



Техніка для земляних та дорожніх робіт

УДК 681.587.

Л.Є. Пелевін, к.т.н., проф. КНУБА,
С.В. Лаєрик, аспірант КНУБА,
М.М. Карпенко, аспірант КНУБА
М.О. Пристайло, к.т.н., доц. КНУБА

НАВАНТАЖЕННЯ НА РОБОЧИЙ ОРГАН ВІДВАЛЬНОГО ТИПУ

АНОТАЦІЯ. Виходячи із аналізу нерівномірного розподілу навантаження на ріжучій кромці ножа відвала, знайдено взаємні кореляційні функції та дисперсії сил опору різанню на окремих ділянках ножа відвалу динамічної дії, що дало змогу скласти схему автоматизації режиму роботи кожного вібробудника відвалу динамічної дії, в залежності від дії сили опору різанню ґрунту на кожний окремий динамічний елемент.

Ключові слова: динамічний елемент, вібробудник, дисперсія, сила опору різанню ґрунту, номограма, підсилювач, дільник, динамічне навантаження.

SUMMARY. Develop circuit operation mode automation each vibration exciter blade dynamic action, depending on the force of cutting resistance ground for each separate dynamic element. Analysis of mutual correlation functions and dispersions the resistance forces to cutting on some sections of knife dynamic action blade. Folding automatic control system operation mode dynamic action blade. The proposed technical solution can reduce the effort that must be applied to the working body to develop ground.

Key words: dynamic element, vibration exciter, dispersion, resistance force of cutting ground, nomogram, amplifier, divider, dynamic load.

Вступ. В залежності від потужності та конструкції базової машини бульдозери можуть працювати на різних ґрунтах: від болотистих і піщаних до розбірних, або розпушених порід і руд.

Відомо що на відвал бульдозера діють великі навантаження, особливо при розробці ґрунтів з включеннями. Ці навантаження передаються на базову машину, що супроводжується передчасним спрацюванням деталей базової машини, які не беруть участь у руйнуванні ґрунту.

Для вирішення вищенаведеної проблеми, пропонується конструкція відвалу який зможе працювати в ґрунтах з кам'янистими включеннями, при цьому, отримуємо можливість зменшення зусилля яке потрібно прикласти до ґрунту і бульдозер буде мати високу продуктивність.

Мета статті. На основі аналізу сил, які діють на відвал при розробці ґрунту, обґрунтувати:

— дисперсію сил опору різанню ґрунту на окремих ділянках ріжучої кромки ножа відвалу динамічної дії, при роботі в ґрунтах з включеннями;

— кореляцію сил опору на різних ділянках ножа;

та розробити:

— систему автоматичного керування режимом роботи відвалу динамічної дії, яка дасть змогу зменшити зусилля, що потрібно прикласти до робочого органу для розробки ґрунту.

Виклад основного матеріалу. До теперішнього часу сила опору різанню розглядалася як єдина сила, прикладена в центрі ріжучої кромки ножа чи зуба. Однак при великій ширині ріжучої кромки, зокрема для машин відвального типу такий підхід є занадто спрощеним.

Відомі залежності [1, 2] досить повно описують випадкову силу опору різанню на кожній окремо взятій ділянці ножа. Однак, щоб охарактеризувати навантажений стан ножа в цілому, при розрахунку на міцність відвалу бульдозера або при створенні навантажень на стенді під час випробувань відвалів, необхідно знати нормовані взаємні кореляційні функції $r_{p_i p_j}(\tau)$ для сил опору на різних ділянках ножа або відповідні нормовані взаємні спектральні щільності $g_{p_i p_j}(\omega)$. Відповідно гіпотезі В.В.Ничке [3], сили опору різанню на окремих ділянках ножа статистично незалежні і, отже, функції $r_{p_i p_j}(\tau)$ і $g_{p_i p_j}(\omega)$ тотожно рівні нулю. Ця найбільш проста гіпотеза, однак, не узгоджується з фізичною суттю процесу різання зв'язних ґрунтів, а деякі висновки з неї суперечать експериментальним даним.

При виборі найбільш відповідного виду для функцій $r_{p_i p_j}(\tau)$ були прийняті до уваги такі міркування:

1) функції: $r_{p_i p_j}(\tau)$ повинні мати такий же характер зміни, як і нормована кореляційна функція $\rho_{p_i}(\tau)$, але менші ординати, тому кореляція між окремими значеннями сил опору на різних ділянках ножа свідомо буде слабкіша, ніж на одній і тій же ділянці;

2) можна очікувати, що при $\tau = 0$ кореляція між силами p_i і p_j не є негативною і швидко зменшується в міру збільшення відстані між розглянутими ділянками ножа.

Відповідно до цих міркувань для опису нормованих взаємних кореляційних функцій $r_{p_i p_j}(\tau)$ запропонована формула:

$$r_{p_i p_j}(\tau) = e^{-\beta|i-j|} \rho_{p_i}(\tau), \quad (1)$$

де $\rho_{p_i}(\tau)$ – нормована кореляційна функція сили опору різанню для окремої ділянки ножа; β – емпіричний коефіцієнт, що залежить від властивостей ґрунту і довжини ділянок.

Якщо позначити $|i-j|=K$, формулу (1) можливо представити у вигляді:

$$r_{p_i p_{j+K}}(\tau) = e^{-\beta K} \rho_{p_i}(\tau). \quad (2)$$

Коефіцієнт β можна знайти дослідним шляхом з використанням залежності між дисперсіями загальної сили опору різанню та сили опору на окремій ділянці ножа.

Згідно відомим властивостям стаціонарних випадкових процесів [4, 5], кореляційна функція загальної сили опору різанню:

$$K_p(\tau) = \sum_{i=1}^n K_{p_i}(\tau) + 2 \sum_{i < j} R_{p_i p_j}(\tau), \quad (3)$$

де $K_{p_i}(\tau)$ – кореляційна функція сили на i -й ділянці ножа; $R_{p_i p_j}(\tau)$ – взаємна кореляційна функція сил на i -й і j -й ділянках ножа.

Праву частину формули (3) можна виразити через нормовані кореляційні функції сил:

$$K_p(\tau) = \sum_{i=1}^n D_{p_i} \rho_{p_i}(\tau) + 2 \sum_{i < j} \sqrt{D_{p_i} D_{p_j}} r_{p_i p_j}(\tau), \quad (4)$$

де D_{p_i} , D_{p_j} – дисперсії сил опору різанню на i -й і j -й ділянках ножа; n – загальне число ділянок.

Враховуючи, що в даному випадку статистичні характеристики сил на окремих ділянках ножа однакові, і приймаючи до увагу вираз (2), отримаємо:

$$K_p(\tau) = D_{p_i} \left[n \rho_{p_i}(\tau) + 2 \sum_{K=1}^{n-1} (n-K) r_K(\tau) \right], \quad (5)$$

або

$$K_p(\tau) = D_{p_i} \rho_{p_i}(\tau) \left[n + 2 \sum_{K=1}^{n-1} (n-K) e^{-\beta K} \right]. \quad (6)$$

При $\tau = 0$ формула (6) дає вираз для дисперсії загальної сили:



$$D_p = D_{p1} \left[n + 2 \sum_{K=1}^{n-1} (n-K) e^{-\beta K} \right]. \quad (7)$$

Якщо число ділянок n , на які розділена ріжуча кромка ножа, досить велике (не менше 5), вхідні до формул (6) і (7) суми зручніше замінити інтегралами. При цьому формула (7) прийме вигляд:

$$\begin{aligned} D_p &= D_{p1} \left[n + 2 \int_{0.5}^{n-0.5} (n-K) e^{-\beta K} dK \right] = \\ &= D_{p1} \left[n + \frac{2}{\beta} \left(n - 0,5 - \frac{1}{\beta} \right) e^{-0,5\beta} + \right. \\ &\quad \left. + \frac{2}{\beta} \left(\frac{1}{\beta} - 0,5 \right) e^{-(n-0,5)\beta} \right]. \end{aligned} \quad (8)$$

Неважко переконатися, що при $\beta \rightarrow \infty$ (відсутність статистичного зв'язку між окремими силами) вираз у квадратних дужках прямує до n , а при $\beta \rightarrow 0$ (абсолютно жорсткий зв'язок) він прямує до n^2 . Якщо $n=1$, вказаний вираз також дорівнює одиниці.

В реальних умовах $n\beta \gg 1$ (кореляційний зв'язок між силами опору різанню на окремих ділянках повністю затухає в межах загальної ширини ножа).

Тому замість формули (8) отримаємо:

$$D_p = D_{p1} \left[n + \frac{2}{\beta} \left(n - 0,5 - \frac{1}{\beta} \right) e^{-0,5\beta} \right]. \quad (9)$$

Рівності (8) і (9) встановлюють співвідношення між величинами D_p/D_{p1} , n і β , можуть бути використані для визначення параметра β за відомим значенням числа ділянок та відношення бис.персій D_p/D_{p1} . З цією метою на основі формули (9) побудована номограма, показана на рис.1.

Раціональна методика визначення параметра β полягає в наступному:

1) призначається число ділянок n , на які розділяється ріжуча кромка ножа;

2) експериментальним шляхом визначаємо дисперсію сили опору різанню для ножа в цілому D_p і для однієї ділянки D_{p1} при заданій глибині різання;

3) за допомогою номограми на рис.1. знаходимо значення параметра β .

Відвал динамічної дії представлений у вигляді несучої рами, яка поділена на секції, при чому в кожній секції встановлено окремий

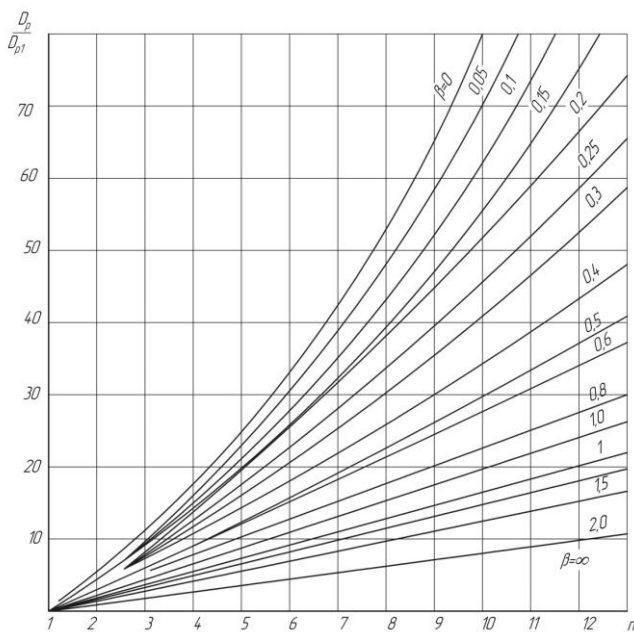


Рисунок 1. Номограма для визначення параметра β .

динамічний елемент, який завдяки віброзбуднику виконує вертикальний, зворотно-поступальний рух у рамі по пазу (рис.2).

При дії зовнішніх навантажень на робочий орган відвального типу, число віброзбудників на відвалі може не співпадати з числом навантажених ділянок n , на які була поділена

ріжуча кромка ножа. В цьому випадку параметр β зміниться і прийме деяке нове значення $\beta' \neq \beta$.

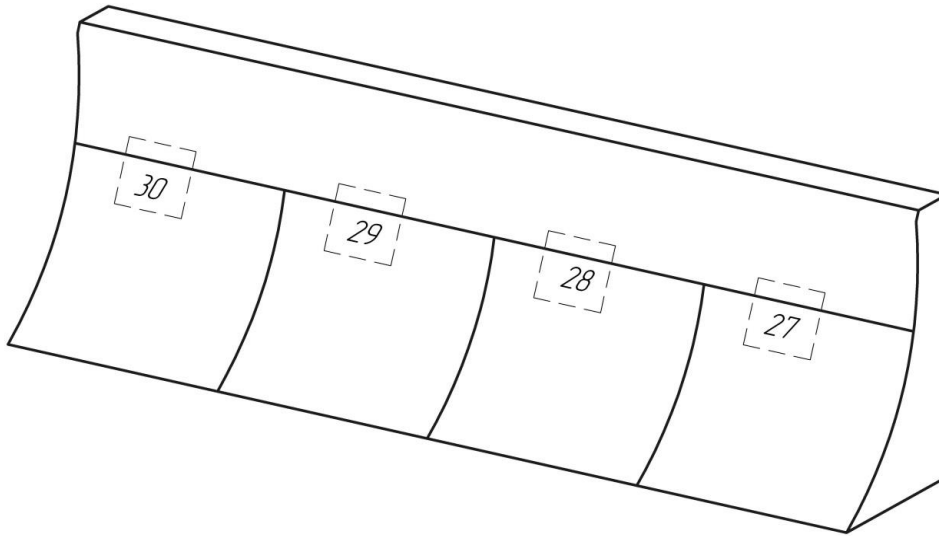


Рисунок 2. Схема відвалу бульдозера з чотирма віброзбудниками.

Нехай, наприклад, число ділянок n потрібно зменшити в m разів (m – ціле число), інакше кажучи, потрібно об'єднати кожні m ділянок в одну. У цьому випадку величина β' може бути знайдена таким чином:

1) за формулою (7) при $m = n$ обчислюємо дисперсію D'_{pl} для нової ділянки і знаходимо відношення D_p/D'_{pl} ;

2) за допомогою номограми на рис.1. прийнявши $n' = n/m$ в якості n і D_p/D'_{pl} в якості D_p/D'_{pl} , визначаємо величину β' як нове значення параметра β .

Схема автоматичного регулювання режиму роботи віброзбудників (рис.3).

Кількість датчиків, визначаються з виразу:

$$K = 2n - 1. \quad (10)$$

Датчики 1, 2, 3, 4, 5, 6 і 7 по K каналам з'єднані з блоком гідронасосів, причому перші два гідронасоси 8 і 9 утворюють групу з коефіцієнтом посилення 1, наступні два гідронасоси 10 і 11 – групу з коефіцієнтом посилення 2 і т.д., а останній гідронасос має коефіцієнт посилення n , рівний числу динамічних елементів відвалу. Блок підсилювачів K каналами з'єднаний з блоком дільників, причому перші два дільники 15 і 16 мають кожен по одному виходу, при цьому перший з них (позиція 15) підключений до першого суматора (позиція 22), а другий (позиція 16) – до останнього (n – го) суматора (позиція 25). Наступні два дільника 17 і 18 мають по два виходи, кожен з яких, у першого дільника – позиція 17, з'єднаний з двома першими суматорами (позиції 22 і 23), а у другого – з двома останніми (позиції 24 і 25) і т.д., а останній дільник 21 має n виходів і приєднаний до кожного з суматорів – 22, 23, 24 і 25.

Вихід кожного суматора з'єднаний з підсилювачем потужності 26, вихід якого комутується з входами n віброзбудників 27, 28, 29 і 30.

Визначення комутацій гідронасосів і суматорів, коефіцієнти підсилення і поділу для кожного каналу (насоса) приведені в табл.1.

Задається кількість ділянок відвалу n на які діє навантаження (рис. 2), при цьому відомо, що опір різанню на окремих ділянках відвала статистично незалежний і кореляція між окремими значеннями сил опору на різних ділянках відвалу буде слабша, ніж на одній і тій самій ділянці. Крім того, кореляція між окремими ділянками відвалу зменшується по лінійній залежності зі збільшенням відстані між ними. На віброзбудники встановлюють



датчики, причому число їх K залежить від числа ділянок навантаження відвалу і визначається з виразу:

$$K = 2n - 1,$$

де K – кількість датчиків; n – кість навантажених ділянок відвалу.

Таблиця 1

Характеристики елементів схеми

| № групи | Кількість гідронасосів | № каналу (гідронасоса) | Коефіцієнт підсилення | Коефіцієнт поділу | Кількість виходів поділу | № суматорів |
|---------|------------------------|------------------------|-----------------------|-------------------|--------------------------|----------------------------------|
| 1 | 2 | 1,2 | 1 | 1 | 1 | 1,n |
| 2 | 2 | 3,4 | 2 | 1/2 | 2 | 1,2,n -1,n |
| 3 | 2 | 5,6 | 3 | 1/3 | 3 | 1,2,3,n -2,n -1,n |
| · | · | ... | ... | ... | ... | ... |
| · | · | ... | ... | ... | ... | ... |
| · | · | ... | ... | ... | ... | ... |
| n-2 | 2 | K-4, K-3 | n-2 | 1/(n-2) | n-2 | 1,2,3,...,n -2,3,4,5,...n-1,n |
| n-1 | 2 | K-2, K-1 | n-1 | 1/(n-1) | n-1 | 1,2,3,...,n -1,2,3,4,...n-1,n |
| n | 1 | K | n | 1/n | n | 1,2,3,...,n -1,n |

При збільшенні кількості навантажених ділянок n можна отримати плавніше зниження коефіцієнта взаємної кореляції.

Розглянемо роботу схеми при кількості ділянок відвалу $n = 4$ (рис.3), при цьому необхідно мати датчиків:

$$K = 2n - 1 = 2 \cdot 4 - 1 = 7.$$

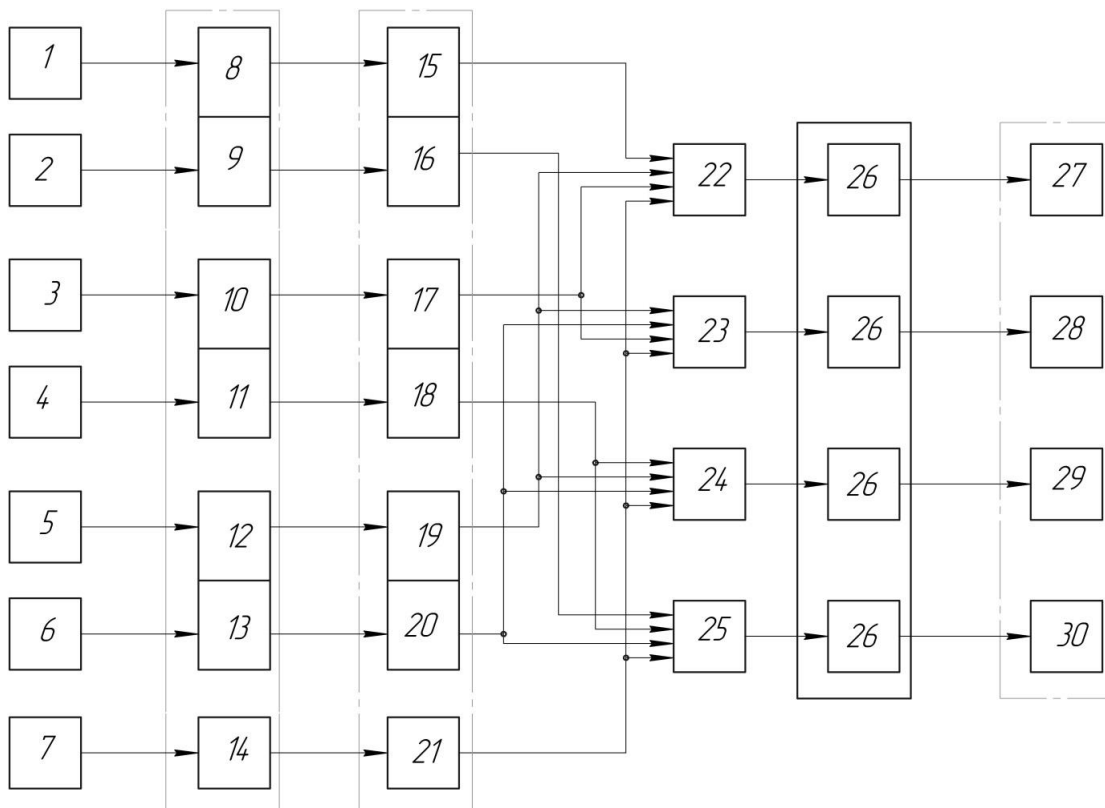


Рисунок 3. Принципова схема автоматичного керування режимом роботи віброзбудників.

Датчики 1, 2, 3, 4, 5, 6 і 7 передають сигнали з однаковими характеристиками, які поступають до гідронасосів, які збільшують подачу рідини до блоку гідророзподільників. Сигнали з датчиків 1 і 2 передаються до гідронасосів 8 і 9, що мають коефіцієнт посилення потоку – 1, і через гідророзподільники 15 і 16 по двом потокам надходять відповідно на суматори 22 і 25, де підсумовуються. Сигнали з датчиків 3 і 4, передаються до гідронасосів 10 і 11, що мають коефіцієнт посилення потоку – два, і діляться кожен в гідророзподільниках 17 і 18 на два однакових потоки, які надходять на різні суматори – з гідророзподільника 17 на суматор 22 і 23, а з гідророзподільника 18 на суматори 24 і 25. Сигнали з датчиків 5 і 6, передаються до гідронасосів 12 і 13, що мають коефіцієнт посилення потоку – три, діляться в гідророзподільниках 19 і 20 кожен на три однакових потоки, які також надходять на різні суматори, з гідророзподільника 19 на суматори 22, 23, 24, а з гідророзподільника 20 – на суматори 23, 24, 25.

Сигнал з датчика 7, передається до гідронасоса 14, що має коефіцієнт посилення чотири, ділиться потім в гідророзподільнику 21 на 4 однакових потоки, що йдуть на всі чотири суматори – 22, 23, 24 і 25.

Сигнали з виходів суматорів надходять на блок підсилювачів потужності 26, що має однакові коефіцієнти підсилення для всіх $n = 4$ каналів, який потрібен для управління вібробудниками 27, 28, 29 і 30, що встановлюються на окремі динамічні елементи відвалу бульдозера. Коефіцієнт взаємної кореляції між ділянками з вібробудниками 27 і 28 становить 0,75, так як між першим і шостим датчиком немає взаємного зв'язку. Коефіцієнт взаємної кореляції між ділянками з вібробудниками 27 і 28 знижується до 0,5, так як зв'язку немає вже по двом рівням (між першим і шостим, третім і четвертим каналами). Коефіцієнт взаємної кореляції між ділянками з вібробудниками 27 і 30 знижується до 0,25, так як, зв'язок відсутній вже за трьома рівнями.

Таким чином, кореляція між окремими, ділянками відвалу зменшується з лінійною залежністю по мірі збільшення відстані між розглянутими ділянками програми навантаження.

За результатами досліджень, було розроблено конструкцію відвалу динамічної дії. Відвал динамічної дії виконано у вигляді несучої рами 1 (рис.4), у передній частині якої встановлено декілька динамічних елементів 2, з можливістю пересування у рамі 1 по направляючих пазах 3. При чому, на передній частині динамічних елементів 2 еквідистантно до передньої частини несучої рами 1, до динамічних елементів 2 прикріплено лобові пластини 4. До нижньої частини динамічних елементів 2 прикріплено ріжучі ножі 5. До верхньої частини динамічних елементів 2, прикріплено ударник 6, вібробудника 7 [6], при чому, корпус вібробудника 7 жорстко встановлено у несучій рамі 1, а ударник 6 виконано у вигляді сферичного шарніру з можливістю вільного обертання у динамічному елементі 2.

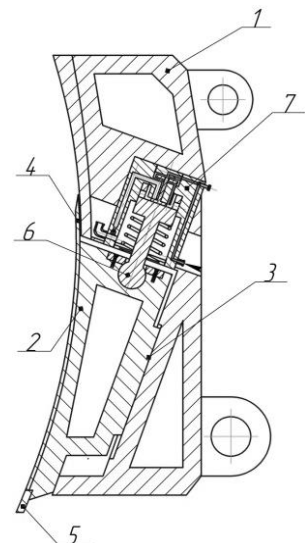


Рисунок 4. Відвал динамічної дії.

Висновки

Виходячи із аналізу нерівномірного розподілу навантаження на ріжучій кромці ножа відвала, знайдено взаємні кореляційні функції та дисперсії сил опору різанню на окремих ділянках ножа відвалу динамічної дії.

Проаналізувавши процес різання ґрунту відвалом динамічної дії та кожного його динамічного елемента, запропоновано схему автоматизації режиму роботи відвалу динамічної дії, що дає змогу автоматично регулювати режим роботи кожного вібробудника, в залежності від дії сили опору різанню ґрунту на кожній окремій ділянці відвала.



Запропоноване технічне рішення дає змогу зменшити зусилля, яке потрібно прикласти до робочого органу для розробки ґрунту, зменшуючи енергоємність розробки ґрунтів з включеннями.

Література

1. Ветров Ю.А. Резание ґрунтов землеройными машинами. - М.: Машиностроение, 1971. - 357 с.
2. Власов В.В., Пелевин Л.Е. Моделирование нагрузок при стендовых испытаниях узлов землеройных машин // Тез. докл. на Респ, семинаре молодых ученых по проблемам механизации и автоматизации земляных работ в строительстве. - К.: КИСИ, 1988. - с. 10-11.
3. Ничке В. В. Надежность прицепного и навесного оборудования тракторов. - Харьков: Вища школа, 1985. - 152 с.
4. Власов В.В., Пелевин Л.Е. Статистическое описание сил сопротивления резанию на отвале бульдозера // Тез. докл. на Респ. семинаре молодых ученых по проблемам механизации и автоматизации земляных работ в строительстве. - К.: КИСИ» 1988. - с.11-12.
5. Власов В.В., Крупко В.А., Смирнов В.Н. Прогнозирование сил резания при разработке сложноструктурного ґрунтового массива // Горн., строит. дор. и мелиорат. машины: Респ. межвед. научн.-техн. сб. - К.: Техника, 1989, вш.42. - с.41 -45.
6. Патент № 94096 України, МПК⁷ E02F 5/30. Віброзбудник / Л.Є. Пелевін, С.В. Лаврик; заявник і патентовласник КНУБА; заявл. 29.05.2014; опубл. 27.10.2014, Бюл. №20.