

**Лук'янчук О. П., к.т.н., доцент, Рокочинський А. М., д.т.н., професор**  
(Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, о.р.lukyanchuk@nuwm.edu.ua)

### **ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ УДОСКОНАЛЕННЯ ГЛИБОКОГО РОЗПУШЕННЯ ОСУШУВАНИХ МІНЕРАЛЬНИХ ҐРУНТІВ ЗА КРИТЕРІЄМ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ**

Освоєння енергозберігаючих технологій виробництва продукції рослинництва є одним з пріоритетних напрямів розвитку АПК. Найбільш універсальним показником при цьому є критерій енергоефективності. У випадку здійснення глибокого розпушення у складі меліоративної системи як складної природно-технічної еколого-економічної системи сукупність різних видів техногенної і природної енергій через системні енергетичні перетворення визначає кінцевий енергетичний ефект у вигляді приросту врожайності аграрних культур. Формалізовано і проаналізовано складові ланцюга перетворення енергії і речовини від робочого органу глибокорозпушувача до приросту врожаю за структурно-ієрархічною схемою виду: конструкція ↔ технологія ↔ режим ↔ ефект. Визначено, що конструктивне врахування закономірностей взаємозв'язку зміни параметрів водно-фізичних властивостей ґрунтового середовища зі зміною параметрів його макроструктури та реалізація енергоощадних видів деформації й особливостей способів глибокої розробки ґрунту в конструкції робочих органів та ґрунторозпушувального агрегату в цілому є визначальними складовими енергетичного критерію. Тому вони мають бути основою інноваційних ресурсозберігаючих енергоефективних та вологорегулюючих принципів удосконалення технологій та технічних засобів глибокого розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів меліоративних систем для підвищення їх ресурсної та еколого-економічної ефективності щодо змінюваних сучасних умов та вимог.

*Ключові слова:* удосконалення; технологія; технічні засоби; глибоке розпушення; осушуваний ґрунт; енергетичний критерій.

**Постановка проблеми.** Система обробітку ґрунту визначає умови росту і розвитку сільськогосподарських культур. Нині велику увагу приділяють удосконаленню способів і систем механічного обробітку ґрунту та впровадженню системи технічних засобів, які якісно реалізують технологічні процеси та операції обробітку ґрунту.

Освоєння енергозберігаючих технологій виробництва продукції рослинництва є одним з пріоритетних напрямів розвитку АПК. Водночас першочерговими за актуальністю задачами є енергетична оцінка технологій та зниження енерговитрат машинно-тракторних агрегатів. Енергетична оцінка дозволяє визначити прямі та непрямі витрати енергії при виконанні робіт виробництва продукції рослинництва [1; 2].

Підвищення енергетичної ефективності сільськогосподарської техніки та агрегатів є складною задачею через багатоступінчастість її структури та великої кількості керованих й некерованих показників, що впливають на процес функціонування [2].

Вивчаючи взаємозв'язок кількості витрат енергії палива з параметрами, режимами роботи машинно-тракторних агрегатів, умовами експлуатації, потрібно акцентувати увагу на зв'язках, факторах, що визначають зміну витрат енергії палива в одиницю часу роботи агрегату на одиницю його продуктивності [2].

Багаторічними дослідженнями встановлено, що вплив агротехнічних заходів обробітку ґрунту на врожайність сільськогосподарських культур складає до 20% від загального впливу всіх технологічних процесів [3].

Енергетичним оцінюванням технологічних процесів в рослинництві займаються досить давно. Енергетична оцінка дозволяє порівнювати різні технології виробництва сільськогосподарської продукції з погляду витрат енергетичних ресурсів, визначити структуру потоків енергії в агроекосистемах і виявити головні резерви економії технічної енергії в землеробстві. Визначення енергії (як затраченої, так і одержаної) дає можливість кількісно оцінити енергетичну ефективність вирощування агрокультур [4].

Незважаючи на значну кількість досліджень у напрямку скорочення витрат енергії на обробіток ґрунту, питання залишається актуальним, а з урахуванням необхідності впровадження ресурсозберігаючих та ґрунтозахисних технологій, доцільною є оцінка енерговитрат у вигляді розгляду енергетичних критеріїв.

**Аналіз останніх досліджень.** При аналізі досліджень вчених щодо оцінки енергетичної ефективності технологій вирощування агрокультур встановлено, що насамперед у них робиться акцент на висвітлення сутності категорій і показників енергетичної оцінки [5], особливостей енергозбереження [6], енергетичний аналіз складових інтенсивних механізованих технологій [7]. У проведених дослідженнях поняття енергетичної ефективності різняться між собою, як і їх точки зору на показники, що характеризують енергетичну ефективність виробництва агропродукції.

Важливим питанням є підвищення окупності витрат енергії за рахунок використання ресурсощадних технологій та наукового обґрунтування кожного з елементів технологій [8].

Оцінювання технологій за сучасними методиками передбачає використання енергетичних еквівалентів техніки, речовин, добрив, матеріалів [9].

Енергетичний критерій може бути також і найбільш універсальним критерієм здійснення вдосконалення технологій та технічних засобів глибокого розпушення мінеральних ґрунтів у складі меліоративної системи як складної природно-технічної еколого-економічної системи за інноваційними ресурсозберігаючими енергоефективними та вологорегулюючими принципами [10–12].

Для практичної реалізації такої задачі необхідно формалізувати енергетичні взаємозв'язки її різномірних складових. При чому найбільш детальній формалізації підлягають параметри технічної (конструкція) і технологічної підсистем: конструкція робочих органів, переміщення агрегату з необхідним тяговим зусиллям, фізична дія на ґрунт, фізико-механічні та водно-фізичні властивості ґрунту, сприйняття природних опадів, поливу тощо.

Подібну задачу вирішував В. І. Ветохін [13; 14] на основі розгляду узагальнюючої картини енергетичних процесів у системі виду: «джерело енергії ↔ розпушувач (знаряддя) ↔ ґрунт», з виходом на врожайність вирощуваних культур і оцінку загальної енергоефективності системи в цілому використавши альтернативну систему  $LT$ -розмірностей фізичних величин Р. Л. Бартіні.

За його твердженнями у загальному вигляді обмін енергією і речовиною здійснюються одночасно і супроводжуються зміною структури й складу ґрунту, що змінює плин обмінних процесів між ґрунтом і навколишнім середовищем й усередині ґрунту. Певний обсяг обмінних процесів формує врожай (рисунок) [13].

Механічний обробіток ґрунту змінює кількісне значення параметрів стану ґрунту і, таким чином, є **одним із засобів керування станом ґрунту**.

Оцінку якості роботи і енерговитрат ґрунтообробних знарядь необхідно проводити не тільки на основі показників властивостей ґрунту (ступінь подрібнення, зміна щільності, твердості, вологості), а також на основі параметрів, які безпосередньо визначають врожайність, тобто показників енерго- і масообміну.



Рисунок. Узагальнена схема технологічного процесу обробітку ґрунту для отримання врожаю за В. І. Ветохіним

Зниження витрат матеріальних та енергетичних ресурсів можливо досягти за рахунок використання особливостей міцнісних та деформаційних властивостей ґрунтового середовища, а також зменшення долі техногенної енергії за рахунок природної енергії і речовини.

**Методика досліджень.** За аналогією та на відміну від підходу В. І. Ветохіна розгляд причинно-наслідкових зв'язків різнорідних параметрів глибокого розпушення у складі меліоративної системи як складної природно-технічної еколого-економічної системи відбувається на енергетичній основі за структурно-ієрархічною схемою виду: *конструкція ↔ технологія ↔ режим ↔ ефект* [12].

В такому разі **сукупність різних видів техногенної і природної енергій через системні енергетичні перетворення визначає кінцевий енергетичний ефект у вигляді приросту врожайності аграрних культур**.

**Результати досліджень.** Керуючись положеннями загальної теорії систем про взаємозв'язок її складових, враховуючи вид та структуру нашої системи, покажемо ланцюг перетворення (переходу) енергії і речовини від робочого органу глибокорозпушувача до приросту врожаю. Для цього запишемо параметри ланцюга перетворен-

ня енергії (роботи  $A$  [ $M^2 \cdot кг / c^2$ ]), використовуючи класичну систему  $LMT$  розмірностей фізичних величин (таблиця).

Робота ґрунторозпушувального агрегату представляє з себе перетворення внутрішньої енергії палива у механічну енергію руху по полю із необхідним тяговим зусиллям для забезпечення фізичного впливу на ґрунтовий шар.

$$A_{грп}[L^2 M^1 T^{-2}] = P_{т}[L^1 M^1 T^{-2}] \cdot v[L^1 T^{-1}] \cdot t[T^1], \quad (1)$$

де  $P_{т}[L^1 M^1 T^{-2}]$  – тягове зусилля для подолання загального опору руху;  
 $v[L^1 T^{-1}]$  – швидкість руху ґрунторозпушувального агрегату;  
 $t[T^1]$  – тривалість руху ґрунторозпушувального агрегату.

Таблиця

Формалізація перетворення енергії в меліоративній системі при застосуванні глибокого розпушення

<b>Конструкція</b>	<b>Технологія</b>	<b>Режим</b>	<b>Ефект</b>
техногенна енергія	→ природні енергії ґрунту та води	→ регулювання потоків енергії	→ енергія агрокультур
Робота ґрунторозпушувального агрегату	Робота по формозміні шару і структури ґрунту для акумуляції вологи (опаді, полив)	Робота техногенних і природних факторів	Приріст врожайності
$A_{грп}[L^2 M^1 T^{-2}]$	$A_p[L^2 M^1 T^{-2}] + E_b[L^2 M^1 T^{-2}]$	$A_{т}[L^2 M^1 T^{-2}] + A_{н}[L^2 M^1 T^{-2}]$	$\Delta W[L^2 M^1 T^{-2}]$

Фізичний вплив на ґрунтовий шар визначає роботу  $A_p$  по формозміні шару і макроструктури ґрунту включає в себе затрати енергії на формозміну шару ґрунту – процес *розпушення* та утворення нових поверхонь структурних макроагрегатів у шарі ґрунту – процес *подрібнення*. Ці дії створюють умови для сприйняття природних опадів з акумулюванням їх енергії  $E_b$  в продуктивному шарі ґрунту.

$$A_p[L^2 M^1 T^{-2}] = \sigma_p[L^{-1} M^1 T^{-2}] \cdot \Delta V_{грп}[L^3], \quad (2)$$

де  $\sigma_p[L^{-1} M^1 T^{-2}]$  – межа міцності ґрунту;

$\Delta V_{грп}[L^3] = F_{грп}[L^2] \cdot L[L^1]$  – зміна об'єму шару ґрунту при зростанні площі вільної поверхні часток ґрунту;

$F_{грп}[L^2]$  – зміна площі поперечного перерізу шару ґрунту;

$L[L^1]$  – довжина шляху руху.

Сукупна залежність перетворення техногенної та природної енергії (роботи) при глибокому розпушенні ґрунту в складі меліоративної системи має вигляд

$$P_T[L^1M^1T^{-2}] \cdot v[L^1T^{-1}] \cdot t[T^1] \rightarrow \sigma_p[L^{-1}M^1T^{-2}] \cdot \Delta V_{gp}[L^3] + E_b[L^2M^1T^{-2}] \rightarrow \\ \rightarrow A_T[L^2M^1T^{-2}] + A_n[L^2M^1T^{-2}] \rightarrow \Delta W[L^2M^1T^{-2}], \quad (3)$$

де  $E_b[L^2M^1T^{-2}]$  – хімічна енергія води акумульованої в розпушеному ґрунті;

$A_T[L^2M^1T^{-2}]$  – робота техногенних режимних факторів;

$A_n[L^2M^1T^{-2}]$  – робота природних режимних факторів;

$\Delta W[L^2M^1T^{-2}]$  – приріст енергії врожаю агрокультур.

У записану залежність (3) входять параметри, що у загальному вигляді визначають параметри ґрунторозпушувального агрегату та процесу розпушення ґрунту. Виходячи з аналізу цієї залежності, шляхи підвищення загальної енергоефективності та зниження витрат ресурсів складаються з наступних компонентів: зменшення кожної складових, що відносяться до конструкції та форми робочих органів та ґрунторозпушувального агрегату в цілому (геометрія форм, силові компоненти, кінематика), використання особливостей міцнісних властивостей ґрунту (види деформаційного впливу), підвищення ККД робочого процесу, заміщення частки техногенної енергії природною енергією (акумулювання природних опадів).

Параметри енергоємності та параметри водно-фізичних властивостей ґрунту пов'язані через параметри макроструктури ґрунту. Чим дрібніша структура ґрунту, тим більше зростає її вплив на ґрунтову фільтрацію та зростають вологоакумулюючі властивості, але одночасно і значно зростають енергозатрати на їх досягнення.

Отже, існує об'єктивна доцільність дослідження закономірностей взаємозв'язку зміни параметрів водно-фізичних властивостей ґрунтового середовища зі зміною параметрів його макроструктури.

Фізико-механічні та водно-фізичні властивості ґрунту проявляються у процесі його взаємодії з ґрунторозпушувальним агрегатом як сукупності робочих органів та окремо з кожним робочим органом зокрема. Звідси виникає необхідність аналізу явищ і процесів у ґрунті під дією робочих органів та ґрунторозпушувального агрегату в цілому.

ККД робочого та технологічного процесів залежить від адаптованості форм робочих органів та ґрунторозпушувального агрегату в

цілому до властивостей робочого середовища їх взаємодії (ґрунту). Для більш детального розгляду умовно можна виділити дві фізично подібні підсистеми: *ґрунтове середовище – робочий орган* та *ґрунтове середовище – ґрунторозпушувальний агрегат*. Через їх повну фізичну подібність розглянемо їх у сукупності.

В загальній теорії систем критерій адаптації процесу визначається зміною енергії процесу в одиницю часу. Зміна енергії  $dA/dt$  процесу в підсистемі *ґрунтове середовище – робочий орган (агрегат)* визначається наступним чином

$$\frac{dA}{dt} = \eta \left( \frac{dE}{dt} \right) + E \left( \frac{d\eta}{dt} \right), \quad (4)$$

де  $\eta=A/E$  – ККД використання енергії, що потрапляє в підсистему;

$A$  – енергія, що здійснює корисну роботу в підсистемі;

$E$  – енергія, яка потрапляє в підсистему;

$dE/dt$  – зміна надходження енергії в підсистему;

$d\eta/dt$  – зміна ККД використання енергії, що потрапляє в підсистемі.

Підсистема вважається прогресивною, якщо  $dA/dt > 0$ . Це можливо, якщо зростає потік енергії в підсистемі, тобто  $dE/dt > 0$ , а ККД не змінюється  $d\eta/dt = 0$  – випадок «екстенсивного» розвитку системи. У нашому випадку потік енергії від джерела енергії (тягача) постійний, тобто  $dE/dt = 0$ , тому адаптація підсистеми можлива за рахунок вдосконалення механізмів використання енергії, тобто при зростанні ККД –  $d\eta/dt > 0$ .

Таким чином, адаптація підсистем робочого та технологічного процесів має відбуватися в напрямку підвищення їх ККД завдяки врахуванню особливостей фізико-механічних та водно-фізичних властивостей ґрунту, а саме: енергоємності зміни стану ґрунту у різних фізичних, меліоративних та екологічних станах.

Зміна ККД відбувається за рахунок зміни способів і послідовності впливу на шари ґрунту та зміни механізму перерозподілу напружень їх деформації від пластичного до крихкого руйнування. При підвищенні ККД непродуктивні втрати енергії в підсистемі *ґрунтове середовище – робочий орган (агрегат)* зменшуються, а енергія, що надходить, витрачається на подальшу зміну параметрів основної системи – подрібнення і переформатування макроструктури ґрунту із фор-

мозміною його продуктивних шарів при здійсненні глибокого розпушення в складі меліоративної системи.

Функцію регулятора ККД в підсистемі *грунтове середовище – робочий орган (агрегат)* насамперед виконують форма і параметри робочого органа та ґрунторозпушувального агрегату в цілому як сукупності робочих органів, що визначає необхідність і доцільність подальшого підвищення їх енергоефективності при реалізації вологорегулювання в розпушеному ґрунті.

Механічне переформатування макроагрегатного та гранулометричного складу ґрунтового масиву робочими органами ґрунторозпушувального агрегату з перерозподілом згідно технологій по шарах та по площі меліорованого поля через регульовальний вплив на воднофізичні властивості ґрунту є визначальним для створення технологічних і фізичних передумов встановлення сприятливих водноповітряного та природно-меліоративного режимів, а отже, отримання позитивних економічного та екологічного ефектів.

**Висновок.** Технологічно-конструктивне врахування закономірностей взаємозв'язку зміни параметрів водно-фізичних властивостей шарів ґрунтового середовища зі зміною параметрів його макроструктури, реалізація енергоощадних видів деформації й особливостей способів глибокої розробки ґрунту в конструкції робочих органів та ґрунторозпушувального агрегату в цілому є визначальними складовими енергетичного критерію. Тому вони мають бути **основою** інноваційних ресурсозберігаючих енергоефективних та вологорегулюючих принципів удосконалення технологій та технічних засобів глибокого розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів меліоративних систем для підвищення їх ресурсної та еколого-економічної ефективності щодо змінюваних сучасних умов та вимог.

1. Козаченко О. В. Проблеми ресурсозбереження у сільськогосподарських агрегатах : монографія. Харків : Торнадо, 2008. 272 с. 2. Антощенков Р. В. Дослідження енергетичних параметрів функціонування багатоелементних машинно-тракторних агрегатів. *Інженерія природокористування*. 2016. № 2. С. 105–112. 3. Сайко В. Ф., Малієнко А. М. Системи обробітку ґрунту в Україні. Київ : ТОВ ВД «ЕКМО», 2007. 42 с. 4. Коковіхін С. В., Писаренко П. В., Грабовський П. В. Енергетична оцінка елементів технології вирощування пшениці твердої озимої в умовах Південного Степу України. *Таврійський науковий вісник* : науковий журнал. Херсон : Грінь Д.С., 2011. Вип. 77. С. 74–78 с. ISSN 2226–0099. 5. Біоенергетична оцінка сільськогосподарського виробництва : науково-методичне забезпечення / Ю. О. Тараріко, 10



О. Ю. Несмашна, О. М. Бердніков, Л. Д. Глущенко, Г. І. Личук та ін. Київ : Аграрна наука, 2005. 200 с. **6.** Гришко В. В., Перебийніс В. І., Рабштина В. М. Енергозбереження в сільському господарстві (економіка, організація, управління). Полтава : ВАТ «Видавництво «Полтава», 1996. 280 с. **7.** Медведовський О. К., Іваненко П. І. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві. Київ : Урожай, 1988. 208 с. **8.** Тараріко Ю. О., Несмашна О. Є., Глущенко Л. Д. Енергетична оцінка систем землеробства і технологій вирощування сільськогосподарських культур : методичні рекомендації. К. : Нора-прінт, 2001. 60 с. **9.** Пастухов В. І. Енергетична оцінка механізованих технологій рослинництва. Методи і результати. Харків : «Ранок-НТ», 2003. 100 с. **10.** Лещенко С. М., Сало В. М., Петренко Д. І. Оцінка енергоємності глибокого обробітку ґрунту комбінованими чизельними глибокорозпушувачами. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація* : зб. наук. пр. Кіровоградського нац. техн. ун-ту. 2018. Вип. 31. С. 10–20. **11.** Лещенко С. М., Сало В. М., Петренко Д. І. Оцінка ефективності глибокого безполицевого обробітку ґрунту. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин* : загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. Кропивницький : ЦНТУ, 2020. Вип. 50. С. 3–11. **12.** Лук'яничук О. П., Рокочинський А. М. Вдосконалення технологій і технічних засобів глибокого розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів на основі системної методології. *Вісник НУВГП. Технічні науки* : зб. наук. праць. Рівне : НУВГП, 2022. Вип. 2(98). С. 92–109. **13.** Ветохин В. И. Систематизация свойств почвы как элемент теории проектирования почвообрабатывающих орудий и технологий. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України* : зб. наук. праць. Дослідницьке : УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, 2009. Вип. 13(27). Кн. 2. С. 30–38. **14.** Ветохин В. И. Фізичні аспекти прояву зворотного зв'язку та авторегулювання форми знаряддя в системі «знаряддя-ґрунт». *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація* : зб. наук. праць Кіровоградського національного технічного університету. Кіровоград, 2009. Вип. 22. С. 119–124.

## REFERENCES:

1. Kozachenko O. V. Problemy resursozberezhennia u silskohospodarskykh ahrehatakh : monohrafiia. Kharkiv : Tornado, 2008. 272 s. **2.** Antoshchenkov R. V. Doslidzhennia enerhetychnykh parametriv funktsionuvannia bahatoelementnykh mashynno-traktornykh ahrehativ. *Inzheneriia pryrodokorystuvannia*. 2016. № 2. S. 105–112. **3.** Saiko V. F., Maliienko A. M. Systemy obrobittu ґruntu v Ukraini. Kyiv : TOV VD «EKMО», 2007. 42 s. **4.** Kokovikhin S. V., Pysarenko P. V., Hrabovskyi P. V. Enerhetychna otsinka

elementiv tekhnologii vyroshchuvannya pshenytsi tverdoi ozymoї v umovakh Pivdennoho Stepu Ukrainy. *Tavriiskyi naukovyi visnyk* : naukovyi zhurnal. Kherson : Hrin D.S., 2011. Vyp. 77. S. 74–78 s. ISSN 2226-0099.

**5.** Bioenerhetychna otsinka silskohospodarskoho vyrobnytstva : naukovometodychne zabezpechennia / Yu. O. Tarariko, O. Yu. Nesmashna, O. M. Berdnikov, L. D. Hlushchenko, H. I. Lychuk ta in. Kyiv : Ahrarna nauka, 2005. 200 s.

**6.** Hryshko V. V., Perebyinis V. I., Rabshtyna V. M. Enerhozberezhennia v silskomu hospodarstvi (ekonomika, orhanizatsiia, upravlinnia). Poltava : VAT «Vydavnytstvo «Poltava», 1996. 280 s.

**7.** Medvedovskyi O. K., Ivanenko P. I. Enerhetychnyi analiz intensyvnykh tekhnologii v silskohospodarskomu vyrobnytstvi. Kyiv : Urozhai, 1988. 208 s.

**8.** Tarariko Yu. O., Nesmashna O. Ye., Hlushchenko L. D. Enerhetychna otsinka system zemlerobstva i tekhnologii vyroshchuvannya silskohospodarskykh kultur : metodychni rekomendatsii. K. : Nora-print, 2001. 60 s.

**9.** Pastukhov V. I. Enerhetychna otsinka mekhanizovanykh tekhnologii roslynnytstva. Metody i rezultaty. Kharkiv : «Ranok-NT», 2003. 100 s.

**10.** Leshchenko S. M., Salo V. M., Petrenko D. I. Otsinka enerhoiemnosti hlybokoho obrobitku gruntu kombinovanymy chyzelnymy hlybokorozpushuvachamy. *Tekhnika v silskohospodarskomu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannya, avtomatyzatsiia* : zb. nauk. pr. Kirovohradskoho nats. tekhn. un-tu. 2018. Vyp. 31. S. 10–20.

**11.** Leshchenko S. M., Salo V. M., Petrenko D. I. Otsinka efektyvnosti hlybokoho bezpolytsevoho obrobitku gruntu. *Konstruiuvannya, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia silskohospodarskykh mashyn* : zahalnoderzh. mizhvid. nauk.-tekhn. zb. Kropyvnytskyi : TsNTU, 2020. Vyp. 50. S. 3–11.

**12.** Lukianchuk O. P., Rokochynskyi A. M. Vdoskonalennia tekhnologii i tekhnichnykh zasobiv hlybokoho rozpushennia osushuvanykh mineralnykh gruntiv na osnovi systemnoi metodologii. *Visnyk NUVHP. Tekhnichni nauky* : zb. nauk. prats. Rivne : NUVHP, 2022. Vyp. 2(98). S. 92–109.

**13.** Vetohin V. I. Sistematzatsiia svoystv pochvyi kak element teorii proektirovaniya pochvoobrabatyivayuschih orudiy i tehnologiy. *Tekhniko-tekhnolohichni aspekty rozvytku ta vyprobuvannya novoi tekhniky i tekhnologii dlia silskoho hospodarstva Ukrainy* : zb. nauk. prats. Doslidnytske : UkrNDIPVT im. L. Pohoriloho, 2009. Vyp. 13(27). Kn. 2. S. 30–38.

**14.** Vetokhin V. I. Fizychni aspekty proiavu zvorotnoho zviazku ta avtorehuliuвання formy znariaddia v systemi «znariaddia-grunt». *Tekhnika v silskohospodarskomu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannya, avtomatyzatsiia* : zb. nauk. prats Kirovohradskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. Kirovohrad, 2009. Vyp. 22. S. 119–124.

---

**Lukianchuk O. P., Candidate of Engineering (Ph.D.) Associate  
Professor, Rokochynskyi A. M., Doctor of Engineering, Professor**  
(National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

### **THEORETICAL PREREQUISITES OF THE IMPROVEMENT OF DEEP LOOSENING OF DRAINED MINERAL SOILS ACCORDING TO THE CRITERION OF ENERGY EFFICIENCY**

The development of energy-saving technologies for the production of plant products is one of the priority directions of the development of the agricultural sector. The most universal indicator is the energy efficiency criterion. In the case of deep loosening as part of the reclamation system as a complex natural-technical ecological-economic system, the combination of various types of man-made and natural energies through systemic energy transformations determines the final energy effect in the form of an increase in the yield of agricultural crops. The components of the chain of transformation of energy and matter from the working organ of the deep tiller to the growth of the crop were formalized and analyzed according to the structural-hierarchical scheme of the species: design ↔ technology ↔ mode ↔ effect. It was determined that the constructive consideration of the laws of the interrelationship of the changes in the parameters of the water-physical properties of the soil environment with the change in the parameters of its macrostructure and the implementation of energy-saving types of deformation and the features of the methods of deep development of the soil in the design of the working bodies and the soil loosening unit as a whole as components of the energy criterion are the basis of innovative resource-saving energy-efficient and moisture-regulating principles of improving technologies and technical means of deep loosening of drained mineral soils of reclamation systems to increase their resource and ecological and economic efficiency in relation to changing modern conditions and requirements.

**Keywords:** improvement; technology; technical means; deep loosening; drained soil; energy criterion.

---