

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНЫХ И ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

УДК 624.132.3:621.315.29

#### ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОГЕННОГО ВПЛИВУ РОБОЧОГО ОБЛАДНАННЯ БЕЗТРАНШЕЙНИХ УКЛАДАЧІВ НА ҐРУНТОВЕ СЕРЕДОВИЩЕ

**С.В. Кравець, професор, д.т.н., А.А. Нечидюк, к.т.н.,  
Національний університет водного господарства та природокористування,  
м. Рівне**

*Анотація.* Досліджено вплив на ґрунтове середовище традиційного безтраншейного робочого обладнання. На основі встановленої фізичної суті процесу глибокого різання талих ґрунтів обґрунтовано конструкцію двоярусного безтраншейного укладача підземних комунікацій, яка забезпечує більшу продуктивність технологічного процесу та усуває шкідливий техногенний вплив на ґрунтове середовище.

*Ключові слова:* ґрунтове середовище, безтраншейний укладач, техногенний вплив.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОГЕННОГО ВЛИЯНИЯ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ БЕСТРАНШЕЙНЫХ УКЛАДЧИКОВ НА ГРУНТОВУЮ СРЕДУ

**С.В. Кравец, профессор, д.т.н., А.А. Нечидюк, к.т.н.,  
Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно**

*Аннотация.* Исследовано влияние на ґрунтовую среду традиционного бестраншейного рабочего оборудования. На основании установленной физической сущности процесса глубокого резания талих ґрунтов обоснована конструкция двухъярусного бестраншейного укладчика подземных коммуникаций. Предлагаемая конструкция обеспечивает большую производительность технологического процесса и устраняет вредное техногенное воздействие на ґрунтовую среду.

*Ключевые слова:* ґрунтовая среда, бестраншейный укладчик, техногенное воздействие.

#### RESEARCH INTO ANTHROPOGENIC IMPACT PRODUCED BY TRENCHLESS LAYER IMPLEMENTS ON SOIL ENVIRONMENT

**S. Kravets, Professor, Doctor of Engineering Sciences,  
A. Nechydyuk, Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences,  
National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne**

*Abstract.* Impact produced by conventional trenchless implements on the soil environment has been investigated. A design of two-tier trenchless pipelayers for underground pipelines has been substantiated, basing on identified physics of thawed-soil deep cutting. The proposed design ensures high productivity of the technological process and eliminates harmful anthropogenic impact on the soil environment.

*Key words:* soil environment, trenchless layer, anthropogenic impact.

## Вступ

Сучасний рівень виробництва, єдині автоматизовані мережі зв'язку потребують прокладання нових кабельних ліній або реконструкції існуючих. Для виконання цих робіт широко використовується безтраншейний спосіб будівництва як більш продуктивний. Використовуючи цей спосіб будівництва, гнучкі лінійно-протяжні об'єкти (кабель зв'язку, пластмасові трубопроводи) укладаються на дно вузької щілини шириною до 0,2 м, що утворюється за допомогою пасивних ножових робочих органів без виносу ґрунту на денну поверхню. При цьому гнучкі об'єкти пропускаються зверху вниз через трубонапрямний тракт робочого органа.

## Аналіз публікацій

Проведений аналіз наукових публікацій показав, що традиційні пасивно-ножові робочі органи безтраншейних укладачів мають ширину ріжучої кромки 0,1–0,12 м, найбільша глибина розробки становить 0,9–1,9 м і вони, як правило, працюють з утворенням закритичної зони пружно-пластичних деформацій. У результаті цього збільшується опір різанню, а ґрунти зазнають шкідливого техногенного впливу [3, 5, 7].

## Мета і постановка задачі

Мета дослідження – встановлення фізичної суті взаємодії з ґрунтовим середовищем робочих органів безтраншейних укладачів традиційної та створеної двоярусної конструкції. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі: визначити методику проведення досліджень, провести порівняльні лабораторно-польові випробування.

## Дослідження впливу на ґрунтове середовище традиційного безтраншейного робочого обладнання

У Національному університеті водного господарства та природокористування (НУВГП) розроблено двоярусну конструкцію робочого органа безтраншейного укладача з двома тракторно зміщеними ножами на одному стояку, що мають криволінійні ріжучі кромки [1, 3]. Для встановлення ефективності двоярусної конструкції робочого органа безтраншейного укладача проведено порівняль-

ні лабораторно-польові випробування. Ґрунтові умови дослідних об'єктів вибирались з тих міркувань, що безтраншейні укладачі працюють у ґрунтах II, III категорії за числом ударів ударника ДорНДІ ( $C_{уд}$ ), які складають переважну більшість ґрунтового фону України [5, 8].

Кабелепрокладальні ножі двоярусної конструкції, які використовувались для проведення порівняльних лабораторно-польових і виробничих досліджень, складаються з криволінійних передньої і задньої різальних частин, встановлених з розрахунковим співвідношенням їх висоти і ширини та шарнірно встановленої касети. Поздовжній профіль різальних частин виконаний у вигляді кривої, що описується степеневою функцією

$$y = a_{1,2} \left[ h_{1,2}^{n_{1,2}} - (h_{1,2} - z)^{n_{1,2}} \right], \quad (1)$$

де  $a_{1,2}$ ;  $n_{1,2}$  – коефіцієнти апроксимації, які залежать від фізико-механічних властивостей ґрунту [4];  $h_{1,2}$  – висота відповідно верхньої і задньої різальних частин;  $y, z$  – поточні координати.

Залежності, що визначають рознесення різальних частин кабелепрокладального ножа

по вертикалі  $h_1/h_2 = (1,9 \dots 2,5) b_1/b_2$ ,

по горизонталі  $l = h_2 (\text{ctg} \psi_{не} + \text{ctg} \alpha_{p_2})$ , (2)

де  $b_1, b_2$  – ширина відповідно передньої та задньої різальних частин кабелепрокладального ножа;  $\psi_{ск}$  – кут сколювання ґрунту в поздовжній площині;  $\alpha_{p_2}$  – кут різання задньої різальної частини кабелепрокладального ножа.

У верхній частині ножів знаходяться два ряди отворів кріплення до ножової балки, які дозволяють регулювати глибину прокладання кабелю. Ширина різальної частини ножів – 100 і 120 мм. Ніж традиційної конструкції має криволінійну різальну частину шириною 120 мм. Нижня частина ріжучої крайки ножа має кут різання  $30^\circ$ , кут загострення –  $180^\circ$ , яка плавно переходить в розтинач із кутом загострення  $40^\circ$ . Різальна частина ножа традиційної конструкції є суцільною за глибиною і шириною захвату.

Вивчався техногенний вплив робочих органів на ґрунтове середовище в зоні їх дії. З цією метою визначався характер зміни середньої щільності ґрунту по осі; у поперечному перерізі; у боковій стінці щілини. Проби ґрунту брались у таких площинах поперечного перерізу щілини: у площинах дна та бічних стінок щілини, з напрямком вирізання зразків перпендикулярно до цих площин, а також у горизонтальних площинах по осі щілини через 0,15 м з напрямком вирізання зразків паралельно цим площинам. Проби ґрунту брали з трикратною повторністю до прокладання кабелю і після нього.

Досліджено форму прорізу після проходу ножів традиційної та двоярусної конструкцій, визначено розмір кроку сколювання елементів стружки у верхньому ярусі.

На будівництві кабельної лінії оптиковолокноного зв'язку Сарни–Володимирець поблизу с. Осова Дубровицького району Рівненської області досліджувались форма щілини після проходу двоярусного ножа і техногенний вплив робочого органу в зоні його дії. Прокладався оптиковолокноний кабель ножем двоярусної конструкції на глибину 1,0 м. Ніж монтувався на пневмоколісний візок кабелеукладача КУ-120В, який переміщувався трактором Т-130Б.

З метою перевірки достовірності аналітичних висновків і методики розрахунку параметрів робочого обладнання для двоярусної схеми розробки ґрунту спроектовано і виготовлено кабелепрокладальний ніж двоярусної конструкції шириною 0,1 м. Його випробування проведено на будівництві кабельної лінії технологічного зв'язку газопроводу Сарни–Рівне в Рівненському районі. Ніж навішувався на причіпний пневмоколісний візок кабелеукладача КУ-120В. Для тяги кабелеукладача використовувались трактори Т-130Б і Т-100 у зчепі. Проводились дослідження техногенного впливу робочого органу двоярусної конструкції у зоні його дії на ґрунтове середовище та визначались розміри щілини після проходу ножа.

Порівняльні лабораторно-польові випробування ножів кабелеукладача КУ-120В традиційної та двоярусної конструкцій проводились на кабельній трасі Мізоч–Рівне поблизу с. Куниин Здолбунівського району Рівненської області. Результати порівняльних випробувань наведено в табл. 1.

Аналіз експериментальних даних показав, що в ідентичних ґрунтових умовах (на ґрунтах II категорії) за однакової ширини різальних частин та глибини розробки ґрунту конструкція двоярусного кабелепрокладального ножа дозволяє зменшити тягове зусилля кабелеукладача КУ-120В у 1,8–1,9 рази [1, 2]. Середній опір переміщенню кабелепрокладального візка з ножем традиційної конструкції склав 197,69 кН, а з ножем двоярусної конструкції – 102,94 кН. Зменшення тягового опору склало 48%.

Таблиця 1 Результати порівняльних випробувань конструкцій кабелепрокладальних ножів традиційної та двоярусної

Показники, що оцінювались	Одиниці вимірювання	Ніж традиційної конструкції	Ніж двоярусної конструкції
Глибина різання	м	1,2	1,2
Ширина ножа	м	0,12	0,12
Критична глибина різання			
Передньої різальної частини	м	–	0,65
Задньої різальної частини	м	0,5	0,55
Тягове зусилля на крюку	кН	198	103
Зменшення тягового опору	%	–	48
Щільність ґрунту за числом ударів динамічного щільноміра		3–7	3–7

Таке зменшення опору переміщенню пояснюється розробкою ґрунту передньою і задньою різальною частинами ножа двоярусної конструкції на докритичних глибинах. Передня різальна частина утворює відкриту поверхню для виходу ґрунту, розробленого задньою різальною частиною. У свою чергу задня різальна частина розносить процес різання ґрунту і в просторі, і в часі.

У результаті проходу ножа кабелеукладача традиційної конструкції утворюється щілина, яка у поперечному перерізі у верхньому ярусі має вигляд трапеції, заповненої зруйнованим ґрунтом, а в нижньому ярусі – прямокутника, який частково заповнений ґрунтом і містить кротову порожнину, що утворюється за рахунок ущільнення ґрунту в бічні стінки та дно щілини (рис. 1).

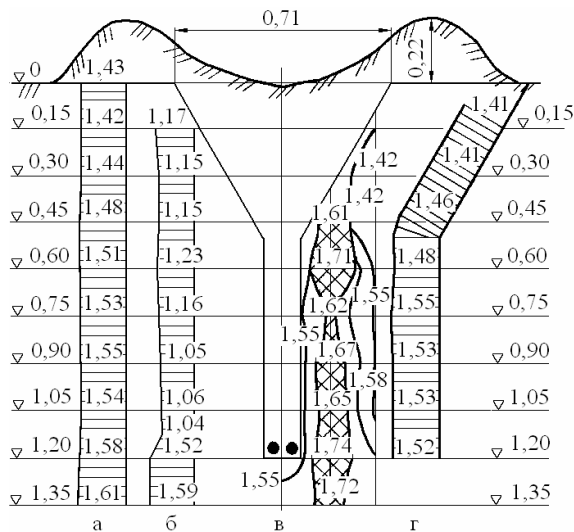


Рис. 1. Видгляд щілини, утвореної традиційним ножом ( $b = 0,12$  м) кабелеукладача і розподіл середньої щільності ґрунту ( $\text{г/см}^3$ ) (твердий суглинок вологістю  $\omega = 18\%$ ): а – природної; б – по осі; в – у поперечному перерізі; г – у боковій стінці;  $\square$  – середня щільність ґрунту, більша за природну на 13 % (розміри і відмітки в м)

Про наявність порожнини у нижньому ярусі після проходження ножа традиційної конструкції, свідчить той факт, що прокладений кабель можна витягти вручну зі щілини. Зона збільшеної щільності ґрунту на 5–13 % відносно природної спостерігається у поперечній площині прорізу на відстані 0,03–0,08 м від бічних стінок щілини. Ширина області ущільненої зони складає 3–15 см і розповсюджується вздовж бічних стінок на глибину, більшу за 0,45 м.

Наявність пружно-пластичної деформації ґрунту свідчить, що ніж кабелеукладача традиційної конструкції працює на закритичній глибині. Це підтверджує й утворення на різальній кромці ножа ядра ущільнення (рис. 2).

Після проходження ножа двоярусної конструкції утворюється щілина, яка також характеризується двома зонами: верхньою трапецієподібною і нижньою прямокутною. У верхньому ярусі щілина в поперечному перерізі має вигляд трапеції висотою 0,65 м з основами 0,12 м знизу і 0,53–0,57 м на поверхні. По боках ножа на бічній поверхні утворюються валки ґрунту висотою близько 0,23 м і шириною 0,6–0,8 м. Крок сколювання елементів стружки становить 0,6 м (рис. 3).



Рис. 2. Формування ґрунтового ядра ущільнення на ножі кабелеукладача традиційної конструкції

У нижньому ярусі щілина у поперечному перерізі має вигляд прямокутника висотою 0,55 м і шириною 0,13 м. Весь поперечний переріз утвореної щілини заповнений розпушеним ґрунтом (рис. 4, б). Щільність його змінюється у межах 1,0–1,21  $\text{г/см}^3$ , що становить 71–78 % від об'ємної щільності ґрунту в природному стані. Щільність ґрунту в бічних стінках становить 1,28–1,44  $\text{г/см}^3$ , що на 8–9 % менше природної щільності ґрунту. В поперечному перерізі не виявлено ущільненої зони ґрунту. Аналіз розподілу середньої щільності ґрунту (рис. 6) засвідчує, що двоярусна конструкція ножа не ущільнює ґрунту, а отже не чинить негативного техногенного впливу на ґрунтове середовище.

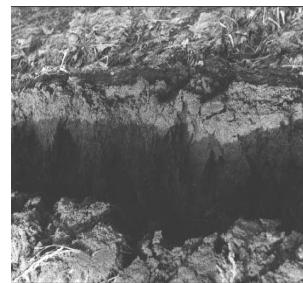


Рис. 3. Видгляд щілини зверху після проходження ножа двоярусної конструкції

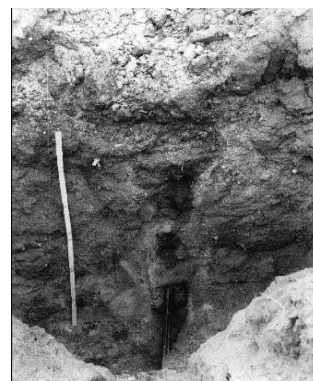


Рис. 4. Поперечний переріз щілини після проходження ножа двоярусної конструкції в суглинистому ґрунті

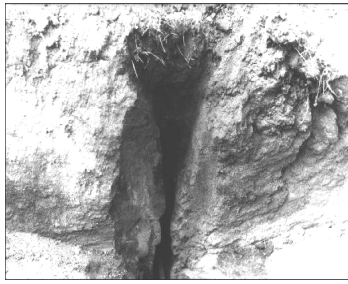


Рис. 5. Вигляд поперечного перерізу щілини після видалення розпушеного ножом двоярусної конструкції ґрунту

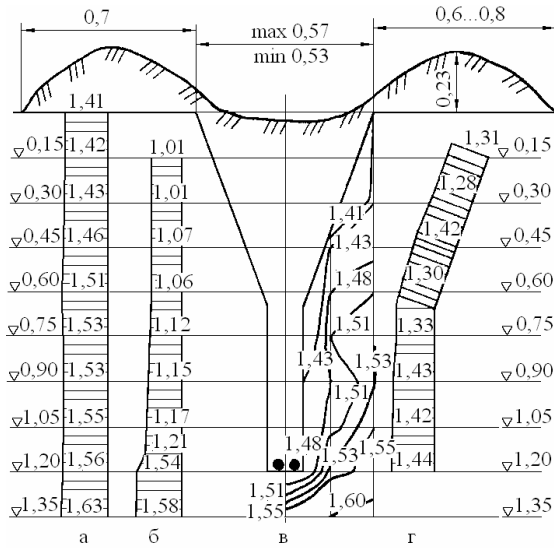


Рис. 6. Вигляд щілини, утвореної двоярусним ножом ( $b = 0,12$  м) кабелеукладача і розподіл середньої щільності ґрунту ( $\text{г/см}^3$ ) (твердий суглинок вологістю  $\omega = 18\%$ ): а – природної; б – по осі; в – у поперечному перерізі; г – у боковій стінці

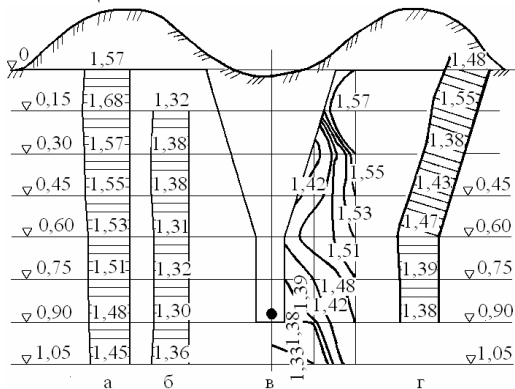


Рис. 7. Вигляд щілини, утвореної традиційним ножом ( $b = 0,12$  м) кабелеукладача і розподіл середньої щільності ґрунту ( $\text{г/см}^3$ ) (твердий суглинок вологістю  $\omega = 15\%$ ): а – природної; б – по осі; в – у поперечному перерізі; г – у боковій стінці; – щільність більша за при-

родну на 5–12 %  
 Такі ж результати отримано при дослідженні розподілу щільності ґрунту в перерізах щілини, утвореної ножами традиційної конструкції та двоярусної (шириною 0,1 м) на будівництві лінії технологічного зв'язку газопроводу поблизу с. Городище Рівненського району (рис. 7, 8).

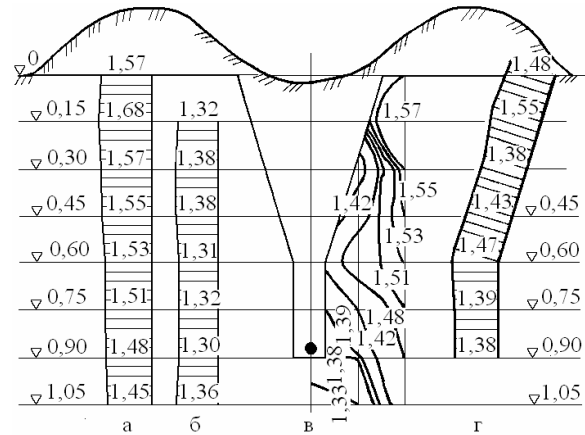


Рис. 8. Вигляд щілини, утвореної двоярусним ножом ( $b = 0,1$  м) кабелеукладача і розподіл середньої щільності ґрунту ( $\text{г/см}^3$ ) (твердий суглинок вологістю  $\omega = 16\%$ ): а – природної; б – по осі; в – у поперечному перерізі; г – у боковій стінці

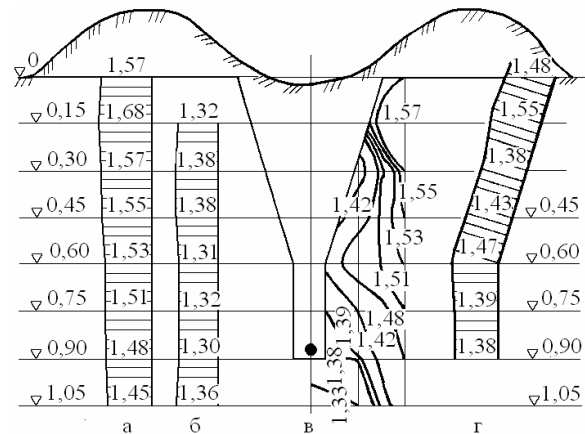


Рис. 9. Вигляд щілини, утвореної двоярусним ножом ( $b = 0,12$  м) кабелеукладача і розподіл середньої щільності ґрунту ( $\text{г/см}^3$ ) (твердий супісок вологістю  $\omega = 9\%$ ): а – природної; б – по осі; в – у поперечному перерізі

Вивчення впливу ножа двоярусної конструкції на суцільний ґрунт проводили при будівництві лінії оптико-волоконного зв'язку Сарни–Володимирець поблизу с. Осова Дубровицького району Рівненської області. Піс-

ля проходження ножа у поперечному перерізі чіткої межі щілини не простежується. По боках утворюються валки висотою 0,15–0,20 м і шириною 0,60–0,70 м. Щілина заповнена розпушеним ґрунтом. Об'ємна щільність по осі щілини становить 1,6–1,68 г/см<sup>3</sup>, що на 6–11 % менше за природний об'єм щільності ґрунту. Зона зменшеної щільності ґрунту спостерігається на відстані 0,15–0,20 м від осі щілини в поперечному перерізі. Зі збільшенням відстані від осі щілини ґрунт набуває природної об'ємної щільності (рис. 9). Аналіз розподілу середньої щільності ґрунту з різними фізико-механічними властивостями засвідчує, що двоярусна конструкція ножа не ущільнює ґрунту, а отже не чинить негативного техногенного впливу на ґрунтове середовище.

### Висновки

Ниж кабелеукладача традиційної конструкції у твердому суглинку вологістю 15–18 % працює на закритичних глибинах. У результаті пружно-пластичних деформацій ґрунту в нижній частині прорізу утворюється зона збільшеної щільності ґрунту на 5–13 % відносно природної. Ущільнена зона шириною 3–15 см спостерігається у поперечній площині розрізу на відстані 3–8 см від бічних стінок щілини і розповсюджується на глибину понад 45–60 см. У результаті цього погіршується структура, водно-повітряний режим ґрунту. Утворені порожнини над кабелем сприяють його пошкодженню гризунами.

Ножі кабелеукладача двоярусної конструкції різної ширини ( $b = 0,1; 0,12$  м), працюючи в супіщаних, суглинистих ґрунтах, зберігають родючий шар ґрунту, залишають розпушений ґрунт у щілині (об'ємна щільність ґрунту на 9–29 % є меншою за природну) і не ущільнюють його в бічні стінки (об'ємна щільність ґрунту на 8–9 % є меншою за природну) та в поперечному розрізі. Тим самим не

чинять шкідливого техногенного впливу на ґрунтове середовище, а поліпшують його структуру і водно-повітряний режим, забезпечують надійний контакт ґрунту із прокладеними комунікаціями.

### Література

1. Кабелеукладач / С.В. Кравець, А.А. Нечидюк, В.Ф. Ткачук, М.Я. Кудря: Інформ. листок Рівненського ЦНТЕІ. – Рівне: ЦНТЕІ. – 1994. – №55–94.
2. Кравець С.В. Визначення критичної глибини різання ґрунту в нижніх ярусах при багатоярусній розробці ґрунту / С.В. Кравець, А.А. Нечидюк // Техніка будівництва. – 1998. – № 2. – С. 32–36.
3. Кравець С.В. Ґрунтозахисні та енергозберігаючі машини для прокладки підземних комунікацій / С.В. Кравець. – Рівне: РДТУ, 1999. – 277 с.
4. Пат. 11152. Україна, МКВ E02F5/10. Землерийний робочий орган для безтраншейного укладання труб / Заявник та патентовласник С.В. Кравець, А.А. Нечидюк, В.Ф. Ткачук (Україна), А.Є. Калмиков (Росія), С.В. Ковальов (Україна). – №94321716, 08.10.93; заявл. 26.11.90; опубл. 25.12.96, Бюл. №4. – 3 с.
5. Томин Е.Д. Бестраншейное строительство закрытого дренажа / Е.Д. Томин. – М.: Колос, 1981. – 240 с.
6. Федоров А.И. Учет ґрунтовых условий эксплуатации в расчетах мелиоративных машин / А.И. Федоров, С.А. Магомедов, О.М. Дмитриев // Строит. и дор. машины. – 1988. – №3. – С. 10–11.
7. Хайзерук Е.М. Машины и механизмы для прокладки кабеля / Е.М. Хайзерук. – М.: Машиностроение, 1991. – 352 с.

Рецензент: М.Д. Каслін, професор, к.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 7 травня 2012 р.