

УДК 621.863.2

## ЗМЕНШЕННЯ ОПОРІВ ГРУНТУ ЗУБУ РОЗПУШНИКА В РЕЖИМІ ЗАГЛІБЛЕННЯ РОБОЧОГО ОРГАНА

А.В. Фомін, проф., к.т.н., Л.Є. Пелевін, проф., к.т.н.,

Б.М. Мельниченко, асп., М.О. Жмура, студ.,

**Київський національний університет будівництва і архітектури**

**Анотація.** Розглянуто особливості робочого процесу розпушників у режимі заглиблення робочого органа. Визначено закономірності опорів ґрунту розпушенню в цьому режимі та в режимі зі збільшеною швидкістю заглиблення робочого органа у ґрунт. Запропоновано конструкцію розпушника, яка забезпечує зменшення опору ґрунту руйнуванню в режимі заглиблення робочого органа.

**Ключові слова:** розпушник, режим заглиблення, опір ґрунту.

## УМЕНЬШЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ ГРУНТА ЗУБУ РЫХЛИТЕЛЯ В РЕЖИМЕ ЗАГЛУБЛЕНИЯ РАБОЧЕГО ОРГАНА

А.В. Фомин, проф., к.т.н., Л.Е. Пелевин, проф., к.т.н.,

Б.М. Мельниченко, асп., М.О. Жмура, студ.,

**Киевский национальный университет строительства и архитектуры**

**Аннотация.** Рассмотрены особенности рабочего процесса рыхлителей в режиме заглубления рабочего органа. Определены закономерности сопротивлений грунта в этом режиме и в режиме с увеличенной скоростью заглубления рабочего органа в грунт. Предложена конструкция рыхлителя, обеспечивающая уменьшение сопротивления разрушению в режиме заглубления рабочего органа.

**Ключевые слова:** рыхлитель, режим заглубления, сопротивление грунта.

## DECREASING SOIL RESISTANCE TO RIPPER TOOTH IN THE PENETRATION MODE OF THE WORK TOOL

A. Fomin, Cand., Eng. Sc., Prof., L. Pelevin, Cand., Eng. Sc., Prof.,

B. Melnichenko, postgraduate, M. Zhmura, student

**Kyiv National University of Construction and Architecture**

**Abstract.** The specific features of ripper operation in the penetration mode have been considered. The mechanism of soil resistance to ripping in this mode and under the increased penetration speed of ripper work tool has been specified. The ripper design to decrease soil resistance to ripping in the penetration mode of the work tool has been suggested.

**Key words:** ripper, penetration mode, soil resistance.

### Вступ

Особливістю роботи розпушників є часта зміна глибини різання ґрунту. Це обумовлено кількома факторами. По-перше, при гострому стані наконечників зуб розпушника затягуються у ґрутовий масив, за наявності на

наконечнику площинки зносу – виштовхується з масиву. Для встановлення необхідної глибини різання необхідно виглиблювати чи заглиблювати зуб. По-друге, при розробці неоднорідного за міцністю ґрутового масиву чи за наявності у ньому твердих включень великих розмірів розпушник може буксувати

чи навіть зупиняється. Це призводить до необхідності зменшення глибини різання чи повного заглиблення зуба з наступним його заглибленням. Постійна зміна глибини різання має негативні наслідки: порушується сталій режим роботи розпушника, ускладнюється керування і зменшується продуктивність. Крім того, зміна положення наконечника при заглибленні робочого органа призводить до зміни напрямку дії і величини опорів ґрунту, що також може ускладнити роботу розпушника.

### Аналіз публікацій

За даними [1], енергосмість розпушення мерзлих ґрунтів, залежно від їх фізико-механічних властивостей, становить 0,2–0,66 кВт·год/м<sup>3</sup>, в той час коли при інших способах розробки цей показник досягає 1–2 кВт·год/м<sup>3</sup>.

### Мета і постановка задачі

Мета роботи полягає у проведенні аналізу роботи розпушників у режимі заглиблення робочого органа (зокрема силових закономірностей цього процесу) для розробки заходів з оптимізацією режиму заглиблення.

#### Зменшення опорів $\delta_{ct}$ $\delta_{lct}$ ґрунту зубу розпушника в режимі заглиблення робочого органа

Траєкторія різання ґрунту в сталому режимі роботи розпушника співпадає за напрямком з траєкторією переміщення машини. У цьому випадку розпушення виконується на постійній глибині з постійним (сталим) кутом різання, а площа  $\psi$  (рис. 1) залежить від величин швидкостей переміщення розпушника  $V_p$  і заглиблення наконечника  $V_3$ .

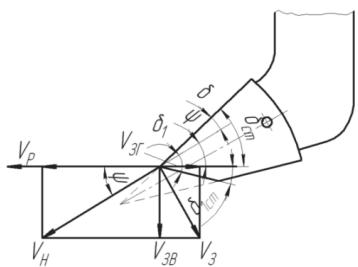
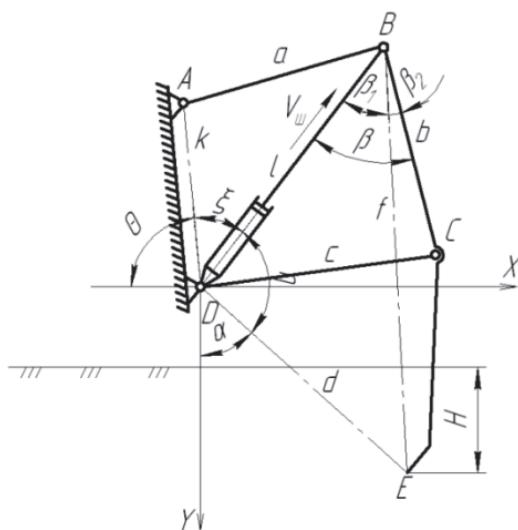


Рис. 1. Схема до визначення величини кута відхилення дійсної траєкторії переміщення наконечника від траєкторії переміщення розпушника при заглибленні зуба

Швидкість переміщення розпушника може бути взята постійною для кожної передачі, а швидкість заглиблення  $V_3$  є функцією швидкості висування штоків гідроциліндрів  $V_{\text{ш}}$  зміни глибини розпушення і геометричних параметрів навісок (рис. 2).

$$V_3 = f(V_{\text{ш}}, a, b, c, f, k).$$



Дотична сила опору ґрунту площині зносу за збільшення кута її нахилу до траєкторії переміщення наконечника збільшується; при цьому зменшується нормальна сила опору площині зносу.

Для встановлення особливостей режиму заглиблення робочого органа розпушника ДП-9С з паралелограмною навіскою виконано кінематичний аналіз процесу заглиблення.

Відповідно до розрахункової схеми (рис. 2) координати різальної кромки наконечника визначаються виразами

$$\begin{aligned} X_E &= d \cdot \sin \alpha; \\ Y_E &= d \cdot \cos \alpha, \end{aligned}$$

де  $d$  – пряма, що з'єднує різальну кромку наконечника з нижнім шарніром кріплення навіски;  $\alpha$  – кут між прямою  $d$  і вертикальною координатною віссю.

Значення  $d$  і  $\alpha$  залежать від ступеня висування штоків гідроциліндрів підйому-опускання зуба.

Із  $\Delta BED$ , за теоремою косинусів

$$d = \sqrt{l^2 + f^2 - 2lf \cos \beta_1}.$$

Відстань  $l$  між шарнірами  $B$  і  $D$  (довжина ведучої ланки  $BD$ ) за час  $t$  після початку заглиблення зуба дорівнює

$$l = l_0 - V_{\text{ш}} t,$$

де  $l_0$  – відстань між шарнірами  $B$  і  $D$  у положенні, що відповідає початку заглиблення зуба;  $V_{\text{ш}}$  – швидкість втягування штоків гідроциліндрів.

Відстань  $f$  між шарніром  $B$  і різальною кромкою наконечника є величиною постійною (якщо не враховувати укорочення наконечника при зносі). Кут  $\beta_1$  дорівнює

$$\beta_1 = \beta - \beta_2,$$

причому  $\beta_2 = \text{const}$ , а  $\beta$  залежить від довжини ланок  $BC$ ,  $CD$  і  $BD$

$$\beta = \arccos \frac{l^2 + b^2 - c^2}{2lb}.$$

Таким чином

$$d = \sqrt{l^2 + f^2 - 2lf \cos \left( \arccos \frac{l^2 + b^2 - c^2}{2lb} - \beta_2 \right)}.$$

Відповідно до розрахункової схеми кут  $\alpha$  визначається залежністю

$$\alpha = \frac{3\pi}{2} - \theta - \xi - \eta.$$

Кут  $\theta = \text{const}$ , а кути  $\xi$  і  $\eta$  визначаються з виразів

$$\xi = \arccos \frac{k^2 + l^2 - a^2}{2kl}; \quad \eta = \arccos \frac{l^2 + d^2 - f^2}{2ld},$$

де  $k$  – відстань між шарнірами  $A$  і  $D$ ;  $a$  – довжина ланки  $AB$ .

Таким чином

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{3\pi}{2} - \theta - \arccos \frac{k^2 + l^2 - a^2}{2kl} - \\ &- \arccos \frac{l^2 + d^2 - f^2}{2ld}. \end{aligned}$$

Горизонтальна  $V_{3\Gamma}$  і вертикальна  $V_{3B}$  складові швидкості заглиблення зуба

$$V_{3\Gamma} = \dot{X}_E; \quad V_{3B} = \dot{Y}_E.$$

За наведеною методикою виконано розрахунки величини кута  $\psi$  для умов роботи на першій передачі. Цю передачу обрано виходячи з того, що вона забезпечує максимальну силу тяги машини, і на практиці розпушник, частіше за все працює на ній. Результати розрахунків представлено на рис. 3.

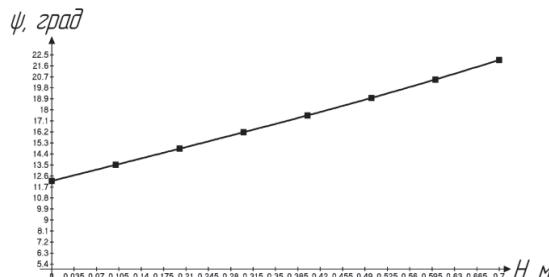


Рис. 3. Залежності величини кута  $\psi$  від заглиблення зуба розпушника  $H$  ( $V_p = 0,472 \text{ м/с}$ )

За параметр  $H$  взято відстань від поверхні ґрунтового масиву до різальної кромки наконечника (рис. 2). Для з'ясування закономірностей зміни опорів ґрунту в режимі заглиблення робочого органа виконано відповідні розрахунки для умов розробки фосфоритової руди. У розрахунках використано методику Ю.О. Ветрова [2, 3].

Опір різанню ґрунту гострим наконечником характеризується такими коефіцієнтами і параметрами:  $m_B = 0,92 \text{ МПа}$ ;  $m_{\text{бок}} = 0,12 \text{ МПа}$ ;  $m_{\text{бок.зр}} = 34,03 \text{ кН/м}$ . Опір ґрунту площині зносу ширину  $a_p = 0,025 \text{ м}$  з кутом нахилу до траєкторії різання  $\delta_{\text{ct}} = 10^\circ$  визначається параметрами  $p_0 = 74,75 \text{ кН/м}$ ,  $h_{\text{ym}} = 0,22 \text{ м}$ ,  $p_{\text{ym}} = 443,6 \text{ кН/м}$  [2]. Кут різання у сталому режимі роботи розпушника дорівнює  $\delta_{\text{ct}} = 45^\circ$ , ширина наконечника  $b = 0,105 \text{ м}$ . Ширина площинки зносу становить  $a = 0,05 \text{ м}$ . Поточні значення кута різання дорівнювали  $\delta = \delta_{\text{ct}} - \psi_i$ , кута нахилу площинки зносу до траєкторії різання –  $\delta_1 = \delta_{\text{ct}} + \psi_i$ . Кут різання ґрунту по сталі взято рівним  $\mu = 15^\circ$ .

Вплив величини кута нахилу площинки зносу до дійсної траєкторії різання враховувався за даними [3], відповідно до яких збільшення цього кута на один градус спричиняє збільшення опорів ґрунту в середньому на 5 %.

Схему сил опорів ґрунту, що діють на наконечник, наведено на рис. 4.

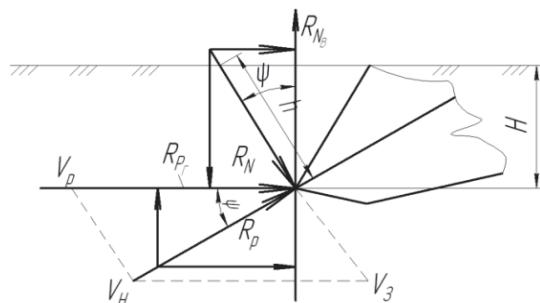


Рис. 4. Схема до визначення сил опорів ґрунту, що діють на наконечник:  $R_p$  – дотична сила опору ґрунту наконечнику;  $R_N$  – нормальна сила опору ґрунту наконечнику;  $R_{P_r}$  – горизонтальна складова сил опорів ґрунту  $R_p$  і  $R_N$ ;  $R_{N_B}$  – вертикальна складова сил опорів ґрунту  $R_p$  і  $R_N$

Аналіз цієї схеми показує, що режим заглиблення робочого органа має таку особливість. Внаслідок відхилення дійсної траєкторії переміщення наконечника від траєкторії пересування розпушника горизонтальна  $R_{P_r}$  і нормальні  $R_{N_B}$  складові сил опорів ґрунту залежать від величини дотичних  $R_p$  і нормальніх  $R_N$  сил опорів ґрунту наконечнику відносно дійсної траєкторії. Якщо при цьому відбувається збільшення горизонтальної складової сили опору ґрунту  $R_{P_r}$ , в порівнянні з цим опором у сталому режимі, то це призводить до зменшення максимально можливої глибини різання.

Розглянемо методику розрахунку сил опорів ґрунту в режимі заглиблення зуба:

1. Поточна глибина різання, м

$$h = \frac{H}{\cos \psi}.$$

2. Поточне значення кута різання, град

$$\delta = \delta_{CT} - \Psi.$$

3. Поточне значення кута нахилу площинки зносу до дійсної траєкторії різання, град

$$\delta_1 = \delta_{CT} + \Psi.$$

4. Дотична сила опору ґрунту передній грані дорівнює, кН

$$R_{P_{II,CT}} = \varphi \cdot m_B b h + 2m_{\text{бок}} h^2 + 2m_{\text{бок.зр}} h,$$

де  $\varphi$  – коефіцієнт врахування величини кута різання.

5. Нормальна сила опору ґрунту передній грані дорівнює, кН

$$R_{N_{II,CT}} = R_{P_{II,CT}} \operatorname{ctg}(\delta + \mu).$$

6. Дотична сила опору ґрунту площині зносу в сталому режимі, кН

$$R_{P_{II,CT}} = \left( p_0 + p_{\text{ym}} \frac{h}{h_{\text{ym}}} \right) b \frac{a}{a_p}.$$

7. Дотична сила опору ґрунту площині зносу в режимі заглиблення, кН

$$R_{P_{\text{ПЛ}}} = R_{P_{\text{ПЛ,ст}}} k,$$

де  $k$  – коефіцієнт, що враховує значення кута нахилу площинки зносу до дійсної траєкторії переміщення наконечника.

8. Нормальна сила опору ґрунту площині зносу, Кн

$$R_{N_{\text{ПЛ}}} = R_{P_{\text{ПЛ}}} \operatorname{ctg}(\delta_1 + \mu).$$

9. Дотична сила опору ґрунту наконечнику, кН

$$R_P = R_{P_{\text{ПЛ,Г}}} + R_{P_{\text{ПЛ}}}.$$

10. Нормальна сила опору ґрунту наконечнику, кН

$$R_N = R_{N_{\text{ПЛ}}} - R_{N_{\text{ПЛ,Г}}}.$$

11. Горизонтальна і вертикальна складові сил опорів ґрунту наконечнику, кН (рис. 4)

$$\begin{cases} R_{P_f} = R_p \cos \psi - R_N \sin \psi \\ R_{N_B} = R_p \sin \psi + R_N \cos \psi \end{cases}, \text{ при } R_N > 0;$$

$$\begin{cases} R_{P_f} = R_p \cos \psi + |R_N| \sin \psi \\ R_{N_B} = R_p \sin \psi - |R_N| \cos \psi \end{cases}, \text{ при } R_N < 0.$$

Результати розрахунків за наведеною методикою представлено на рис. 5.

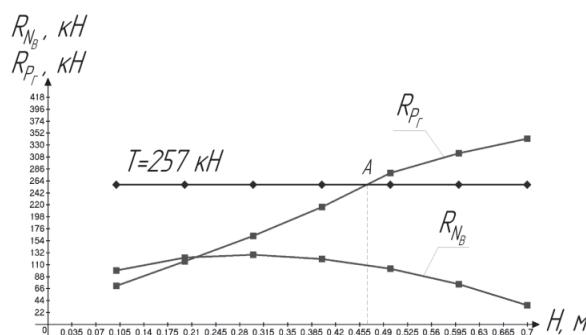


Рис. 5. Залежності горизонтальної  $R_{P_f}$  і вертикальної  $R_{N_B}$  складових сил опорів ґрунту від заглиблення зуба розпушника для паралелограмної навіски

Аналіз залежностей дотичних сил опорів ґрунту від заглиблення зуба показує, що го-

ризонтальна складова сил опорів ґрунту  $R_{P_f}$  буде дорівнювати величині максимальної сили тяги розпушника  $T$  ( $T=275$  кН) приблизно за глибини заглиблення робочого органа  $H \approx 0,47$  м (точка  $A$  на рис. 5). Таким чином, максимальна глибина різання ґрунту для заданих умов становить 0,47 м.

Для забезпечення більшої величини заглиблення робочого органа пропонується наведене нижче технічне рішення. Зменшення величини кута  $\psi$  можна досягти збільшенням швидкості пересування розпушника  $V_p$  і зменшенням горизонтальної складової швидкості заглиблення робочого органа  $V_{3r}$  у випадку, коли ця складова має від'ємне значення. Збільшення швидкості  $V_p$  за рахунок роботи на передачах із більшою швидкістю не є доцільним, оскільки при цьому зменшується сила тяги машини. Пропонується рішення про забезпечення збільшення швидкості пересування тільки робочого органа. Конструктивно це досягається таким чином (рис. 6).

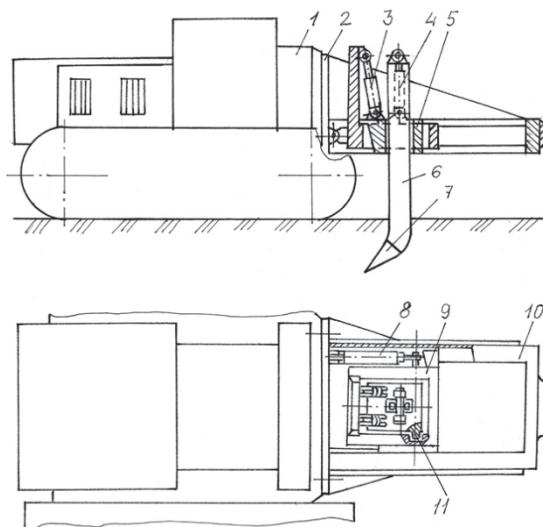


Рис. 6. Конструктивна схема запропонованого навісного пристрою розпушника: 1 – базовий трактор; 2 – опорна рама; 3 – гідроцилінди зміни кута різання; 4 – гідроцилінди зміни глибини різання; 5 – касета; 6 – стояк; 7 – наконечник; 8 – гідроцилінди переміщення каретки; 9 – каретка; 10 – тягова рама; 11 – вісь

Навісний пристрій складається з опорної рами 2, закріпленої на тракторі 1, тягової рами 10, робочого органа у вигляді стояка 6 з наконечником 7 і гідроциліндрів керування.

Тягову раму виконано П-подібною з напрямними, в яких встановлено каретку 9 з касетою 5. Робочий орган встановлено в касеті. Робочий орган утримується в касеті двома гідроциліндрами 4, за допомогою яких також змінюється глибина різання. Переміщення каретки відносно опорної рами виконується двома гідроциліндрами 8. Касета утримується в каретці на осі 11 за допомогою двох гідроциліндрів 3. Додаткове призначення цих гідроциліндрів полягає у зміні кута різання. Запропонована конструкція дозволяє змінювати швидкість пересування робочого органа незалежно від швидкості руху базової машини за допомогою гідроциліндрів 8.

Крім того, така конструкція забезпечує можливість вертикального заглиблення робочого органа, за якого відсутня горизонтальна складова швидкості заглиблення. Кут  $\psi$  у цьому випадку буде мати постійну величину. Розрахунки сил опорів ґрунту розпушником із запропонованою конструкцією навіски наведено на рис. 7. У розрахунках взято, що величина додаткової швидкості пересування робочого органа дорівнює швидкості пересування машини, тобто сумарна швидкість робочого органа дорівнює  $2V_p = 0,974$  м/с.

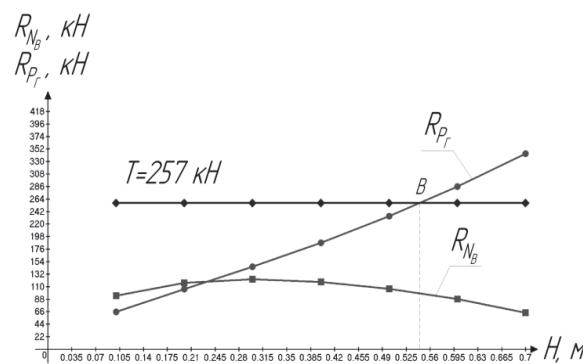


Рис. 7. Залежності горизонтальної і вертикальної складових сил опорів ґрунту від заглиблення зуба розпушника із запропонованою навіскою

Аналіз показує (рис. 7), що запропонована навіска забезпечує збільшення величини максимального можливого заглиблення робочого органа. Для паралелограмної навіски цей показник приблизно дорівнює 0,47 м (рис. 5), для запропонованої – 0,55 м (рис. 7), що забезпечує більшу продуктивність розпушника. Для кількісного порівняння цих показників виконано відповідні розрахунки, які показали, що продуктивність розпушника

із запропонованою навіскою збільшується на 31 % у порівнянні з продуктивністю розпушника із паралелограмною навіскою.

## Висновок

У режимі заглиблення робочого органа розпушника траекторія переміщення наконечника відхиляється від траекторії переміщення машини. Кількісно відхилення характеризується кутом між траекторією переміщення наконечника і траекторією переміщення машини, величина якого залежить від величини швидкостей заглиблення наконечника і пересування розпушника.

У режимі заглиблення робочого органа горизонтальна складова опору ґрунту наконечнику залежить як від дотичної, так і від нормальній сил опорів ґрунту наконечнику відносно траекторії його переміщення. Це збільшує величину горизонтальної складової опору ґрунту, яка не може перевищувати силу тяги базового трактора. Останньою умовою обмежується величина заглиблення зуба, від якої залежить продуктивність розпушника.

Оскільки горизонтальна складова опорів ґрунту збільшується із збільшенням кута між траекторіями заглиблення наконечника і переміщення машини, то необхідно конструктивно зменшувати величину цього кута. Для цього запропоновано нову конструкцію навіски, яка забезпечує додаткове збільшення швидкості пересування робочого органа, незалежно від швидкості пересування машини, і вертикальне заглиблення робочого органа.

Порівняльні розрахунки опорів ґрунту для розпушника ДП-9С із традиційною (паралелограмною) навіскою і запропонованою показали, що для прийнятих ґрунтових умов запропонована навіска забезпечує величину максимально можливого заглиблення зуба, більшу на 0,08 м, в порівнянні з цим показником для паралелограмної навіски. Це забезпечує збільшення продуктивності розпушника на 31 %.

## Література

1. Захарчук Б.З. Бульдозеры и рыхлители/ Б.З. Захарчук, В.А. Телушкин, Г.А. Шлойдо, А.А. Яркин. – М.: Машиностроение, 1987. – 240 с.

2. Ветров Ю.А. Машины для земляных работ / Ю.А. Ветров, А.А. Кархов, А.С. Кондра, В.П. Станевський. – К.: Вища школа 1981. – 384 с.
3. Ветров Ю.О. Машини для земляних робіт. Приклади розрахунків: навч. посібник / Ю.О. Ветров, В.В. Власов. – К.: ІСДО, 1995. – 304 с.
4. Фомин А.В. Повышение эффективности гусеничных рыхлителей путем ограничения износа наконечников: автореф. дис. на соискание учен. степени канд. техн. наук: 05.05.04 «Дорожные, строительные, подъемно-транспортные машины» / А.В. Фомин. – К., 1986. – 22 с.
5. Фомін А.В. Стабілізація режиму заглиблення робочого органа розпушника / А.В. Фомін, Л.Є. Пелевін, Б.М. Мельниченко // Весник ХНАДУ: сб. науч. тр. – 2012. – Вип. 57. – С. 177–179.

Рецензент: Є.С. Венцель, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 17 квітня 2014 р.

---

---