

С. В. КРАВЕЦЬ, д. т. н.

Національний університет водного господарства та природокористування

ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ СТВОРЕННЯ ТА КРИТЕРІЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ЗЕМЛЕРИЙНО-ЯРУСНИХ МАШИН І ПІДЗЕМНО-РУХОМИХ ПРИСТРОЇВ

Актуальність проблеми. Багатоярусне руйнування ґрунтів дозволяє зменшити енергоємність і динаміку робочого процесу порівняно з традиційним процесом глибокої розробки середовища (глибина різання в 3 і більше разів перевищує його ширину). Зниження енергоємності багатоярусного руйнування ґрунтується на тому положенні, що кожний ярус робочого органа здійснює розробку ґрунту тільки в докритичній зоні, а найбільш енергоємна закритична зона ущільнення відсутня. Тому нормальний тиск ґрунту на робочу поверхню багатоярусного робочого органа, а отже і енергоємність процесу при оптимальній кількості ярусів менші, ніж для традиційних землерийних робочих органів (ЗРО) (рис.1). До того ж робочий процес одночасно здійснюється на різних рівнях заглиблення і в різних умовах, а тому частота і амплітуда коливань динамічних навантажень на ґрунторозробних органах будуть різними, що призводить до вирівнювання опору переміщенню, а це, в свою чергу, забезпечує плавність ходу і підвищує якість ложа під дренажну трубку або будь-який інший лінійно-протяжних об'єктів (ЛПО).

Однак, відомі принципи створення багатоярусних процесів руйнування [1] не відповідають агротехнічним вимогам будівництва ЛПО у сільському господарстві, а тому не можуть бути використані для обґрунтованого і цілеспрямованого проектування ґрунтозахисних та енергозберігаючих робочих процесів землерийно-ярусних машин. Тому існує необхідність розробки нових принципів створення таких машин.

Мета і постановка задачі. Основними складовими частинами (операціями) багатоярусного робочого процесу, які мають суттєвий техногенний вплив на ґрунтове середовище є формування щілини і транспортування ґрунту. Ці операції в значній мірі залежать від створення умов виходу зрізаного шару ґрунту із будь-якого підземного горизонту в напрямку штучно підготовленого простору. Тому автором з метою мінімального ущільнення розроблюваного ґрунту запропоновані нові принципи структурної оптимізації здійснення операцій формування щілини і транспортування ґрунту, суть яких ґрунтується на таких положеннях [1, 2]:

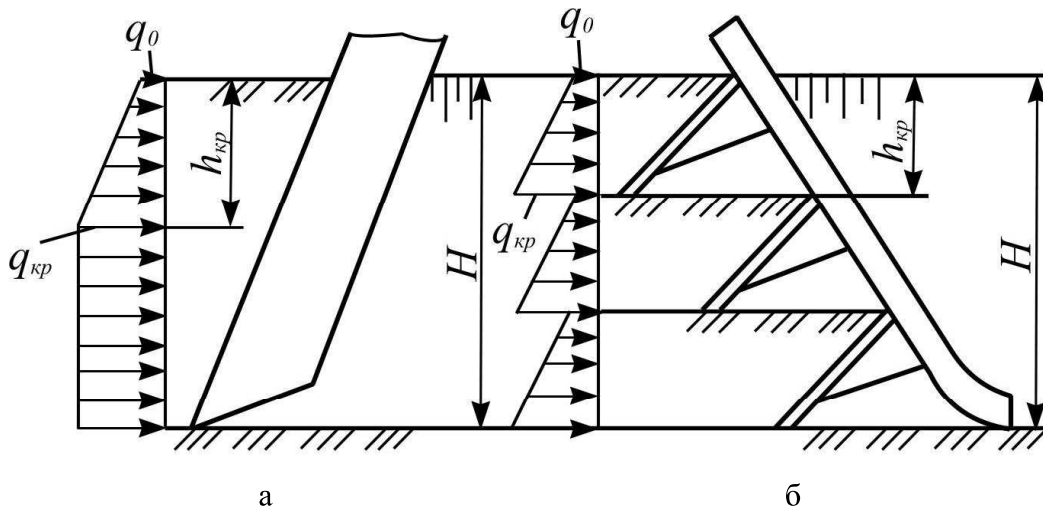


Рис. 1. Характерні епюри розподілу нормального тиску на лобову поверхню робочого органа по глибині: а - для традиційної конструкції; б – для багатоярусної конструкції; q_0 , q_{kp} – відповідно мінімальний і максимальний тиск ґрунту; h_{kp} , H – відповідно критична і повна глибина різання.

1. Подрібнення різального інструмента на ґрунторозробні органи і розміщення їх у просторі повинно проводитися таким чином, щоб кожний попередній ґрунторозробний орган створював найбільш сприятливі умови розробки ґрунту для кожного наступного органа (принцип незалежності роботи попередніх ґрунторозробних органів від наступних).

2. Транспортування ґрунту в напрямку звільненого простору повинно здійснюватися: а - для безвідвальних ЗРО при умові, що витрата ґрунту, який поступає на ґрунторозробний орган у нижньому ярусі, не перевищує витрати ґрунту, який проходить через вікна у суміжному верхньому ярусі (принцип рівності витрат ґрунту); б - для відвальних ЗРО при умові, що площа поперечного перерізу зрізаного шару ґрунту не більша площі прохідних вікон у кожному ярусі (принцип рівності площ).

Основна частина. У залежності від цільового призначення і ґрунтових умов застосування машин транспортування ґрунту може здійснюватися: а) в суміжні вище розміщені яруси без обертання пластів у фронтальній площині (принцип рівності витрат); б) керовано поярусно в порожнину нарізаної щілини із зворотнім обертанням пластів у фронтальній площині (принцип рівності площ); в) на комбінованому принципі. Опишемо більш детально суть цих принципів.

Проблема вільного (з мінімальним ущільненням) транспортування ґрунту безвідвальними робочими органами вирішена створенням у межах ширини захвату між суміжними ґрунторозробними органами прохідних вікон для направлення ґрунту в

Така розстановка ґрунторозробних органів на нахиленій у напрямку руху рами виключає можливість перекриття їх проєкцій на горизонтальну і фронтальну площини, а тим самим забезпечує принцип незалежності роботи попередніх органів від наступних. На основі цього принципу визначається висота ятусів.

Ширина ярусів B_z, B_{z-1}, B_{z-2} змінна, збільшується від нижнього ярусу до верхнього закономірно. Вибір ширини базується на принципі рівності витрат ґрунту, який подається із нижнього в суміжний верхній ярус. Маса ґрунту, яка поступає на ґрунторозробний орган за одиницю часу в нижньому ярусі, дорівнює добутку площі фронтальної проєкції трапеції $a_z b_z c_z d_z$ (див. рис. 2 б), яка утворюється різальними кромками 2 двох суміжних ґрунторозробних органів і боковими стінками щілини 6 (площа поперечного перерізу зрізаного шару ґрунту), на переносну швидкість робочого органу v і на природну щільність ґрунту ρ_{np} . Маса ґрунту, яка проходить за той же час через прохідні вікна 5 в суміжному верхньому ярусі між різальними кромками 2, несучою рамою 1 і боковими стінками 6 щілини, дорівнює добутку площі $a' b' c' d' + a'' b'' c'' d''$ на відносну швидкість ґрунту v_r на щільність ґрунту ρ_c після розробки в нижньому ярусі. Таким чином, принцип 2а можна записати в такому вигляді:

$$\frac{B_z + B_{z-1}}{2} h_z v \rho_{np} \leq \left(\frac{B_{z-1} + B_{z-2}}{2} - B_z \right) \frac{h_{z-1}}{\sin \beta_{mp}} v_r \rho_c, \quad (2)$$

де h_{z-1} - висота другого знизу ярусу.

Площа прохідних вікон регулюється кутом нахилу несучої рами до горизонту β_{TP} . Зруйнований ґрунт ковзає по направляючій 3 нижнього ярусу, обгинає клиновидний розсікач 4 і через два прохідні вікна 5 транспортується з мінімальним ущільненням у верхній суміжний ярус, який звільнений від ґрунту попереднім ґрунторозробним органом. Розробка і транспортування ґрунту в наступних верхніх ярусах здійснюється аналогічно як у нижньому ярусі.

Якщо $\rho_c = \rho_{np}$ маємо принцип рівності об'ємних витрат ґрунту в суміжних ярусах.

Реалізація принципів при кількості ґрунторозробних органів $Z \geq 3$ дозволяє проводити поярусну розробку і транспортування мінімальних об'ємів ґрунту з мінімальним ущільненням і енерговитратами. Вперше появляється можливість керованого поярусного транспортування і укладання ґрунту в щілину, здійснювати його перемішування і оструктурення, оскільки за рахунок нахилу рами розробка ґрунту верхнім ґрунторозробним органом здійснюється попередньо всіх наступних і проходить почергово (зверху вниз) обвалення шарів ґрунту.

Для важких меліоративних ґрунтів вирішальне значення має максимальне розпушення і оструктурення підземних горизонтів у щілині, а також встановлення

надійного гідравлічного зв'язку між гумусним горизонтом і дренажним улаштуванням. Для таких ґрунтових умов у Національному університеті водного господарства та природокористування вперше розроблені багатоярусні робочі процеси з поярусним керованим транспортуванням ґрунту в порожнину нарізаної щілини криволінійними поверхнями (відвалами) [5–11]. Відвали деформують зрізані пласти не тільки в профільній, але і в фронтальній площинах, причому із зворотним їх обертанням, що позитивно впливає на якість пошарової обробки. Робочі процеси можуть супроводжуватись руйнуванням ґрунту з однієї (асиметричні) і двох (симетричні) сторін від несучої рами ЗРО.

Принципово вирішена проблема керованої поярусної подачі ґрунту із зони різання будь-якого ярусу в порожнину нарізаної щілини без виїмки на денну поверхню [5, 7, 12, 13, 14]. Ефект забезпечується утворенням у кожному ярусі прохідних вікон між суміжними ґрунторозробними органами, несучою рамою і боковими стінками щілини, яка формується для направлення ґрунту із зони різання в порожнину щілини. При цьому довжина вікон не менша ширини ґрунтового шару, а ширина - не менша його висоти з урахуванням збільшення лінійних розмірів при розробці. Більш детально реалізація принципів показана на рис. 3.

Формування щілини ґрунтується на принципі багатоярусного різання з постійною шириною захвату (симетричного або асиметричного). Кероване транспортування зрізаних шарів ґрунту через прохідні вікна 5 здійснюється за рахунок встановлення криволінійних відвалів 3. Останні піднімають і повертають шар ґрунту на кут $\pi/2$ у фронтальній площині, який зрізаний ножами 1, 2 і направляють у прохідні вікна 5, які утворені між суміжними ґрунторозробними органами шириною B , несучою рамою 4 шириною ϵ і бічними стінками 6 щілини, що нарізається. Прохідні вікна мають ширину $B-\epsilon \geq hk_1$ на рис. 3. b і $\frac{B-\epsilon}{2} \geq hk_1$ на рис. 3. ϵ , і відповідно довжину

$$l = \frac{h}{\sin \beta_{mp}} \geq Bk_2, \text{ де: } h - \text{ висота ярусу (відстань, на яку рознесені ґрунторозробні органи по}$$

вертикалі); β_{TP} - кут нахилу несучої рами до горизонту; $k_{1,2}$ - коефіцієнти збільшення лінійних розмірів ґрунтового пласта при розробці. При цьому площа одного прохідного вікна 5 на рис. 3. b або двох прохідних вікон 5 на рис. 3. ϵ у кожному ярусі,

$$F_{\epsilon} = (B-\epsilon) \frac{h}{\sin \beta_{mp}}, \text{ дорівнює або більша площі поперечного перерізу шару ґрунту, який}$$

зрізується ножами 1, 2. Внаслідок того, що товщина (висота) шару ґрунту дорівнює h ,

то площа поперечного перерізу цього шару складає $F_1=Bhk_1k_2$. Беручи до уваги те, що розрізаючий ніж 1 на рис. 3, в розміщений на осі симетрії підрізаючих ножів 2 і розділяє шар ґрунту, що знімається, на дві рівні частини або смуги, то площа поперечного перерізу кожного шару, який направляється у вікна 5 на рис. 3, в дорівнює $F_{1,2} = \frac{B}{2}hk_1k_2$. Далі шар ґрунту обтікає несучу раму 4, повертається в фронтальній площині на кут $\pi/2$ у зворотному напрямку і укладається в порожнину щілини максимально розпушеним. Робочий процес на рис. 3, в, крім іншого, характеризується симетричністю навантаження по фронту розробки ґрунту і, як наслідок, зниженням енергоємності із-за усунення сил тертя на польовій дошці внаслідок зрівноваження сил по фронту.

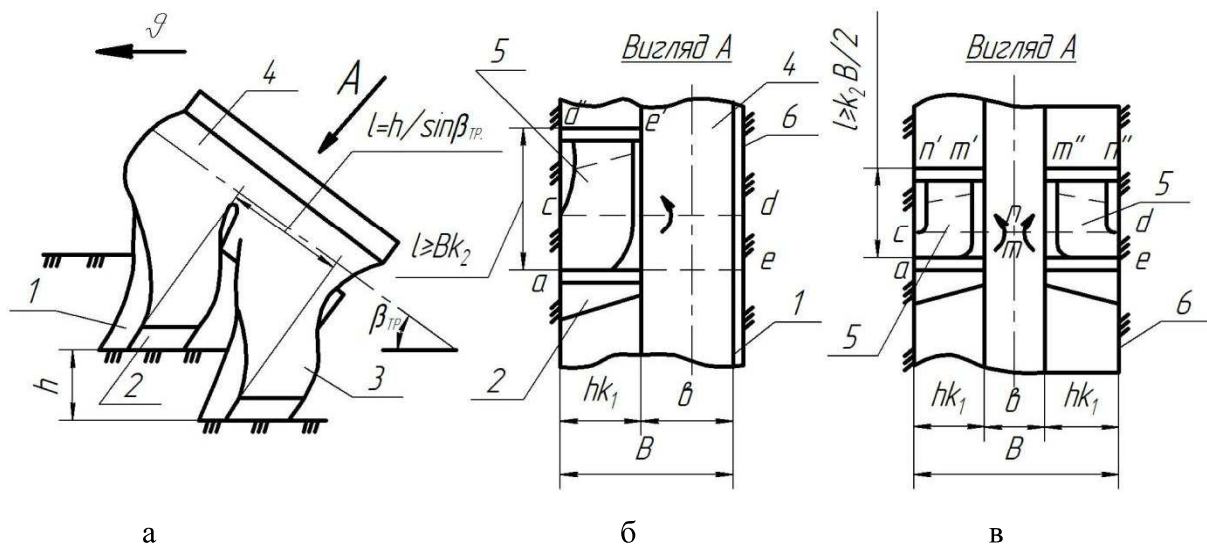


Рис. 3. Реалізація принципу рівності площ поперечного перерізу зрізаного шару ґрунту і прохідних вікон у кожному ярусі: а - вигляд збоку; б, в - вигляд по стрілці А відповідно для асиметричного і симетричного руйнування ґрунту.

Такі принципи створення робочого процесу дозволяють проводити якісну поярусну відвальну обробку ґрунту по глибині і ширині захвату без винесення неродючих шарів на денну поверхню. Це має особливе значення для покращення структури глинистих ґрунтів пластичної консистенції, які не піддаються якісній обробці безвідвальними робочими органами. Крім того, постійна ширина смуги захвату по глибині збільшує об'єм оброблюваного ґрунту, водозахватну і водо-акумулюючу властивість щілини. Нахил несучої рами в плузі дозволяє регулювати площу прохідних вікон за рахунок зміни кута β_{TP} , сприяє перемішуванню і оструктуренню ґрунту по

глибині тому, що розробка середовища у верхньому ярусі проходить попередньо всіх наступних.

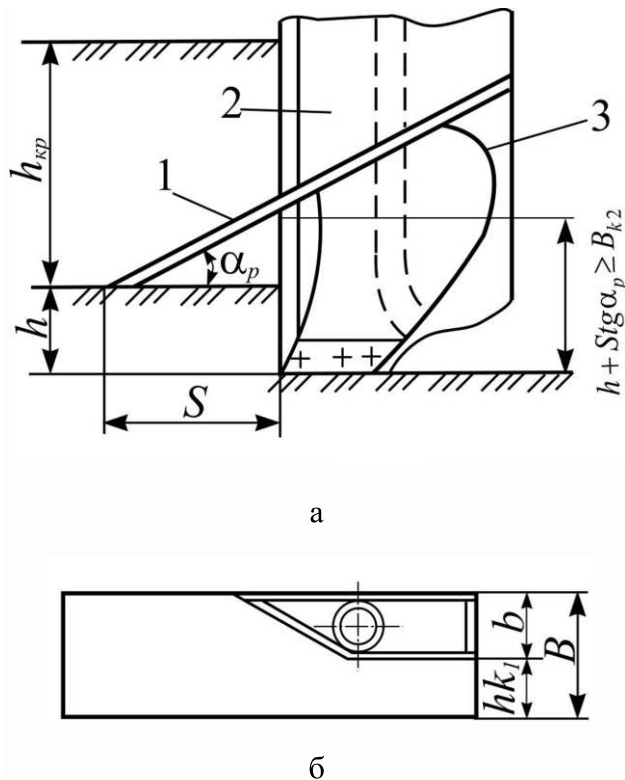


Рис. 4. Реалізація комбінованого принципу створення землерийно-ярусних органів: а - вигляд збоку; б - вигляд зверху.

органа у верхньому і наступному нижньому ярусах має такі особливості. Верхній ярус розробляється на критичну глибину $h_{кр}$ і транспортується на денну поверхню, а нижній - на глибину h із зворотним обертанням шару в фронтальній площині і транспортуванням його в порожнину нарізаної щілини. З метою вільного проходження зрізаного шару ґрунту в нижньому ярусі верхній ґрунторозробний орган зміщений відносно нижнього в напрямку руху на величину $S \geq h \left(\frac{Bk_1k_2}{B-b} - 1 \right) \text{ctg} \alpha_p$ і обидва зміщені по фронту відносно розрізаючого ножа 2 на $(B-b) \geq hk_1$ як це впливає із рис.4, де b і B - відповідно товщина розрізаючого ножа і ширина захвату ґрунторозробних органів.

Такий принцип створення конструкцій забезпечує відносно невеликий виліт плуга в напрямку його руху тому, що появляється можливість розробки верхнього ярусу ґрунту на критичну глибину одним верхнім ґрунторозробним органом замість декількох органів відвального типу. При всіх перевагах робочий процес виключає можливість відвальної обробки верхнього шару ґрунту.

У деяких випадках, наприклад, коли верхній шар ґрунту засмічений твердими включеннями, які забивають багатоярусний плуг і їх потрібно підняти на денну поверхню, раціонально підйомно-транспортуючу направляючу 1 у верхньому ярусі виконати плоскою, яка розміщена ортогонально до площини розрізаючого ножа 2 під кутом різання α_p . Під верхнім ґрунторозробним органом 1 розміщені інші ґрунторозробні органи 3 відвального типу або безвідвального (рис. 4). Їх принципи створення в третьому (рахуючи зверху вниз) і наступних нижніх ярусах аналогічні вищеописаним.

Принцип створення робочого

Принцип формування нових технічних рішень підземно-рухомих пристроїв (ПРП) ґрунтується на біонічній основі. Оскільки ПРП формується на основі технічних елементів, які є більш-менш наближеними до еволюційно-оптимізованих [15] елементів структури біологічного прототипу, тому можна вважати, що вони набувають раціонального спрямування щодо структури та матеріало-енергомісткості робочого процесу.

Оптимальність параметрів і елементів структури біологічного прототипу впливає з відомого принципу оптимальності конструкції в біології [16]. Суть принципу полягає в тому, що, оскільки, кожному організму в біологічному світі притаманна обмеженість запасу енергії (енергоресурсу), то оптимальність біологічної системи пов'язана, в першу чергу, з мінімізацією питомих енерговитрат.

Якщо позначити повну енергію біологічного прототипу через W_n , внутрішню енергію, що йде на забезпечення процесу життєдіяльності внутрішніх органів через W_e , а зовнішню енергію, яка витрачається на забезпечення його функціонування у фізичних умовах ґрунтового середовища через W_z , то отримаємо, що $W_n = W_e + W_z$. Якщо припустити, що для біологічного підземно-рухомого прототипу $W_z \gg W_e$, отже $W_n \approx W_z$. Тому оптимізація його структури (конструкції) має бути спрямована перш за все на мінімізацію зовнішніх енерговитрат, що досягається вибором принципу дії та руху в ґрунтовому середовищі, а також оптимізацією параметрів пристрою.

Тому синтез механічних ПРП підвищеної ефективності необхідно здійснювати на біонічній основі шляхом обґрунтованого вибору біологічного прототипу. Біонічно-синтезовані ПРП за своїми властивостями наближаються до біологічного прототипу і є раціональними конструкціями щодо влаштування підземних комунікацій.

Форма і параметри багатоярусних ЗРО залежать від вибраного критерію оптимізації. Оптимізація навісних ЗРО на основі тільки горизонтальної складової повного опору різанню може призвести до небажаного результату. При зниженні опору різанню навісного обладнання можливе вивішування базової машини на робочому обладнанні і, як наслідок, ще більш інтенсивне зниження тягового зусилля по зчепленню ходового обладнання з опорною поверхнею. В цьому випадку оптимізацію необхідно проводити на основі повного опору різанню з урахуванням привантаження базової машини вертикальною складовою цього опору. Форма і параметри причіпних ЗРО не впливають на тягово-зчіпні властивості базової машини. Тому для машин з причіпним робочим обладнанням ефективним критерієм оптимізації може бути мінімальний опір переміщенню причепа [1, 17].

Критерій оптимізації в загальному випадку має наступний вигляд $(T + \varphi_3 R) - P = T - (P - \varphi_3 R) \rightarrow \max$, де T – тягове зусилля базової машини по зчепленню рушія з опорною поверхнею; φ_3 – коефіцієнт зчеплення ходового обладнання з опорною поверхнею; R – вертикальна складова повного опору різанню, яку сприймає ходове обладнання; P – опір різанню. Оскільки тягове зусилля базової машини в незмінних умовах є величиною постійною, тому критерій оптимізації можна переписати у вигляді:

$$\Delta = P - \varphi_3 R \rightarrow \min. \quad (3)$$

Для багатоярусних ЗРО іншого цільового призначення можуть бути закладені інші критерії оптимізації, наприклад, для багатоярусних розпушувачів це мінімальна енергоємність розпушування ґрунту.

Висновок. На основі запропонованих принципів і критеріїв оптимізації розроблені алгоритми створення землерійно-ярусних машин і підземно рухомих пристроїв.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кравець С. В. Ґрунтозахисні та енергозберігаючі машини для прокладки підземних комунікацій / Святослав Володимирович Кравець. – Рівне: РДТУ, 1999. – 277 с.
2. Кравець С. В. Основи створення багатоярусних ґрунтозахисних безтраншейних укладачів підземних комунікацій / С. В. Кравець. У кн.: Актуальні проблеми водного господарства. – Рівне: УДАВГ, 1997. – С. 108 – 112.
3. Кравець С. В. Безвідвальний багатоярусний робочий орган для укладання трубопроводів / С. В. Кравець, М. М. Карнаухов // Гірничі, будівельні, дорожні і меліоративні машини. – К.: КДТУБА, 1993. – Вип. 48. – С. 104 – 108.
4. Кравець С. В. Безотвальний многоярусний робочий орган для глибокої розробки ґрунтів / С. В. Кравець, Н. Н. Карнаухов // Механизация производственных процессов в водохозяйственном строительстве: Тез. докл. и сообщ. респ. научн.-техн. конф. – Ровно, 28 – 29 ноября, 1990. – С. 8.
5. А.с. 1678989 /СССР/. Рабочий орган бестраншейного дренаукладчика / А. Л. Романовский, С. В. Кравец, В. Ф. Ткачук и др. – Оpubл. в Б.И., 1991, №35.
6. А.с. 1694792 /СССР/. Землеройный рабочий орган бестраншейного дренаукладчика /А. Л. Романовский, С. В. Кравец, В. Ф. Ткачук и др. – Оpubл. в Б.И.,

1991, №44.

7. А.с. 1726669 /СССР/. Землеройный рабочий орган / С. В. Кравец, В. Ф. Ткачук, А. Л. Романовский и др. Оpubл. в Б.И., 1991, №35.

8. А.с. 1763589 /СССР/. Многоярусный дренажный плуг / С. В. Кравец, Н. Н. Карнаухов, П. М. Черняк – Оpubл. в Б.И., 1992, №35.

9. А.с. 1778246 /СССР/. Землеройный рабочий орган бестраншейного дрепоукладчика / С. В. Кравец, В. Ф.Ткачук и др. – Оpubл. в Б.И., 1991, №44.

10. А.с. 1779084 /СССР/ Рабочее оборудование дрепоукладчика / С. В. Кравец, В. Ф.Ткачук, А. А. Нечидюк и др. – Для служебного пользования №000061.

11. А.с.1822887 /СССР/ Многоярусный плуг/ С. В.Кравец, М. А. Смалько, А. И. Стефанский – Оpubл. в Б.И., 1993, №23.

12. Машины для земляних робіт: Навчальний посібник / [Хмара Л. А., Кравец С. В., Нічке В. В. та інші] під загальною редакцією проф. Хмари Л. А. та Кравця С. В. – Рівне – Дніпропетровськ – Харків, 2010. – 557 с.

13. Кравец С. В. Основные принципы конструирования рабочих органов для глубокой разработки талых грунтов / С. В. Кравец, В. Ф. Ткачук, А. Л. Романовский, А. А. Нечидюк // Механизация и автоматизация земляных работ: XIV Межд. науч.-техн. конф./ Киев, 24–27 сентября 1991. – С. 260 – 262.

14. Кравец С. В. Основные критерии и принципы структурной оптимизации грунторазрабатывающих органов дрепоукладочных машин / С. В. Кравец, А. Л. Романовский // Повышение эффективности использо. водн. ресурсов в сельском хоз.: Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конференции, 25–29 ноября 1989 г. – Новочеркасск. – С. 73.

15. Кованько В. В. Біомеханічні основи створення підземнорухомих пристроїв підвищеної ефективності / Володимр Володимирович Кованько. – Рівне: НУВГП, 2011. – 198 с.

16. Розен Р. Принцип оптимальности в биологии / Р. Розен. – М.: Мир, 1969. – 216 с.

17. Кравец С. В. Критерии оптимизации формы землеройных рабочих органов / С. В. Кравец, А. А. Нечидюк // Тез. докл. II Всесоюз. конф. по механизации и автоматизации земляных работ в строительстве, 27–29 мая 1986 г. – К.: КИСИ, 1986, – С. 16.