисень виникає в результаті фотосинтезу під дією сонячного випромінювання, що є природнім варіантом перетворення сонячної енергії.



Рис. 1. Система кругообігу біомаси.

Як відомо основою біомаси є органічні сполуки вуглецю, які в процесі окислення виділяють тепло.

В результаті біохімічних процесів біомаса може бути трансформована в біопаливо – в рідкі олії метан в газоподібний метан., етаном., біогаз (табл. 1).

Біопаливо добре ув'язане з природними економічними циклами, так як при згоранні його енергія розсіюється, а продукти згорання можуть знову перетворюватись в біопаливо шляхом природних екологічних або с.-г. процесів.

Таблиця 1

Відновлювальні біопалива.

Вид палива	Енергетичний еквівалент, МДж/кг	Примітки
Етанол	30	C_2H_5OH
Метанол	23	CH_4OH
Біогаз	28	65% CH_4 +30% CO_2 і інші
Дерев'яне вугілля	32	-
Кокосове масло	39	-
Газохол	33	Етиловий ефірзкукуруз
Рінакова олія	37	-

Для с.-г. нашої країни для отримання біопалива однією із культур, що заслуговує на увагу є рінак. Він добре узгоджується в сівозміні. При врожайності 30 ц/га насіння є можливість з одного гектара отримати 1000 літрів олії, яку можна отримати по тій же технології, що і соняшникова олія.

Технічно є не складний процес вилучення домішку гліцерину і при дистиляції при температурі 60...70 °С – метанолу. При цьому отримане біодизпаливо з показником цетанового числа рівним 37. При цьому викиди діоксиду сірки зменшуються в 100 раз.

Система кругообігу біомаси — це інтегрована біоенергетична та агроінженерна система, у якій відбувається безперервна трансформація органічної речовини (біомаси) між рослинництвом, тваринництвом, енергетичними установками та ґрунтовим середовищем з метою отримання енергії, кормів та органічних добрив.

Основою системи є замкнений матеріально-енергетичний цикл, у якому продукти одного технологічного процесу виступають ресурсом для наступного етапу виробництва.

1. Структура системи кругообігу біомаси

Система складається з таких функціональних підсистем:

Виробництво рослинної біомаси

Використання біомаси у тваринництві

Формування органічних відходів

Біоенергетична переробка відходів

Повернення поживних речовин у ґрунт

2. Підсистема формування рослинної біомаси

На цьому етапі відбувається біосинтез органічної речовини шляхом фотосинтезу.

Основні технологічні процеси: вирощування кормових культур; накопичення органічної маси; формування врожаю.

Інженерні параметри

Показники продуктивності:

урожайність біомаси: 30–70 т/га зеленої маси

коефіцієнт накопичення сухої речовини: 20–35 %

Рослинна біомаса включає: кормові культури; післяжнивні рештки; соломку; енергетичні культури.

3. Підсистема використання біомаси у тваринництві

Рослинна біомаса використовується як кормовий ресурс.

Технологічні процеси: заготівля кормів; подрібнення і транспортування; згодовування тваринам.

В результаті біоконверсії корму утворюються: продукція тваринництва (молоко, м'ясо) та органічні відходи.

4. Підсистема утворення органічних відходів

До відходів біомаси належать: гній; гноївка; послід; рослинні рештки.

Технічні характеристики

Вихід відходів: ВРХ — 50–60 кг гною/добу на голову та свині — 6–8 кг/добу

Ці відходи формують органічний субстрат для біоенергетичних установок.

5. Біоенергетична переробка біомаси

Органічна біомаса піддається термохімічному або біохімічному перетворенню.

Основні технології:

Анаеробна ферментація (біогазові установки)

Піроліз

Газифікація

Компостування

Приклад біогазового процесу

Результатом ферментації є: біогаз та дигестат

Енергетичний вихід: 1 т гною → 60–80 м³ біогазу

Система кругообігу біомаси є багаторівневою технологічною системою перетворення органічної речовини, що забезпечує замкнений цикл використання матеріальних та енергетичних ресурсів у агропромисловому виробництві, в якому біомаса послідовно трансформується у корми, продукцію тваринництва, біоенергію та органічні добрива.

2. Шлях отримання біогазу

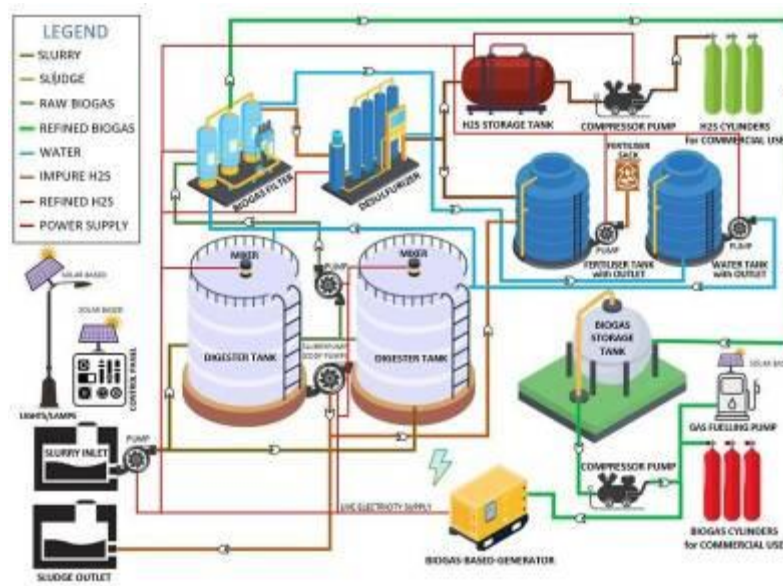


Рис. 2. Схема отримання біогазу.

Біогаз отримують шляхом анаеробної ферментації органічної біомаси під дією метаногенних мікроорганізмів у герметичному біореакторі (метантенку). Процес відбувається без доступу кисню і супроводжується біохімічним розкладанням органічної речовини з утворенням метану та вуглекислого газу.

Якщо в теперішній час господарство, маючи в середньому до 2000 угідь потребує для вирощування основних видів с.-г. продукції в середньому 20 т дизельного пального то, щоб перейти на біопальне його необхідно при енергетичному еквіваленті дизпалива $\varepsilon_g = 52,8$ МДж

$$m_{\delta.g} = \frac{\varepsilon_g}{\varepsilon_{\delta.g}} \cdot m_g$$

де $\varepsilon_{\delta.g}$, ε_g – енергетичні еквіваленти біопального і дизельного пального; МДж, відповідно

$m_{\delta.g}$, m_g – маса біопального і дизельного пального відповідно, кг.

$$m_{\delta.g} = \frac{52,8}{37} \cdot 20000 = 28540 \text{ кг}$$

При коефіцієнті втрат при переробці $\eta = 0,8$ необхідна кількість масла

ріпака потрібна

$$M_p = \frac{m_{б.р}}{\eta}$$

де M_p – необхідна маса масла ріпака, кг;

η - коефіцієнт втрат.

$$M_p = \frac{28540}{0,8} = 35675 \text{ кг}$$

Необхідна площа для посіву ріпака

$$S = \frac{M_p}{Y}$$

де S – необхідна площа в га;

Y – урожайність в л масла.

$$S = \frac{35675}{1000} = 35,6 \text{ га}$$

Що становить 1,7% площі.

Як бачимо, цілком логічним було б переведення колективних с.-г. підприємств та самозабезпечення біодизельним паливом.

Приклад. Для невеликого фермерського господарства питання використання біодизпалива є також актуальним.

Для легковика з витратою дизпалива 4л на 100 км і з річним пробігом 15 тис. км необхідно:

1. Кількість затраченої енергії – $4\text{л.} \times 52,8 = 211,2 \text{ МДж}$
2. Необхідна кількість біопалива – $211,2 : 37 = 5,7\text{л.}$
3. Загальна кількість б. п. в рік – $5,7 \times 15000 = 855\text{л.}$
4. Площа посіву ріпака $S = 855 / 0,8 \times 1000 = 1,06 \text{ га.}$

Таким чином для утримання одного автомобіля фермеру необхідно виростити ріпак на площі 1 га.

Ще один шлях отримання відновлювальної енергії в сільськогосподарському виробництві – це шлях отримання біогазу. Біомасою для вироблення біопалива є органічні відходи. В Україні на сьогоднішній

день налічується до 3 млн. т. органічних відходів на свинарниках і пташиних фермах. (В. І. Шевченко.....). В молочному тваринництві в органічні відходи переходить до 47% затраченої енергії.

В природних умовах розклад любых відходів біомаси, в тому числі і органічних відходів тварин, проходить в гумусі ґрунту шляхом розкладу на елементарні складові під дією мікроорганізмів, грибів, бактерій.

Для протікання цього процесу необхідна вологість, тепло і відсутність світла. На кінцевій стадії процесу повний розклад проходить під дією великої кількості бактерій, що класифікуються як аеробні, або анаеробні. Аеробні бактерії розвиваються при наявності кисню і вуглець біомаси окислюється до CO_2 . В закритих об'єктах з недостатнім доступом кисню із зовнішнього середовища розвивається анаеробні бактерії, що також існують за рахунок розкладу вуглеводів.

В кінцевому випадку вуглець ділиться між повністю окисленим (CO_2) і повністю відновленим (CH_4). Поживні речовини, такі як розчинні сполуки азоту, поповнюють гумусний шар.

На принципі анаеробного збродження працюють установки для отримання біогазу – суміші 50...80% - CH_4 , 50...20% - CO_2 , менше 1% сірководню (H_2S) і сліди аміаку.

Вважається, що в середньому 1 м^3 біогазу може дати 21..23 мДж енергії.

В сутки від однієї тварини можна отримати біогазу:

Добовий вихід біогазу від однієї тварини

Вид тварин	Кількість гною за добу	Вихід біогазу з 1 кг гною	Добовий вихід біогазу
Велика рогата худоба (корова)	50–60 кг	0,02–0,04 м^3	1,0–2,5 м^3 /добу
Свині	6–8 кг	0,04–0,06 м^3	0,3–0,6 м^3 /добу
Вівці та кози	1,5–2 кг	0,05–0,06 м^3	0,08–0,12 м^3 /добу
Птиця	0,1–0,2 кг посліду	0,06–0,08 м^3	0,01–0,02 м^3 /добу

Що в перерахунку через енергетичні еквіваленти біогазу і бензину відповідно

становить 653,84 і 6 грамів бензину.

Або з 1 тони сухого гною можна отримати 340 м³ біогазу, що в перерахунку на бензин – 143 кілограма. (Б. У. Драганов Использование возобновляемых и вторичных энергоресурсов в сельском хозяйстве К. Вища школа 1988 р.).

Приклад 3. Фермер, що держить 50 свиней планує використати органічні відходи для отримання біогазу в якості палива для свого автомобіля. Енергія на стиск газу 30 МДж. Витрати бензину 8 кг / 100 км.

1. Визначити кількість біогазу, отриманого в сутки

$$50 \times 0,2 \text{ л.} = 100 \text{ л.}$$

2. Отримана кількість енергії

$$100 \times 23 = 2300 \text{ МДж}$$

3. Енергія без стиску

$$2300 - 30 = 2270 \text{ МДж}$$

4. Кількість бензину

$$2270 : 54,5 = 41,6 \text{ кг.}$$

5. Пробіг автомобіля

$$(46,8 / 8) 100 = 320 \text{ км.}$$

Енергетичний аналіз і зв'язаний з ним аналіз економічних факторів отримання і переробки біомаси агропромисловим методом є набагато складнішим, чим розглянутий тут. Однак важливим є те, що використання для отримання енергії дешевих відходів біомаси може мати вирішальне значення при оцінці ефективності того або іншого процесу.

Контрольні запитання:

1. Що відносять до нетрадиційних джерел енергії.
2. Які шляхи отримання відновлювальної енергії в сільськогосподарському виробництві.

ЛЕКЦІЯ 4.

ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР.

План лекції:

- 1. Використання енергозберігаючих технологій**
- 2. Стан енергоспоживання у Україні та необхідність енергозбереження**

1. Використання енергозберігаючих технологій

Енергозберігаючі технології — це сукупність інженерно-технологічних рішень, спрямованих на зменшення питомих витрат енергетичних ресурсів при виробництві продукції, виконанні технологічних процесів та експлуатації технічних систем без зниження продуктивності та якості продукції.

У технічному аспекті енергозбереження реалізується шляхом оптимізації енергетичних потоків, підвищення коефіцієнта корисної дії обладнання та впровадження відновлюваних джерел енергії.

Технічна сутність енергозбереження

З інженерної точки зору енергозбереження базується на таких принципах:

Рациональне використання енергетичних ресурсів

Підвищення енергоефективності технологічного обладнання

Рекуперація вторинної енергії

Використання відновлюваних джерел енергії

Автоматизація та оптимізація енергетичних процесів

Основні напрями впровадження енергозберігаючих технологій в Україні

1. Енергоефективність у промисловості

У промисловому секторі впроваджуються технології: модернізації

електроприводів; використання частотних перетворювачів; підвищення ККД енергетичного обладнання; рекуперації теплової енергії.

Інженерні рішення: теплообмінні системи; когенераційні установки; автоматизовані системи керування енергоспоживанням.

2 Енергозбереження в агропромисловому комплексі

В аграрному секторі використовуються:

ресурсозберігаючі технології обробітку ґрунту (No-till, Mini-till);

біоенергетичні установки;

системи точного землеробства;

енергоефективні машинно-тракторні агрегати.

Приклади: використання біогазових установок для утилізації органічних відходів; застосування енергоощадних сушильних комплексів та оптимізація логістики польових робіт.

3 Відновлювані джерела енергії

До основних технологій належать: сонячні електростанції (СЕС); вітрові електростанції (ВЕС); біоенергетичні установки та теплові насоси.

4. Техніко-економічний ефект впровадження

Використання енергозберігаючих технологій забезпечує:

зниження витрат паливно-енергетичних ресурсів на 20–40 %;

зменшення експлуатаційних витрат;

підвищення продуктивності технологічних систем;

скорочення викидів парникових газів.

5. Інженерна модель енергозбереження

З технічної точки зору система енергозбереження може бути представлена як комплекс оптимізованих технологічних процесів, у яких відбувається: ресурс → енергетичне перетворення → корисна робота →

рекуперация втрат → повторне використання енергії.

Використання енергозберігаючих технологій в Україні є комплексом інженерно-технологічних заходів, спрямованих на оптимізацію процесів виробництва, транспортування та споживання енергії, що забезпечує зниження питомих витрат енергетичних ресурсів, підвищення коефіцієнта корисної дії технічних систем та інтеграцію відновлюваних джерел енергії у структуру національного енергетичного балансу.

В Україні на сьогоднішній день налічується до 3 млн.т органічних відходів на свинарниках і птичних фермах. В молочному тваринництві в органічні відходи переходить до 47% затраченої енергії. В природних умовах розклад любих відходів біомаси, в тому числі і органічних відходів тварин, проходить в гумусі ґрунту шляхом розкладу та елементарні складові під дією мікроорганізмів, грибів, бактерій. Для протікання цього процесу необхідна вологість, тепло і відсутність світла. На кінцевій стадії процесу повний розклад проходить під дією великої кількості бактерій, що класифікуються як аеробні, або анаеробні.

Аеробні бактерії розвиваються при наявності кисню і вуглецю біомаси окислюється до CO_2 .

В закритих об'єктах з недостатнім доступом кисню із зовнішнього середовища розвиваються анаеробні бактерії, що також існують за рахунок розкладу вуглеводів. В кінцевому випадку вуглець ділиться між повністю окисленням (CO_2) і повністю відновленням (CH_4). Поживні речовини, такі як розчинні сполуки азоту, поновлюючись гумусний шар.

Розвиток економіки України значною мірою залежить від вирішення завдання забезпечення енергоносіями. Недостатній обсяг власних енергоносіїв змушує українську владу приймати рішення щодо значного їх імпорту. В умовах скорочення світових запасів вуглеводнів та зростання на них цін, вирішення енергетичних проблем лише за допомогою імпорту є недостатнім.

Сьогодні світ намагається вирішувати проблему енергоносіїв на основі

нових підходів, в основі яких є: по-перше, покращення технологічного процесу з точки зору енергомісткості виробництва; по-друге, розвиток енергозбереження; по-третє, розширення виробництва енергії за рахунок поновлюючих джерел. В економічно розвинених країнах частка енергії, виробленої на поновлюючих джерелах зростає.

Україна є енергодефіцитною державою, яка імпортує 75 % природного газу та 85 % нафти і нафтопродуктів. Така структура паливно-енергетичного балансу є критичною і неприйнятною з точки зору енергетичної безпеки.

Виходячи з цього, одним із основних завдань української держави є суттєве зменшення неефективного споживання енергетичних ресурсів. Вирішити це завдання неможливо без цілеспрямованої енергетичної політики, де адекватно враховувалися би можливості України щодо власного видобутку вуглеводнів, розвитку поновлюючої енергетики і енергозбереження, переходу економіки до широкого впровадження у виробництво інновацій.

Для розв'язання такого завдання необхідно зосередитися на аналізі найважливіших сторін проблеми та визначити шляхи, засоби і методи її вирішення. Даний матеріал показує досягнення і складності країн Європейського Союзу у проведенні енергетичної політики в цілому і політики енергозбереження, зокрема шляхи використання європейського досвіду в умовах України.

2. Стан енергоспоживання у Україні та необхідність енергозбереження

Ефективне використання енергії – один із інтегральних показників розвитку економіки, науки і соціокультурного розвитку нації. За цим показником Україна знаходиться у числі тих держав, де стагнація існуючого положення може спровокувати серйозну економічну кризу з наступними масштабними соціальними потрясіннями.

Найскладнішою щодо ефективності використання енергії залишається ситуація справ у житлово-комунальному комплексі, де зношені теплові та

водопостачальні станції працюють з низьким ККД і здійснюють постачання через такі ж зношені мережі. Внаслідок цього втрати енергії сягають 45-50 %. Для порівняння скористаємося такими даними.

Якщо в Україні ККД ТЭС із паровими турбінами складає 35 % (а на деяких станціях навіть 25 %), то у світі активно впроваджуються парогазові установки (ПГУ) з ККД 50–60 %.

Значні енерговитрати мають місце в промисловому виробництві, особливо таких його галузях як металургія, хімічна і нафтопереробна промисловість. Частка енергії у вартості продукту тут складає 30-50 %. В окремих підприємствах цей показник сягає 60 %.

У цілому по країні енергоємність валового внутрішнього продукту в 3-5 разів більша ніж у розвинутих країнах Заходу.

А це означає, що виготовлений в Україні товар матиме значно вищу собівартість порівняно з аналогічним зарубіжним зразком. За даними Державного комітету енергозбереження наприкінці 90-х років Україна поступалася за цим показником не тільки провідним державам світу, але й найближчим нашим сусідам.

Причини такого важкого стану з енергоефективністю і в минулому, і в сьогоденні. У минулому енерговитрати в економіці Радянської України на 25 % перевищували середньосоюзний показник. Переживши енергетичну кризу у 70-ті роки, передові країни світу взяли курс на підвищення енергоефективності. Водночас зменшення енергоємності ВВП склало: у США – 46 %; Японії – 35 %; ЄС – 32 %. СРСР за цей період відстав ще більше, оскільки зменшення енергомісткості в його економіці склало лише 16 %.

Контрольні запитання:

1. Що таке біопаливо.
2. Як отримати біогаз з органічних відходів.
3. Які основні шляхи зниження енергозатрат.

ЛЕКЦІЯ 5.

ҐРУНТ ТА ЙОГО ВЛАСТИВОСТІ.

План лекції:

- 1. Механічне руйнування ґрунту.**
- 2. Вплив рушіїв тракторів і сільськогосподарських машин на властивості ґрунту**
- 3. Головні фактори ущільнення ґрунту**

1. Механічне руйнування ґрунту.

При створенні енергозасобу чи сільськогосподарської машини потрібно враховувати не тільки те, як забезпечити повному використанню трактора – тягача, довговічність робочих органів, витрат палива і т. п., але й те, що машина буде працювати з живою природою – ґрунтом.

Основною причиною руйнівної механічної дії на рівноважну щільність ґрунту є використання машинотракторного агрегату. Які ж фактори впливають на руйнівну дію ґрунту при використанні МТА.

Масові характеристики МТА.

Небезпека переущільнення ґрунту виникає при використанні важких машин, так як дія рушіїв з підвищеним питомим навантаженням досягає більш глибоких шарів, навіть якщо контактний тиск рушії невеликий.

Якщо скористатися показником впливу U (кН/м), що характеризує значення ущільнюючої дії на ґрунт і пов'язати його з основними характеристиками тракторів (табл. 1) то слід відмітити, що маса трактора активно впливає на ущільнення ґрунту.

Таблиця 1.

Значення показника ущільнення дії трактора на ґрунт.

Марка трактора	Маса, кг (Експлуатаційна)	Показник ущільнюючої дії, кН/м
К – 701	11300	240
Т – 150	8180	168
Т – 150К	8900	184
Т – 150К (здвоєні колеса)	8980	180
МТЗ - 80		120

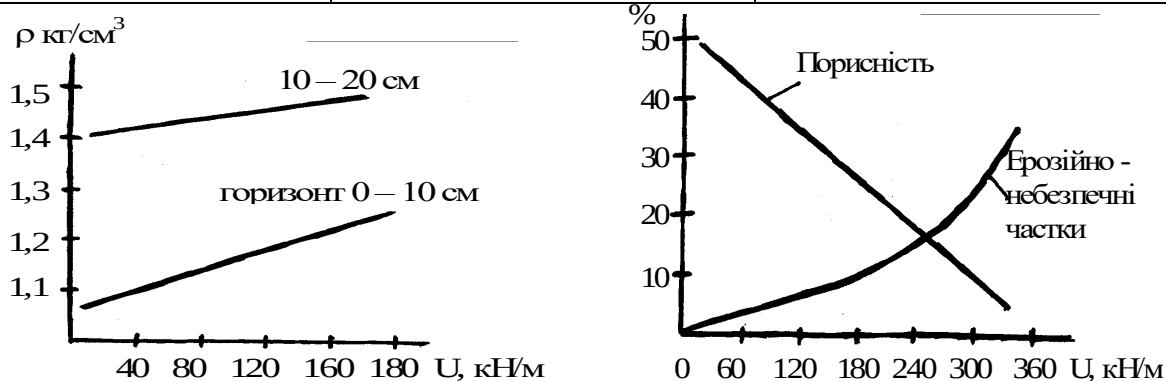


Рис. 1. Залежність щільності ґрунту в слідах трактора від показника впливу.

Показник впливу визначається залежністю:

$$U = \frac{\omega \cdot B \cdot g_{\max}}{1 + \lambda \cdot \lg N}$$

де ω - що залежить від типу і розміру рушія, (1,25 – для гусеничного, 2,15 – для колісного);

$g_{\max}$ – максимальний тиск рушія на ґрунт;

λ - Коефіцієнт накопичення деформації ґрунту при повторних навантаженнях, $\lambda=0,41 \dots 1,5$;

$\lg N$ – логарифм від кількості проходів техніки по полю.

Існує межа ущільнюючого зусилля, нижче якої врожайність культури

не знижується. Такою межею ущільнюючого зусилля є допустимий показник впливу, що рівний $U=75$ кН/м.

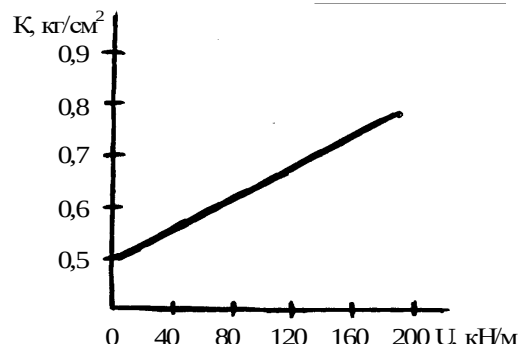


Рис. 2. Залежність коефіцієнта опору ґрунту від показника впливу.

Для оцінки ущільнюючої дії техніки для визначення показника впливу необхідно знати максимальний тиск на ґрунт.

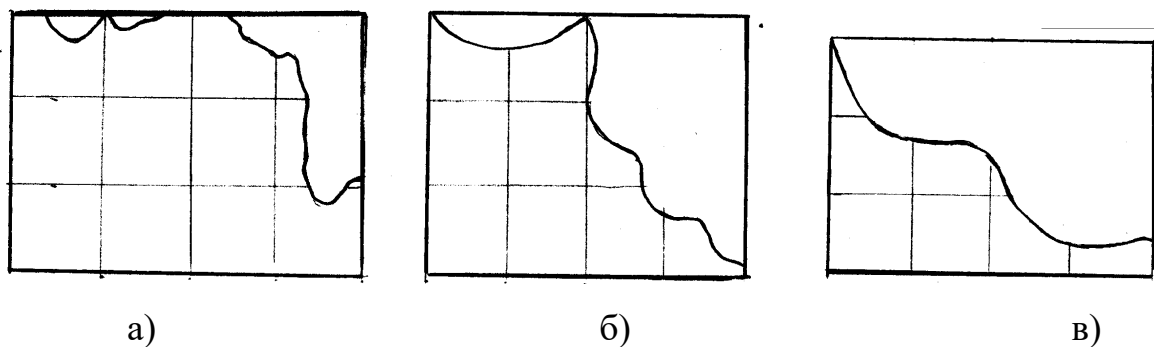


Рис. 3. Епюри розподілу тиску рушіїв на ґрунт:

- а) з балансірною підвіскою; б) з додатковим підресерюванням;
в) з жорсткою підвіскою.

На величину максимального тиску рушіїв на ґрунт впливають як параметри рушіїв, так і навантаження на гаку трактора.

Для колісних рушіїв значний вплив на ущільнення ґрунту має внутрішній тиск повітря в шинах.

Зниження тиску повітря з 0,18 до 0,08 МПа приведе до зниження максимального зусилля:

- для передніх на 33%;
- для задніх на 35%.

На величину тиску впливає навантаження на гаку трактора.

Через перерозподіл навантаження на колеса тиск передніх коліс на ґрунт зменшується, а задніх – збільшується.

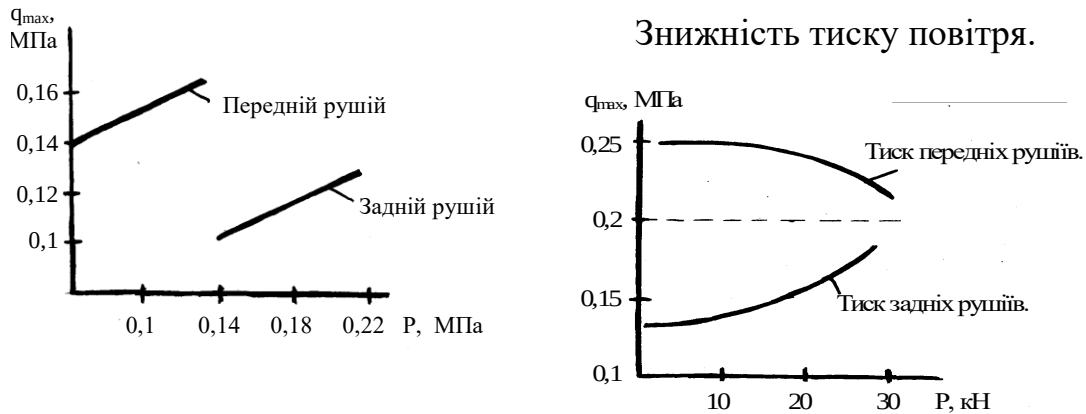


Рис. 4. Залежність тиску коліс трактора від сили тяги на гаку.

Вплив швидкості руху на максимальний тиск на ґрунт.

Для колісних рушіїв швидкість руху впливає на ущільнення ґрунтів незначно.

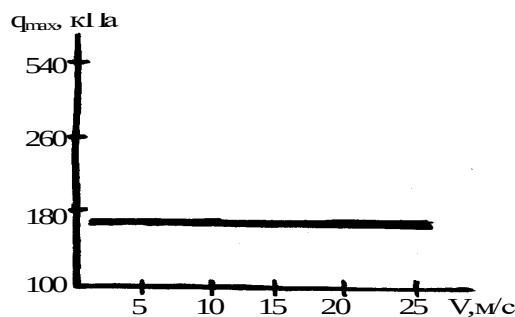
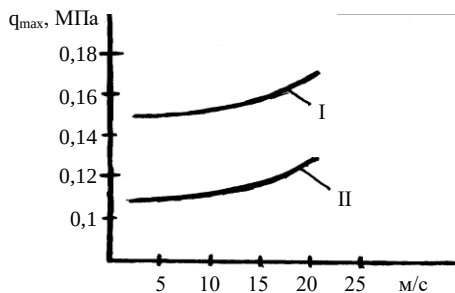


Рис. 5. Вплив швидкості руху на тиск в зоні контакту шини з ґрунтом.

Для гусеничних рушіїв швидкість руху впливає на ущільнення ґрунту.



Також встановлено, що із збільшення швидкості руху збільшується глибина сліду рушіїв.

Залежність максимального тиску гусеничних рушіїв на ґрунт в залежності їх швидкості руху: I – Т – 150, II – ДТ – 75.

швидкості руху: I – Т – 150, II – ДТ – 75.

2. Вплив буксування на щільність ґрунтів.

Буксування рушіїв машинно-тракторного агрегату (МТА) є одним із основних факторів, що впливають на ущільнення ґрунтового середовища під час виконання технологічних операцій у рослинництві. З інженерної точки зору буксування характеризує різницю між теоретичною та фактичною швидкістю руху рушія, що призводить до додаткових деформацій ґрунтового масиву.

Механічна взаємодія рушія з ґрунтом

Під час буксування відбувається зсувне деформування ґрунтового шару у зоні контакту шини з ґрунтом. У результаті виникають: нормальні напруження; дотичні (зсувні) напруження.

Ці напруження викликають: пластичну деформацію ґрунту; перерозподіл порового простору та ущільнення ґрунтової структури.

Формування ущільненого шару ґрунту.

У зоні контакту рушія з ґрунтом формується ущільнена зона, яка складається з трьох шарів: поверхневий деформований шар (0–5 см); зона пластичного ущільнення (5–20 см); підорний ущільнений горизонт (20–40 см).

Зі збільшенням буксування відбувається: збільшення глибини деформації та підвищення об'ємної маси ґрунту.

Буксування спричиняє зміну основних фізичних параметрів ґрунту.

Вплив буксування на агрофізичні властивості ґрунту. Збільшення буксування призводить до: руйнування ґрунтових агрегатів; зменшення водопроникності; погіршення газообміну; формування плужної підшви.

У результаті: погіршується розвиток кореневої системи рослин; зменшується ефективність використання вологи.

Енергетичні наслідки буксування

Буксування також призводить до зростання енергетичних втрат.

При збільшенні буксування: зростає тяговий опір; збільшується витрата палива на 10–20 %; зменшується продуктивність МТА.

Буксування рушіїв машинно-тракторних агрегатів є важливим фактором механічного ущільнення ґрунтового середовища, що супроводжується зростанням об'ємної маси ґрунту, зменшенням пористості та погіршенням агрофізичних властивостей ґрунтового шару. Тому оптимізація режимів роботи тракторів та зменшення коефіцієнта буксування є важливою умовою підвищення енергоефективності технологічних процесів і збереження родючості ґрунтів.

Як показують дослідження, при збільшенні буксування ведучих і ковзання ведених коліс щільність ґрунту значно збільшується.

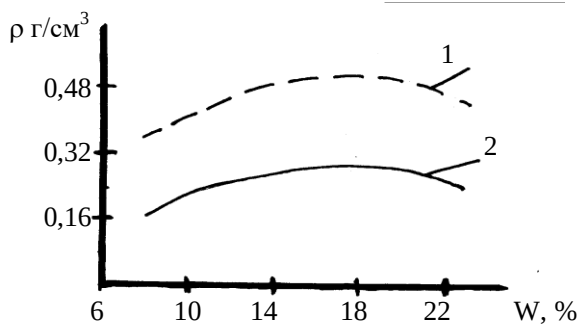


Рис. 6. Вплив ковзання пневматичних коліс на зміну щільності ґрунту ρ в залежності від вологості:

1. При ковзанні 30%. 2. Без ковзання.

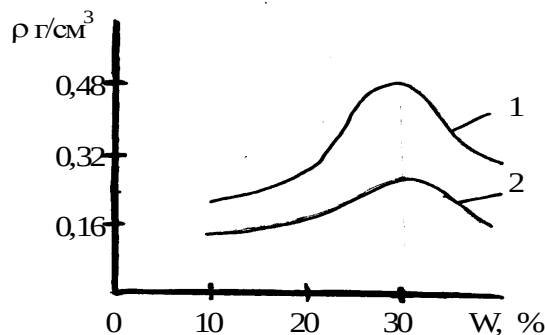


Рис. 7. Вплив буксування пневматичних коліс на зміну щільності ґрунту ρ в залежності від важкості ґрунту W :

від важкості ґрунту W :

1 – при буксуванні 30%; 2 – без буксування.

При збільшенні буксування з $\rho=14\%$, до $\rho=30\%$ глибина колії в два рази більше попередньої.

3. Головні фактори ущільнення ґрунту

Ущільненість ґрунту залежить від багатьох факторів, в тому числі від засобів механізації і технологічних процесів, що визначаються рівнем розвитку системи землеробства і технічного досягнення. Головні фактори, що впливають на ущільнення ґрунту, наведені структурною схемою рис. 1

Опади у вигляді дощу ущільнюють ґрунт завдяки ударах капель, запливання, додаткової маси. Ущільнення ґрунту збільшується по мірі збільшення кількості опадів. **Гравітація** – фактор, що впливає на ущільнення ґрунту по різному, так як залежить від вологи, складу ґрунту, температурних змін і т. ін.

Ходові системи засобів механізації в землеробстві мають різні конструктивні параметри, а тому ущільнюють ґрунт по різному. Гусеничні рушії менше ущільнюють ґрунт ніж колісні. Ходові системи тракторів у яких гусениці мають менший шаг, а опорні катки – меншу віддаль між собою здатні в меншій мірі ущільнювати ґрунт. Колісні ходові системи тракторів також мають різні конструктивні особливості і діють на ґрунт порізноmu (спарені колеса, шини розширеного профіля, шини високого чи низького тиску і т.п.). Від конструкції рушіїв залежать питомі навантаження на ґрунт, деформація його при буксуванні, що впливає на ущільненість ґрунту.

Маса трактора (с.г.м.) впливає на ущільнення ґрунту через питомий тиск.

Склад МТА впливає на ущільнення ґрунту через масу, тип рушіїв, кількість опорних систем, робочу ширину захвата агрегату, швидкість руху.

Вид технологічної операції впливає на ущільнення ґрунту через склад агрегатів, ширину захвата, період її виконання та стан ґрунту, повторність проходів агрегатів і т.ін. Повторність технологічної операції безпосередньо впливає на ущільнення ґрунту завдяки кількості проходів опорних систем тракторів і с.г.м.

Типи робочих органів визначаються видами технологічних операцій і впливають на ґрунт порізноmu завдяки властмвостей їх конструкції.

Загальна кількість води, що попадає на ґрунт, ущільнює його завдяки збільшення маси, запливання. Інтенсивність і вид зрошування впливають на кількість води і каплеутворення, що впливає на запливання ґрунту і енергію удара, а це значить і на ущільнення ґрунту.

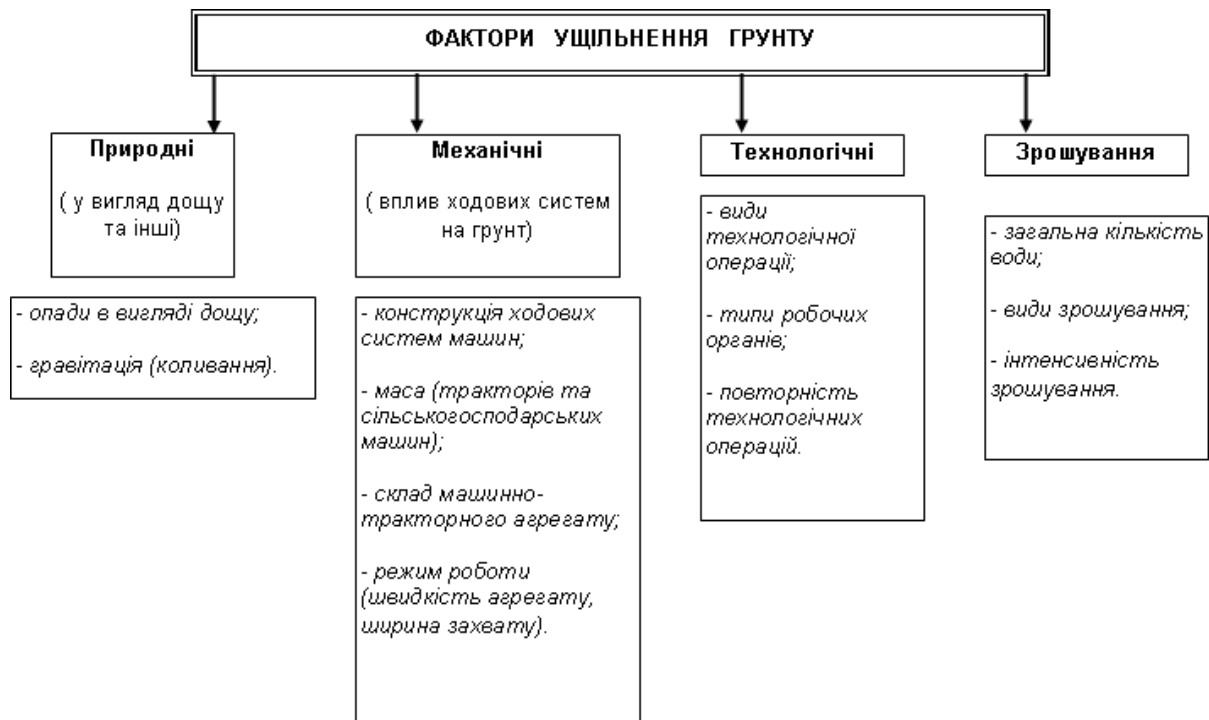


Рис. 8. Структура факторів ущільнення ґрунту в землеробстві

Наслідки ущільнення ґрунту

Ущільненість ґрунту призводить до багатьох наслідків, які в кінцевій формі впливають на зменшення родючості ґрунту і урожайності сільськогосподарських культур.

Серед багатьох факторів ущільнення ґрунту в значній мірі проявляються ті, що залежать від ходових систем тракторів і сільськогосподарських машин. Негативний вплив на фізичні властивості ґрунту завдають механічні засоби з великою вагою не дивлячись на показники питомого тиску їх на ґрунт. У зв'язку з цим виникає потреба в вирішенні багатьох протиріч при виборі засобів механізації для виконання технологічних операцій, так як відомо, що високопродуктивні машинотракторні агрегати мають достатньо велику масу.

НАСЛІДКИ УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТУ
1. <i>Збільшення об'ємної маси .</i>
2. <i>Зменшення пористості ґрунту..</i>
3. <i>Пошкодження структури ґрунту (в наслідок буксування).</i>
4. <i>Збільшення тягового опору.</i>
5. <i>Зменшення кількості живих організмів.</i>
6. <i>Збільшення витрат енергії .</i>
7. <i>Підвищення ерозії і дефляції (вивітрювання) ґрунту.</i>
8. <i>Зменшення вологості ґрунту.</i>

Допустимий рівень ущільнення ґрунту за критерієм урожаю

Щільність ґрунту в значній мірі впливає на урожайність культури, а тому показник щільності – об'ємна маса ґрунту повинен знаходитись в допустимих межах.

В більшості випадків під впливом ходових систем тракторів і сільськогосподарських машин ґрунт переущільнюється, що негативно впливає на урожайність культур.

В наведеному прикладу щільність ґрунту $1,30 \text{ г/см}^3$ є граничною (допустимою).

Дослідженнями наукових установ доказано, що щільність ґрунту один з вагомих і вирішальних факторів, які впливають на урожай. Для більшості сільськогосподарських культур оптимальна щільність ґрунту є $1,0...1,3 \text{ г/см}^3$. Щільність ґрунту залежить в значній мірі від питомого тиску ходових систем тракторів, а тому його значення встановлено ГОСТО-ом 26955-86 і для колісних тракторів дорівнює $0,12 \text{ МПа}$, для гусеничних – $0,10 \text{ МПа}$. Фактично питомий тиск існуючих тракторів перевищує вказані значення ($0,20...0,30 \text{ МПа}$ – для колісних, $0,15...0,20 \text{ МПа}$ – для гусеничних тракторів).

Глибина ущільнення ґрунту сучасними тракторами досягає 37...50 см і зберігається до трьох років. Ущільнення ґрунту залежить також і від коефіцієнта буксування, а тому його значення не повинно перевищувати 0,2.

Контрольні запитання:

1. Що таке буксування, як впливає на щільність ґрунтів.
2. Основна причина руйнівної механічної дії на рівноважну щільність ґрунту.
3. Які ж фактори впливають на руйнівну дію ґрунту при використанні МТА.

ЛЕКЦІЯ 6.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ВЗАЄМОДІЇ МАШИН З ҐРУНТОМ – ШЛЯХ СТВОРЕННЯ НОВИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАСОБІВ.

План лекції:

1. Вплив рушіїв на деформацію ґрунту в горизонтальній і вертикальній площині.
2. Вплив швидкості руху ходових систем на ущільнення ґрунту
3. Головні шляхи і способи зменшення ущільнюючої дії на ґрунт засобів механізації
4. Вплив ширини захвата агрегату на ущільнюючу дію на ґрунт

1. Вплив рушіїв на деформацію ґрунту в горизонтальній і вертикальній площині.

Як показують дослідження, щільність ґрунту по ширині захвату не однорідна. Як правило ядро ущільнюючого ґрунту знаходиться під рушієм трактора.

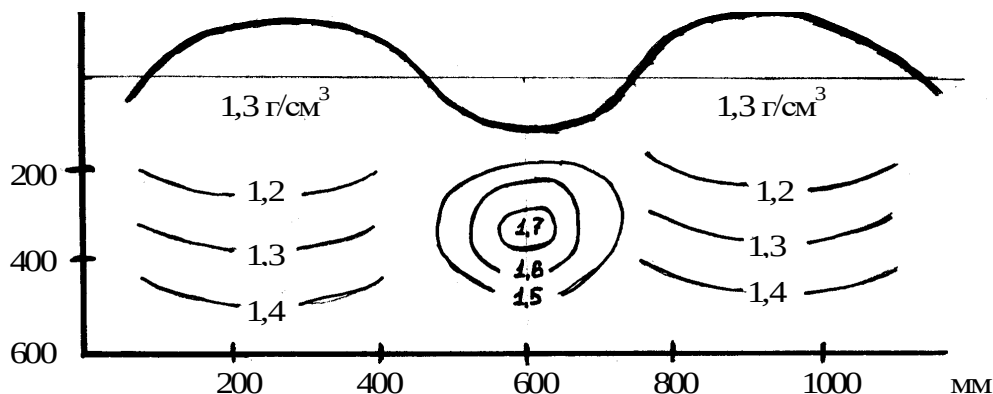


Рис. 1 Розподіл щільності ґрунту при вирощуванні картоплі після проходу колісного трактора.

Вплив кількості проходів агрегатів по одному сліду на зміну щільності ґрунту.

Багаторазовий прохід машинно-тракторних агрегатів (МТА) по одному сліду є одним із головних технологічних факторів механічного ущільнення ґрунту. У процесі взаємодії рушіїв техніки з ґрунтовим середовищем виникають нормальні та зсувні напруження, які спричиняють пластичну деформацію та ущільнення ґрунтового масиву.

Вплив кількості проходів агрегатів. Зі збільшенням кількості проходів техніки по одному сліду відбувається накопичення деформацій ґрунтового шару. Однак характер ущільнення має нелінійну залежність.

Експериментальні дослідження показують, що: перші 2–3 проходи спричиняють найбільше ущільнення; наступні проходи мають менший вплив, оскільки ґрунт наближається до стану максимальної щільності.

Для мінімізації негативного впливу багаторазових проходів техніки застосовують: оптимізацію технологічних маршрутів руху МТА; використання широкозахватних агрегатів; застосування систем контрольованого руху техніки (Controlled Traffic Farming); використання широкопрофільних шин або гусеничних рушіїв; зменшення кількості технологічних операцій.

Багаторазові проходи машинно-тракторних агрегатів по одному сліду призводять до інтенсивного ущільнення ґрунтового шару, що проявляється у зростанні об'ємної маси ґрунту, зменшенні пористості та погіршенні агрофізичних властивостей ґрунтового середовища.

Найбільший вплив на формування ущільнення мають перші проходи техніки, тоді як подальше збільшення кількості проходів спричиняє лише незначне зростання щільності. Оптимізація технологічних процесів і зменшення кількості проходів МТА є важливою умовою збереження структури ґрунту та підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва.

Таблиця 1.

Зміна щільності ґрунту в залежності від кількості проходів агрегату по одному сліду.

Марка трактора	Число проходів	Шар ґрунту	
		0 - 10	10 – 20
Контроль без ущільнення	0	1,31	1,45
ДТ – 75	1 - 3	1,35 - 1,4	1,48 - 1,49
Т – 150К	1 - 3	1,38 - 1,41	1,48 - 1,49
К – 701	1 - 3	1,38 - 1,44	1,52 - 1,52

Типова зміна щільності ґрунту залежно від кількості проходів агрегату наведена у таблиці.

Кількість проходів	Щільність ґрунту, г/см ³	Приріст щільності
0 (необроблений ґрунт)	1,10–1,20	—
1 прохід	1,20–1,30	+8–10 %
2 проходи	1,30–1,35	+12–15 %
4–5 проходів	1,35–1,40	+15–20 %

2. Вплив швидкості руху ходових систем на ущільнення ґрунту

Дослідженнями багатьох авторів доказано, що із збільшенням швидкості руху контактний тиск ходових систем тракторів на ґрунт змінюється.

Швидкість руху ходових систем машинно-тракторних агрегатів (МТА) є важливим технологічним параметром, який впливає на ступінь механічного ущільнення ґрунту. У процесі руху техніки навантаження від рушіїв передається на ґрунтове середовище, що призводить до виникнення напружено-деформованого стану ґрунтового шару.

Ущільнення ґрунту формується внаслідок дії вертикальних нормальних напружень і дотичних сил, які виникають у зоні контакту рушія з поверхнею поля.

Вплив швидкості руху на процес ущільнення. Швидкість руху МТА визначає тривалість контакту рушія з ґрунтовою поверхнею.

Залежність має такі особливості: при низьких швидкостях тривалість контакту шини з ґрунтом більша, тому виникає більш тривала дія навантаження; при збільшенні швидкості руху час контакту зменшується, що знижує ступінь статичної деформації ґрунту; при надмірно високих швидкостях можливе виникнення додаткових динамічних навантажень.

Таким чином, вплив швидкості руху має комбінований статично-динамічний характер.

Швидкість руху ходових систем машинно-тракторних агрегатів істотно впливає на інтенсивність ущільнення ґрунтового середовища, оскільки визначає тривалість контактної взаємодії рушія з ґрунтом і величину динамічних навантажень. Підвищення швидкості руху в межах оптимального технологічного діапазону сприяє зменшенню ступеня ущільнення ґрунту, тоді як надмірно низькі швидкості можуть призводити до підвищення об'ємної маси ґрунтового шару та погіршення його агрофізичних властивостей.

Так, за даними досліджень В. Ф. Бабкова встановлено, що чим більша швидкість руху автомобіля (ґрунт – важка супісь) тим менше стискуюче напруження в ґрунті (рис 2).

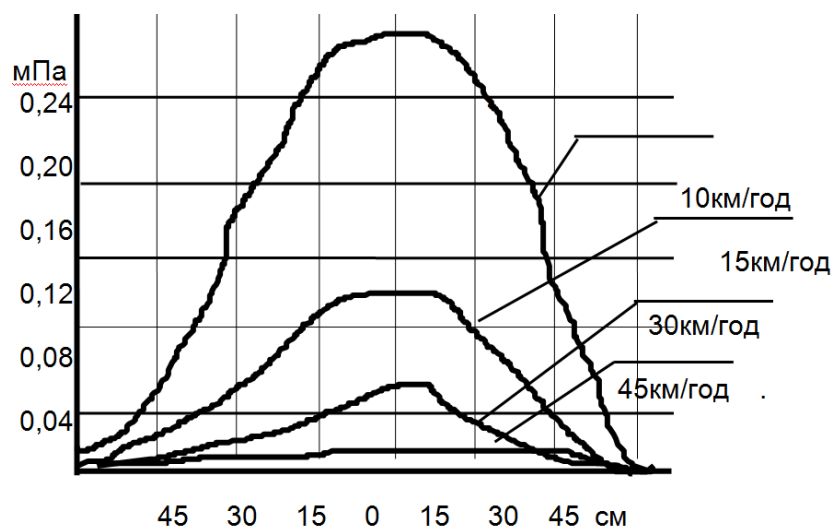


Рис. 2. Стиснюючі напруження в ґрунті (дорога) залежно від швидкості руху автомобіля

Типова залежність щільності ґрунту від швидкості руху агрегату наведена нижче.

Швидкість руху МТА	Щільність ґрунту
3–4 км/год	1,32–1,36 г/см ³
5–6 км/год	1,28–1,32 г/см ³
7–9 км/год	1,25–1,30 г/см ³

Рис. 3. Вплив швидкості руху на щільність

Вплив буксування ходових систем тракторів на ущільнення ґрунту.

За даними А.С. Кушнарєва ущільненість ґрунту залежить також від буксування коліс і гусениць трактора. Буксування ходових систем, як правило, збільшує ущільнення ґрунту, витрачаючи на це енергію. Цей негативний фактор проявляється в більшій мірі для коліс в порівнянні з гусеницями. Вплив буксування пневматичних коліс на ущільнення ґрунту представлено на рис. 4.

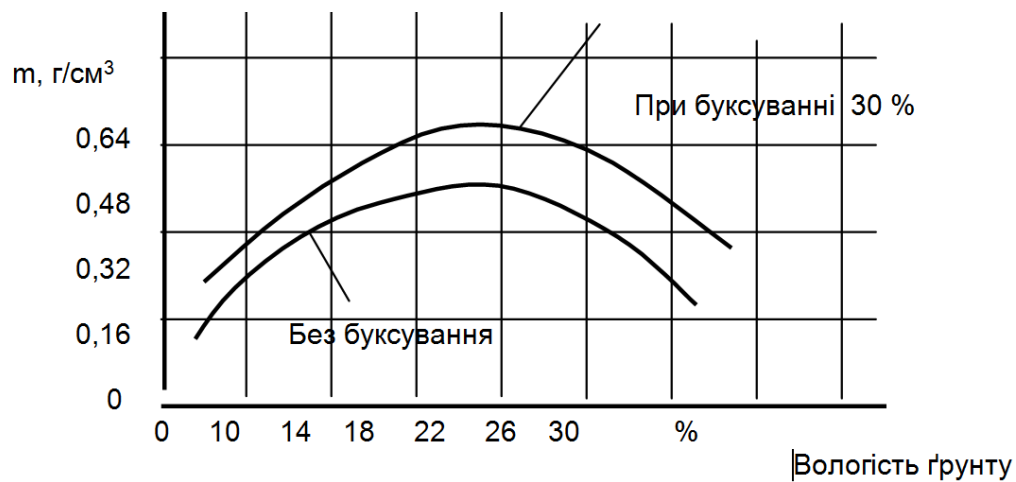


Рис. 4. Вплив буксування пневматичних коліс на ущільнення ґрунту.

При однакових умовах роботи, колісний трактор витрачає на деформацію ґрунту і буксування більше 47 % потужності двигуна (при швидкості руху 8 км/год), в той час як гусеничний трактор тільки 27 %.

3. Головні шляхи і способи зменшення ущільнюючої дії на ґрунт засобів механізації

Негативний вплив шкідливої дії ходових систем на ґрунт характеризується наступними даними:

середнє зниження урожайності сільськогосподарських культур досягає 15...25 %, збитки перевищують мільйони гривнів;

після роботи трактора типу ЮМЗ на 1 га поля залишається 14...15 т пилі;

щорічно з полів зноситься біля мільярду тон пилі;

питомий опір ґрунту із-за ущільнення збільшується в 1,5...1,8 разів, збільшення коштів на його обробіток складає 20...30 %, а перевитрати палива – 18 %.

На основі наведених даних намічені загальні напрямки удосконалення МТА і системи обробітку ґрунту, реалізація яких дозволить зменшити негативну дію на ґрунт ходових систем засобів механізації.

Використання апаратів і машин, що не впливають або дуже мало впливають на ґрунт (мостове рільництво, авіація, апарати на повітряних подушках) – радикальне рішення цієї проблеми. Використання перспективних, частково реалізуємих напрямків зменшення вредної дії на ґрунт ходових систем відноситься використання багатовісьних засобів ходових систем, здвоєних та зстроєних коліс мобільних енергетичних засобів при модульному агрегуванні.

Особливе місце займає покращення показників взаємодії коліс і гусениць з ґрунтом, так як це пов'язано з поліпшенням тягово-зчепних властивостей трактора.

Оцінка ступеня дії сільськогосподарської техніки на ґрунт ділиться на чотири групи критеріїв, головними з них є: *щільність складу, твердість і ступінь кришіння ґрунту, урожайність сільськогосподарських культур.*

Шляхи і способи зменшення рівня шкідливої дії машин на ґрунт умовно розподіляють на три групи: *агротехнічні, технологічні і*

конструктивні

Агротехнічні способи. Впровадження агротехнічної системи сприяє росту урожайності сільськогосподарських культур, зменшенню кількості і глибини обробіток ґрунту, суміщенню операцій в одному агрегаті чи в одній машині і використанню гербіцидів. Цю систему називають мінімальним обробітком ґрунту. Вона розвивається в трьох напрямках: заміна традиційного глибокого обробітку ґрунту поверхневим; часткова або повна заміна деяких видів механічного обробітку внесенням гербіцидів для знищення бур'янів; суміщення декількох технологічних операцій в один процес.

Для суміщення операцій використовуються комбіновані ґрунтообробні і посівні агрегати або машини з комбінованими робочими органами. Це зменшує кількість проходів машин по полям.

До агротехнічних прийомів відноситься розпушування ґрунту в слідах коліс і підорного шару.

Технологічні способи. До них відноситься використання широкозахватних агрегатів, вибір таких способів руху, при яких площа ущільненої поверхні мінімальна, впровадження мостового землеробства, секційних мобільних енергетичних засобів и модульного агрегування; використання агрегатів з активними робочими органами-рушіями.

Немало важним є правильний вибір способу руху агрегату по полю. Так, при сівбі зернових раціональним є човниковий спосіб руху МТА, при цьому довжина шляху поворотів найменша і рівномірно обробляються участки, не створюються клини, що потребують додаткових заїздів.

Існує, так званий, почерговий рух трактора і сільськогосподарської машини, тобто трактор не постійно тягне машину, а робить короткі зупинки через 20...30 м. На зупинках він закріплюється якорним пристроєм в ґрунт і підтягує машину за допомогою широкої стрічки або троса. До переваг такого способу відносяться: можливість зменшення маси трактора (сила зчеплення зупиненого трактора може перевищувати його масу в декілька разів); в

період підтягування машини ходова частина трактора не зношується, так як вона не навантажена; відсутнє буксування рушіїв, яке представляє собою вредний фактор дії на ґрунт сприяючий його розпушуванню, а також є причиною непродуктивних витрат потужності.

Мостове землеробство дозволяє зменшити шкідливу дію ходових систем на ґрунт і придати землеробству характер промисловості з максимальною механізацією, автоматизацією, комп'ютеризацією. Агромостава технологія може використовуватись при наступних передпосилках:

- маршрутизація руху МТА і технологічного транспорту по постійним коліям;
- обробка тільки зони розміщення рослин (доріжки не обробляються).

4. Вплив ширини захвату агрегату на ущільнюючу дію на ґрунт

Ущільнення ґрунту залежить, наряду від інших факторів, і від кількості проходів агрегатів на одиниці площі, що обумовлюється шириною їх захвату. Зазначена властивість агрегатів дозволяє *корегувати ущільнюючу дію на ґрунт* змінюючи їх ширину захвату.

Ширина захвату агрегату є важливим технологічним параметром машинно-тракторних агрегатів (МТА), який безпосередньо впливає на інтенсивність механічного ущільнення ґрунту. З інженерної точки зору ширина захвату визначає кількість проходів техніки по полю, а отже і площу ґрунтової поверхні, що піддається дії навантажень від ходових систем машин.

Вплив на агрофізичні властивості ґрунту.

Зменшення кількості проходів техніки сприяє: збереженню структури ґрунту; підтриманню оптимальної пористості ґрунтового шару; покращенню водопроникності; зменшенню опору проникненню коренів рослин.

Ширина захвату машинно-тракторного агрегату є одним із важливих технологічних параметрів, що визначає ступінь механічного ущільнення

грунту під час виконання польових робіт. Збільшення ширини захвату сприяє зменшенню кількості проходів техніки по полю, скороченню площі контакту ходових систем з ґрунтом та зниженню інтенсивності ущільнення ґрунтового шару, що позитивно впливає на збереження агрофізичних властивостей ґрунту та підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва.

Контрольні запитання:

1. Що таке буксування, як впливає на щільність ґрунтів.
2. Основна причина руйнівної механічної дії на рівноважну щільність ґрунту.
3. Які ж фактори впливають на руйнівну дію ґрунту при використанні МТА.

ЛЕКЦІЯ 7.

СИСТЕМА ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА.

ІСТОРИЧНА ДОВІДКА ВИНИКНЕННЯ СИСТЕМИ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА (СТЗ). МОНІТОРИНГ УРОЖАЙНОСТІ ПОЛІВ.

План лекції:

1. Суть застосування СТЗ.
2. Основні завдання, які вирішуються системою точного землеробства.

1. Суть застосування СТЗ.

Одна з головних рис сучасного стану землеробства в Україні – реструктуризація форм власності на землю та засоби виробництва сільськогосподарської продукції. Процес реструктуризації характеризується підвищенням відповідальності господаря землі за результати своєї діяльності як в аспекті фінансово–виробничої діяльності, так і в аспекті збереження родючості ґрунтів і оточуючого середовища. Це вимагає застосування нових систем ведення сільськогосподарського виробництва. Сучасний стан землеробства в більшості країн з високим рівнем розвитку сільського господарства (США, Канада, Німеччина та ін.) свідчить про стійку тенденцію застосування системи точного землеробства (СТЗ) – високоінтегрованої системи аналізу і синтезу технологій вирощування с.-г. культур та їх керуванням.



Суть застосування СТЗ полягає в тому, що кожен рік з сільськогосподарського поля збираються два врожаї – біологічний та інформаційний. Обидва “врожаї” пов’язані між собою в часі та просторі.

СТЗ зародилася в США близько 20

років тому після того, як уряд дозволив використовувати геовизначену інформацію з 24 військових супутників (супутники були спроектовані і виготовлені фірмою Rockwell) у цивільних цілях. Для цивільного користувача відкрився доступ до Глобальної Системи Позиціонування – ГСП. Клієнт такої системи має можливість зв'язатися з супутником і отримати інформацію з географічних координат свого місцезнаходження, швидкості переміщення і точного часу. Основна проблема точної навігації мобільних сільськогосподарських агрегатів пов'язана з тим, що дані про координати, що їх надають радіонавігаційні ГСП-супутники в трьох вимірах (широта, довгота і висота) в реальному часі і реальних світових координатах, несуть в собі декласифікаційні викривлення, які знижують точність визначення місцезнаходження до величини близько ± 50 метрів.

Такий діапазон похибки визначення координат МТА в полі для ведення точного землеробства неприйнятний. Тому, використовують технологію диференційної ГСП, яка включає в себе систему наземних стаціонарних станції, які обчислюють різницю між реальною (відомою для даної станції) і визначеною з супутників позиціями і передають цей сигнал корекції в ефір. Система ДГСП рухомого об'єкту приймає цей сигнал і декласифікаційні викривлення знімаються. ДГСП може забезпечити точність позиціонування в межах декількох сантиметрів, що достатньо для цілей точного землеробства.

Наявність геовизначеної інформації про стан поля дозволяє знайти точні шляхи по зниженню витрат на виробництво сільськогосподарської продукції та збільшенню прибутків. СТЗ дозволяє “бачити” окремі рівні картограм поля, а також аналізувати їх комбінації і таким чином визначати коротко– та довгострокову стратегію організації землеробства на даному конкретному полі. Така система організації землеробства забезпечує економію технологічних матеріалів (органічних та мінеральних добрив, насіння, пестицидів тощо) та енерговитрат на усіх технологічних операціях. Таким чином, за рахунок докорінного вдосконалення технологій

виращування сільськогосподарських культур система точного землеробства забезпечує оптимізацію процесів виробництва продукції рослинництва.

Система точного землеробства – це нова форма управління сільськогосподарським виробництвом, яка включає в себе використання нових ресурсозберігаючих технологій, використання сучасних засобів отримання і обробки інформації в форми, що дозволяють точніше і якісніше вести роботи підприємству.

2. Основні завдання, які вирішуються системою точного землеробства.

- Контроль використання високопродуктивної сучасної техніки (з допомогою системи GPRS – Global Positioning System – Система Глобального Позіціонування)
- Автоматизація процесів водіння техніки при виконанні технологічних операцій. Виключаються перекриття і прошуки між проходами агрегатів (використовується система GPRS.)
- Перехід до „прецезійного” землеробства. З’являється можливість вносити строго визначену кількість добрив, насіння на різні участки одного і того ж поля.
- Мінімальним „квантом” території, з яким має справу агроном стає не поле, а його окремих ділянок.
- Автоматичний моніторинг врожайності, складання карт урожайності поля.
- Складання ґрунтових карт господарств з використанням автоматичних ґрунтовідбірників, що використовують GPRS прийомники.
- Автоматичний моніторинг прогнозування погодних умов в господарстві. Складання прогнозів появи шкідників, хвороб і бур’янів на основі даних автоматичних метеостанцій і програмного забезпечення.
- Підготовка звітів для керівників господарств автоматична, на основі зібраних і нерадичійними методами даних, що різко підвищує їх достовірність, виключає вплив людського фактору.

- Накопичення і зберігання даних, що дозволяє відслідковувати динаміку процесів, а електронний формат – наглядність їх представлення.
- Відслідковування зміни стану поля і посівів на різних участках, що дозволяє визначити послідовності їх обробітку.
- Моніторинги попередження надзвичайних ситуацій (пожарів, повеней і др.)
- Багатофакторний аналіз і наглядне представлення зібраних даних, що дає можливість їх легко і швидко інтерпретувати.
- Контроль за використанням прийнятих рішень.

В основі ведення точного землеробства входять чотири основні складові.

Глобальна Позиційна Система (GPRS) включає в себе 24 космічних супутники, що рухаються навколо Землі, яка дозволяє при наявності спеціальних приймаючих пристроїв (антени і ресивера) з високою точністю (до 5 – 10 см) визначити місцезнаходження будь-якого об'єкту. Для отримання цієї інформації необхідно встановити прилади на техніку, що експлуатується і підключитись до системи GPRS. Система супутників дозволяє отримати точну інформацію про координати, а відповідно і швидкості об'єкта. Еквівалентом даної системи є розробка колишнього Радянського Союзу ГЛОНАС. В теперішній час ця система центром управління СН. Вона складається з 24 супутників, які забезпечують обхват земної кулі.

Друга складова включає в себе датчики, або сенсори, що служать для визначення різних матеріалів. Їх дія ґрунтується на дії електромагнітних, інфрачервоних хвиль, ультразвуку, та використанні мультиспектральних камер, вони дають можливість визначити шаги параметрів як врожайність зернових, склад азоту в ґрунті і, її вологість, біомасу і види бур'янів.

Одним з найбільш поширених і вже використовуваних на практиці є сенсор врожайності.

Врожайність сільськогосподарської культури на різних участках поля не

буває однаковою. Тому така величина, як врожайність в ц/га, на несе достатньої інформації для виявлення причин варіабельності врожаю в межах одного поля. Для цього необхідний прилад, для визначення врожайності культури в режимі безпосередньої роботи комбайна (режим ON-Лайн).

В теперішній час подібними сенсорами обладнані всі моделі сучасних зернозбиральних комбайнів фірми „Class”, «Massey Ferguson», «John Deere». При встановленні GPRS обладнання, збираючи інформацію про знаходження комбайна і врожайність, можна визначити врожайність влюбій точці поля і влюбий час.

Важливим питанням в с.-г. є внесення азотних добрив, при неправильному внесенні їх в ґрунт в рослині накопуються нітрати.

Для внесення дійсно необхідної норми азотних добрив в режимі „ON-лайн” використовується N-сектор. Принцип дії цього приладу в розпізнаванні ультрафіолетових хвиль, які поглинаються рослинами. Чим більший вміст азоту, тим ступінь поглинання вища. Світло, що не поглинулось, а відбилося фіксується світловими сенсорами, якими обладнаний агрегат, вони визначають кількість азоту в рослинах. Інформація поступає на бортовий комп'ютер, що управляє розкиданням добрив.

Третя складова – GIS – Географічна інформаційна система яка слугує для перетворення зібраної інформації з допомогою сенсорів на бортовому комп'ютері в форму прийнятну для читання.

Географічна інформаційна система – це сукупність технічних засобів, програмного забезпечення і інформації, які дозволяють зберігати, обробляти отримані дані і видавати їх в більш прийнятній формі – у вигляді таблиць і аплікаційних карт. З допомогою GIS можна отримати карти врожайності культур, в яких наглядно видно, на якому участку поля високий врожай, а на якому низький. Маючи такі карти поживних речовин, вологості, води ґрунтів, біомаси фермеру легше прослідити причини зміни.

Четверта складова – Інформаційно-обчислювальний центр. Завдання якого збір інформації, що фіксується сенсорами. Дані необхідні для

створення карти пам'яті, з якої дані переносяться в бортовий комп'ютер. На бортовому комп'ютері фермери встановлюється норми висіву і автоматично вводиться користування в залежності від вологості ґрунту. Тобто на участках поля, де вологість достатня, посів буде виконуватись при встановленні норми висіву, а це значення вологості відрізняється від допустимої, норма висіву буде змінена автоматично.

Етапи впровадження СТОЗ (системи точного землеробства)

- Створення високоточних електронних карт господарства з виконанням спеціального програмного забезпечення і системи супутникових навігаційних приймачів.

- Роботи по відборі і аналізу ґрунтових проб з GPRS прив'язкою і створення електронного шару

- Ґрунтової карти господарства;

- Адаптація і впровадження системи паралельного водіння техніки. Організація прийому диференційованих поправок супутникового регіону. Впровадження системи автопілотування сільськогосподарських агрегатів.

- Впровадження системи моніторингу рухомих об'єктів (авто і сільськогосподарської техніки) з використанням GPRS сигналів.

- Впровадження системи моніторингу врожайності на комбайнах з визначенням маси, вологості зібраного зерна в кожному сегменті поля в режимі реального часу.

- Створення електронного шару – карти врожайності полів господарства на основі моніторингу врожайності.

- Адаптація програмного забезпечення по прогнозуванню появи бур'янів і шкідників і хвороб сільськогосподарських культур.

- Впровадження систем диференційного внесення добрив і засобів захисту рослин.

Моніторинг урожайності у системі точного землеробства — це інженерно-технологічний процес безперервного вимірювання, реєстрації та

просторового аналізу кількісних показників урожайності сільськогосподарських культур під час збирання врожаю, що здійснюється за допомогою датчиків урожайності, систем глобального позиціонування (GPS/GNSS) та комп'ютерних систем обробки даних.

Основною метою моніторингу є визначення просторової неоднорідності продуктивності поля та формування цифрових карт урожайності, які використовуються для оптимізації агротехнологічних рішень.

Технічна структура системи моніторингу урожайності.

Система моніторингу урожайності інтегрується у зернозбиральний комбайн і складається з таких основних елементів:

- датчик масової витрати зерна;
- датчик вологості зерна;
- датчик швидкості руху комбайна;
- GNSS-приймач (GPS/GLONASS);
- бортовий комп'ютер (контролер);
- система збереження та передачі даних.

Під час роботи комбайна зерно транспортується елеватором зернового бункера, де встановлюється датчик потоку зернової маси.

Датчик реєструє: масову витрату зерна; швидкість руху машини; географічні координати.

Зібрані дані інтегруються з координатами GNSS та формують карту просторового розподілу урожайності поля.

Карта урожайності відображає: ділянки високої продуктивності; зони середньої продуктивності; ділянки зниженої урожайності.

Ці карти використовуються для: аналізу родючості ґрунтів; планування диференційованого внесення добрив; оптимізації агротехнологій.

Моніторинг урожайності полів у системі точного землеробства є інтегрованою інформаційно-вимірювальною технологією, що базується на використанні датчиків масового потоку зерна, систем супутникового

позиціонування та бортових комп'ютерних систем, які забезпечують оперативне визначення просторової неоднорідності урожайності та формування цифрових карт продуктивності агроценозу. Отримані дані є основою для диференційованого управління агротехнологічними процесами та підвищення ефективності використання ресурсів у сільському господарстві.

Контрольні запитання:

1. Основні завдання, що вирішується системою точного землеробства.
2. Що таке Система Глобального позиціонування?
3. Що таке „Прицезійне” землеробство?
4. Як здійснюється моніторинг врожайності?
5. Автоматичні ґрунтовідбірники, мета використання.
6. Мета застосування GPRS.
7. Що входить в основу ведення точного землеробства.
8. Що таке система ГЛОНАС?
9. На яких властивостях працюють датчики визначення основних показників поля (вирогідності, огляду мінеральних компонентів, вологості, бур'янів).
10. Для чого використовується Географічна Інформаційна система?
11. Етапи впровадження системи точного землеробства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: Навч. посібник О.М. Царенко, С.С. Яцун, М.Я. Довжик, Г.М. Олійник; За редакцією С.С. Яцуна. – К.: Аграрна освіта, 2000. – 243 с.
2. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: Практикум: Навч. посібник Д.Г. Войтюк, О.М. Царенко, С.С. Яцун, М.Я. Довжик, Г.М. Олійник; За редакцією С. С. Яцуна. – К.: Аграрна освіта, 2000. – 93 с.
3. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: Підручник: О.М. Царенко, Д. Г. Войтюк та ін.; За редакцією С.С. Яцуна. – К.: Мета, 2003. – 448 с.
4. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: Практикум: Навч. посібник С.С. Яцун, М.Я. Довжик, Г.С. Головченко, О.М.Калнагуз, Ю.В. Сіренко; За редакцією С. С. Яцуна. – Суми.: СНАУ, 2011. – 143 с.
5. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів : Курс лекцій. / К. М. Думекно, І. С. Павлюченко. –Миколаїв : МНАУ, 2014. – 39с.
6. Злакові силоси — перспектива для виробництва біогазу. <https://propozitsiya.com/ua>. Головна / Статті / Агробізнес / Злакові силоси — перспектива для виробництва біогазу. 17.10.2022. URL: <https://propozitsiya.com/ua/zlakovi-sylosy-perspektyva-dlya-vyrobnyctva-biogazu> (дата звернення: 03.02.2025).
7. Пугач А. М., Кобець О. М., Лепеть Є. І. Система «Машина-Поле»: навч.посіб. Дніпро: ДДАЕУ, Дніпро : Журфонд, 2025. 166.с. https://dspace.dsau.dp.ua/bitstream/123456789/13013/1/%D0%9F%D0%BE%D1%81%D1%96%D0%B1%D0%BD%D0%B8%D0%BA_%D0%A1%D0%9C%D0%9F%20%D0%B7%20ISBN.pdf
8. Основи інженерних методів розрахунків на міцність і жорсткість.

Ч. І, ІІ: Підручник/ Г.М. Калетнік, М.Г. Чаусов, В.М. Швайко, В.М. Пришляк, А.П. Пилипенко, М.М. Бондар. За ред.. Г.М. Калетніка, М.Г. Чаусова. – К.: «Хай-Тек Прес», 2011. – 616 с

9. Кукурудза для виробництва біогазу. <https://agro-business.com.ua/>. Журнал “Агробізнес Сьогодні”. Статті/Агрономія Сьогодні.. 06.07.2020. URL: <https://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/18103-kukurudza-dlia-vyrobnytstva-biohazu.html> (дата звернення: 03.02.2025).

10. Біогазові технології в Україні встановлення та робота біогазових установок. URL: https://cba.org.ua/one/images/stories/CBA_news/Innovations_in_CBA/Budivnyctvo_i_ekspl_Biogas_2011.pdf.

11. Мостова М. Сфера біогазу в Україні: великі перспективи та реальність. Коаліція «Енергетичний перехід». Аналітика. 09.04.2020. URL: <https://energytransition.in.ua/sfera-biohazu-v-ukraini-velyki-perspektyvy-ta-realnist/> (дата звернення: 03.02.2025).

12. Пугач А. М., Кобець О. М., Лепеть Є. І. Система «Машина-Поле»: навч. посіб. Дніпро: ДДАЕУ, Дніпро : Журфонд, 2025. 166.с.

13. Калетнік Г.М., Пришляк В.М. Біопалива: ефективність їх виробництва та споживання в АПК України. Навч. посібник. – К: Аграрна наука, 2010. – 327 с.

14. Аналіз, класифікація та використання простих біогазових установок. URL: <https://socrates.vsau.org/repository/getfile.php/3582.pdf>.

15. Журнал «Агроексперт» [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. – Режим доступу: <http://www.agroexpert.ua/>

16. Журнал «Агроном» [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. – Режим доступу: <http://agronom.com.ua/>

17. Журнал «Пропозиція» [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. – Режим доступу: <http://www.propozitsiya.com/>

18. Журнал «Зерно» [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. – Режим доступу: <http://www.zerno-ua.com>

19. Кобець А. С., Деркач О. Д., Макаренко Д. О. *Машиновикористання в рослинництві (енергетичний аналіз) : навч. посіб.* Дніпро: Журфонд, 2025. 126 с. – Режим доступу : <https://dspace.dsau.dp.ua/handle/123456789/13210>

20. Світові системи землеробства. Конспект лекцій для студентів спеціальності 201 “Агрономія” освітнього ступеня “Магістр” денної та заочної форми навчання. – Вінниця, 2016 – 200 с.

21. СИСТЕМА ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА. Навчальний посібник.. URL: <https://sgm.kntu.kr.ua/file/content/11695/systema-tochnoho-zemlerobstva-navchalnyi-posibnyk-aniskevych-l-v-sviren-m-o-brovarets-o-o-kovalenko-m-m-kosenko-i-m-kropyvnytskyi-kod-2016-125-s-.pdf>.

22. Методичні вказівки до виконання ЛПЗ з дисципліни «Інформаційні технології та системи точного землеробства»/ укл.: Б.О. Саржанов. - Суми, 2024. – 44 с. URL: <https://itf.snau.edu.ua/wp-content/uploads/2025/04/%7.pdf>.

23. Холодюк О.В. Система точного землеробства: методичні вказівки з організації самостійної роботи для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 208 – "Агроінженерія" освітнього рівня "Бакалавр" // О.В. Холодюк. – Вінниця:ВНАУ, 2020. – 68 с.
<http://socrates.vsau.org/b04213/html/cards/getfile.php/27870.pdf>

ШУЛЯК МИХАЙЛО ЛЕОНІДОВИЧ
САРЖАНОВ БОГДАН ОЛЕКСАНДРОВИЧ
КАЛНАГУЗ ОЛЕКСІЙ МИКОЛАЙОВИЧ
БАТЮК ЛЮДМИЛА МИКОЛАЇВНА

СИСТЕМА МАШИНА-ПОЛЕ

Конспект лекцій

**для здобувачів 4 та 3 с.т. курсу освітньої програми «Агроінженерія»
денної та заочної форм здобуття освіти ступеню вищої освіти «бакалавр»**

Суми, РВВ, Сумський НАУ, вул. Герасима Кондратьєва, 160

Підписано до друку „ ____ “ березня 2026 рік. Тираж 50 прим.
Гарнітура Times New Roman. Умовн. друк. арк. 2,7. Формат А5. Замовл. __.
