

БУДІВЕЛЬНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

**Кафедра будівельних, колійних та
вантажно-розвантажувальних машин**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання розрахунково-графічної роботи

**«МОДЕЛЮВАННЯ ВТРАТИ
ПРАЦЕЗДАТНОСТІ НОЖІВ МАШИН ДЛЯ
ЗЕМЛЯНИХ РОБІТ ТА НАУКОВЕ
ПЛАНУВАННЯ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ»**

з дисципліни

***«НАУКОВІ ОСНОВИ ПЛАНУВАННЯ
ЕКСПЛУАТАЦІЇ БКВРМ»***

Харків – 2015

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри будівельних, колійних та вантажно-розвантажувальних машин 16 березня 2015 р., протокол № 8.

У цих методичних вказівках наведено результати теоретичних досліджень, призначених для виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Наукові основи планування експлуатації БКВРМ». Вони складені відповідно до програми курсу.

Методичні вказівки розроблені для студентів спеціальності 7.05050308 «Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, меліоративні машини і обладнання» усіх форм і строків навчання.

Укладач

проф. М.П. Ремарчук

Рецензент

доц. С.В. Воронін

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання розрахунково-графічної роботи
«МОДЕЛЮВАННЯ ВТРАТИ
ПРАЦЕЗДАТНОСТІ НОЖІВ МАШИН ДЛЯ
ЗЕМЛЯНИХ РОБІТ ТА НАУКОВЕ
ПЛАНУВАННЯ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ»
з дисципліни
«*НАУКОВІ ОСНОВИ ПЛАНУВАННЯ
ЕКСПЛУАТАЦІЇ БКВРМ*»

Відповідальний за випуск Ремарчук М.П.

Редактор Страхова В.В.

Підписано до друку 27.04.15 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 1,5. Тираж 100. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Українська державна академія залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

Зміст

| | |
|---|----|
| Вступ..... | 4 |
| 1 Загальні положення..... | 4 |
| 1.1 Призначення дисципліни..... | 4 |
| 1.2 Мета, завдання та порядок виконання РГР..... | 5 |
| 1.3 Вихідні дані для виконання розрахунково-графічної роботи..... | 6 |
| 1.4 Оформлення пояснювальної записки..... | 6 |
| 1.5 Оформлення графічної частини..... | 7 |
| 2 Визначення стану ножів робочого обладнання машин для земляних робіт..... | 7 |
| 2.1 Загальні відомості про зносостійкість ножів робочого обладнання машин для земляних робіт..... | 7 |
| 2.2 Теоретичне обґрунтування процесу зміни працездатності ножів..... | 10 |
| 2.3 Визначення величини допустимого зношення ножів..... | 13 |
| 2.4 Визначення втрат палива за рахунок зміни працездатності ножів робочого обладнання машин для земляних робіт..... | 17 |
| 2.5 Визначення втрат палива в грошовому вимірюванні при моделюванні різних закономірностей зношення ножів для бульдозера..... | 22 |
| 3 Підвищення працездатності роботи ножів робочого обладнання машин для земляних робіт..... | 23 |
| 3.1 Рекомендації для підвищення зносостійкості ножів робочого обладнання машин для земляних робіт..... | 23 |
| 3.2 Визначення економічного ефекту при підвищенні зносостійкості ножів робочого обладнання машин для земляних робіт..... | 25 |
| 3.3 Розробка системи ППР на підставі результатів працездатності ножів робочого обладнання машин для земляних робіт..... | 28 |
| Висновки..... | 32 |
| Список літератури..... | 33 |

Вступ

Дисципліна «Наукові основи планування експлуатації машин» призначена для розкриття проблем, обумовлених втратами працездатності і ресурсу та якістю функціонування системи «оператор – машина – робочий процес (продуктивність)» при впливі різних як природних (об'єктивних), так і суб'єктивних причин, розробки методів та способів оцінювання рівня економічних втрат на підставі експлуатаційних показників роботи такої системи.

1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

1.1 Призначення дисципліни

Поняття і термінологія дисципліни базується на документах державного рівня, якими є стандарт 5151-85 «Система технічного обслуговування і ремонту техніки. Терміни та визначення» та ГОСТ 21623-76 «Система технічного обслуговування і ремонту техніки. Показники для оцінки ремонтпридатності. Терміни та визначення». Зокрема, у зв'язку із змінами у макро- та мікроекономіці держави, зазнають зміни і галузеві законодавчі та нормативні документи (Закони, Положення, Правила та Інструкції). Так, це стосується Закону України «Про транспорт», уведеного в дію у 1994 році, та Закону України «Положення про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту» (Положення-98).

Так, згідно з «Положенням-98», система технічного обслуговування (ТО) і ремонту техніки - це сукупність (система) взаємопов'язаних засобів, документації з ТО і ремонту техніки та виконавців, які необхідні для підтримання і відновлення працездатності та ресурсу. Поняття «система» відображає як сукупність фізичних елементів, так і відповідних дій, які виконуються за відповідними правилами (періодичністю) із конкретною метою.

ТО - це комплекс операцій або одна операція, яка необхідна для підтримання працездатності чи справності техніки, що виконуються під час використання її за призначенням.

За призначенням, змістом операцій, місцем виконання система передбачає такі види ТО техніки: передпродажне; під час обкатування, під час їх консервації (зберігання); сезонне обслуговування (СО); щоденне обслуговування (ЩО); обслуговування (ТО-1); обслуговування (ТО-2). Три останні складові займають найвагомніше місце, оскільки при виконанні їх забезпечується працездатність техніки в умовах експлуатації. Дотримання відповідної періодичності виконання ТО і їх основних регламентів зумовило присвоєння цій системі назви планово-попереджувальних (запобіжних) робіт ППР з метою запобігання непередбачуваним втратам працездатності техніки в умовах експлуатації.

Ремонт - це комплекс операцій, які виконують з метою відновлення працездатності техніки при виконанні середнього чи капітального ремонту двома методами — знеособленим агрегатним і незнеособленим та комбінованим. Капітальний ремонт виконується повнокомплектно або агрегатами знеособленим чи незнеособленим методами безпосередньо на місці втрати працездатності, або ж з доставкою до стаціонарного пункту ремонту

1.2 Мета, завдання та порядок виконання РГР

Розрахунково-графічна робота (РГР) є заключним етапом вивчення студентами цієї дисципліни і є підготовкою до виконання дипломного проекту.

Метою РГР є моделювання втрати працездатності ножів машин для земляних робіт та наукове планування їх експлуатації для поглиблення і кращого засвоєння студентами теоретичних знань з дисципліни «Наукові основи планування експлуатації машин», навчання користуванню нормативними матеріалами, спеціальною технічною та довідковою літературою.

Завданнями РГР є:

– моделювання процесу зниження працездатності ножів машин для земляних робіт за рахунок їх зношення;

– визначення втрат палива в грошовому вимірюванні при моделюванні різних закономірностей зношення ножів бульдозера;

– визначення економічного ефекту від підвищення зносостійкості ножів робочого обладнання машин для земляних робіт;

– розробка планування експлуатації ножів робочого обладнання машин для земляних робіт на основі системи ППР.

Порядок виконання РГР здійснювати згідно з даними методичними вказівками.

1.3 Вихідні дані для виконання розрахунково-графічної роботи

Вхідними даними для виконання РГР є:

– потужність двигуна машини N_e , кВт;

– кількість робочих циклів, $n_{ц}$, цикл/год;

– тривалість роботи ножів до їх затуплення, t_p^T , рр.;

– тривалість роботи з удосконаленими ножами, t_p^H , рр.

1.4 Оформлення пояснювальної записки

Текст пояснювальної записки викладається на одній сторінці аркуша формату А4 (210x297 мм) відповідно до вимог щодо оформлення текстової документації і складається з розділів, підрозділів, пунктів та підпунктів, а також ілюстрацій, формул, таблиць, додатків.

У кінці пояснювальної записки надається список літератури. Обсяг пояснювальної записки складає приблизно 25...35 сторінок.

Структурне оформлення пояснювальної записки виконується у такій послідовності:

а) титульний лист;

б) зміст, що відображає структурні складові РГР;

в) вступ, в якому коротко викладається сутність дисципліни;

г) перший розділ відображає призначення дисципліни, формулюється мета, завдання та порядок виконання РГР, даються рекомендації щодо оформлення пояснювальної записки і графічних матеріалів;

д) наступні розділи записки відображають головну сутність та формулюється основний висновок РГР;

- е) подаються графічні матеріали;
- є) список літератури є кінцевим результатом пояснювальної записки.

1.5 Оформлення графічної частини

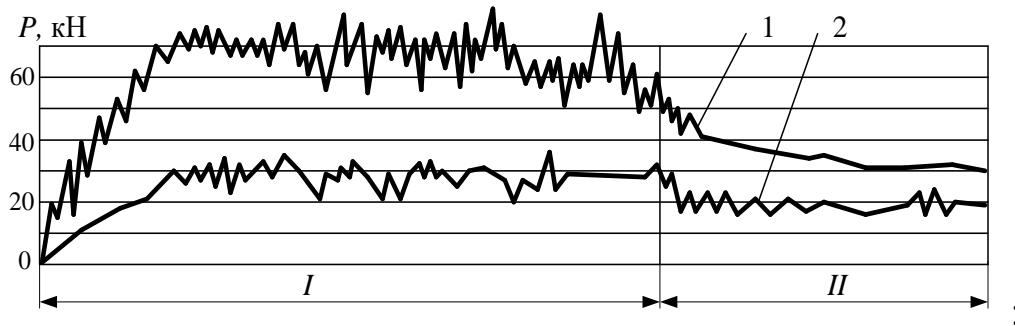
Графічна частина РГР виконується на сторінках аркуша формату А4 з дотриманням вимог стандартів (ЄСКД та ЄСТД). На кресленнях подаються конструкція середніх бокових ножів землерийно-транспортних машин в стані їх виготовлення, розробки засобів оцінки зміни стану ножів в умовах експлуатації та розробка системи планування експлуатації до моменту вичерпання ресурсу роботи ножів машин для земляних робіт.

2 ВИЗНАЧЕННЯ СТАНУ НОЖІВ РОБОЧОГО ОБЛАДНАННЯ МАШИН ДЛЯ ЗЕМЛЯНИХ РОБІТ

Теоретичне розв'язання задачі з визначення річного економічного ефекту за рахунок встановлення фактичного стану ножів робочого обладнання (РО) машин для земляних робіт (МЗР) базується на наукових роботах [1-5].

2.1 Загальні відомості про зносостійкість ножів робочого обладнання машин для земляних робіт

Навантаження, яке діє на робочі поверхні ножа, як показують відомі дослідження, результати їх наведено на рисунку 2.1, мають змінний характер, обумовлений неоднорідністю ґрунту, різною товщиною його стружки, опорами копання ґрунту та іншими факторами, що призводять до його зношення.



I, II – копання та транспортування ґрунту; 1,2 – температура зовнішнього середовища ($t_{zc} = 20^\circ\text{C}$) та ($t_{zc} = -20^\circ\text{C}$), відповідно

Рисунок 2.1 – Характер дії навантаження на ніж бульдозера

Швидкість зношення ножів ϑ визначається як

$$\vartheta = A p K_{\text{учд}} f s t_{\text{к}} K_{\text{зн}} (K_{\text{абр}} / K_{\text{кзн}}) K_{t20} K_{\text{шр}}, \quad (2.1)$$

де A – коефіцієнт пропорційності, МПа^{-1} ;

p – тиск на робочу поверхню ножа, МПа ;

$K_{\text{учд}}$ – коефіцієнт, що враховує вплив частоти зміни тиску на ніж;

f – коефіцієнт тертя;

s – відстань, яка характеризується тертям ножів за 1 мотогодину;

$t_{\text{к}}$ – тривалість копання за 1 мотогодину;

$K_{\text{зн}}$ – коефіцієнт, що враховує затуплення ножів РО;

$K_{\text{абр}}$ – коефіцієнт абразивності ґрунту;

$K_{\text{кзн}}$ – коефіцієнт зносостійкості ножів РО;

K_{t20} – коефіцієнт, що враховує стан температури зовнішнього середовища;

$K_{\text{шр}}$ – коефіцієнт, що враховує швидкість руху машини.

Ресурс роботи ножів РО можна розрахувати за формулою

$$t_{\text{н}} = U_{\text{д}} / \vartheta, \quad (2.2)$$

де $U_{\text{д}}$ – допустиме зношення ножів складає величину 120...150 мм.

Ресурс ножів бульдозерів, за відомими дослідженнями, наведено в таблицях 2.1 і 2.2.

Таблиця 2.1 – Зіставлення результатів випробування ножів

| Сталь | Швидкість зношення, мкм/год | Ресурс, мотогодин | Похибка результатів |
|--|-----------------------------|-------------------|---------------------|
| Ст. 5 при наплавленні шаром сталініту вуглецевим електродом | 49,1/47,2 | 790/820 | 3,8 |
| Ст. 5 при наплавленні шаром сталініту карбідом бора | 22,2/25 | 1850/1620 | 12,4 |
| Ст. 5 при плавці ПЛ-У30Х30Г8ТО | 22,9/25,2 | 1790/1611 | 10 |
| Ст. 5 при наплавленні ПЛ-110Г13Л | 51,5/55,4 | 840/780 | 7,1 |
| Примітка – В чисельнику наведено дані, які отримано в експлуатаційних умовах, в знаменнику – в лабораторних умовах | | | |

Наведені залежності не дозволяють визначити вплив величини зношення ножів РО на продуктивність МЗР і витрати палива ДВЗ. Для розв'язання задачі в такій постановці скористаємось системним підходом. Визначення рівня затуплення ножів робочого обладнання МЗР базується на розгляді техніко-економічних показників системи «оператор МЗР», позначимо як (ОМЗР), зокрема на встановленні витрат палива і експлуатаційної продуктивності, на які впливають зміна внутрішнього стану цієї системи через зношення ножів.

З цього можна зробити висновок про те, що зношеність ножів РО впливає на зростання неефективних витрат палива і зменшення рівня продуктивності системи ОМЗР. Задача встановлення питомого показника, який визначається через параметри зміни витрат палива і зміни продуктивності системи ОМЗР, і зводиться до оптимізаційного розв'язання (постановку її сформульовано в [5], а результати оптимізаційного методу рішення наведено в дослідженнях [2-5]).

Таблиця 2.2 – Зносостійкість різних сталей

| Сталь | Швидкість зношення, мкм/год | Ресурс, мотогодин | Відносна зносостійкість |
|------------------------------------|-----------------------------|-------------------|-------------------------|
| 110Г13Л | 55 | 715 | 1 |
| 350ГТ | 53,2 | 750 | 1,05 |
| 15ХСНД | 39,2 | 1020 | 1,43 |
| 60С2ХА | 36,4 | 1100 | 1,54 |
| 65Г з односторонньою термообробкою | 31 | 1290 | 1,8 |
| 45 без термообробки | 127 | 315 | 0,44 |
| 45 з термообробкою | 22 | 3960 | 2,56 |

Подана спроба наукового обґрунтування встановлення гранично допустимого рівня затуплення ножів МЗР, тобто на основі імітаційного моделювання без проведення експериментальних досліджень. Визначення оптимальної величини за рівнем зношення ножів МЗР дозволить вирішити багато інших питань, наприклад [2-5] при встановленні темпу відновлення ножів РО МЗР, розрахунку необхідної кількості виготовлення ножів та при необхідності забезпечення реконструкцій підприємств для виробництва ножів.

2.2 Теоретичне обґрунтування процесу зміни працездатності ножів

Визначення величини допустимого зношення ножів РО базується на розгляді системи ОМЗР з характерним для неї входом, виходом і змінним внутрішнім станом. Складові такої системи залежать від рівня зношення (затуплення) ножів робочого обладнання. В складі системи ОМЗР розглядатимемо найбільш вагомий її елементи, з'єднання яких між собою подано на рисунку 2.2, з якого видно, що крім МЗР основною складовою системи являється оператор, навколишнє середовище і ґрунт, як робочий об'єкт. Як припущення приймемо, що оператор не

впливає на продуктивність та на величину витрат палива і який виконує необхідні технічні обслуговування всіх підсистем МЗР.

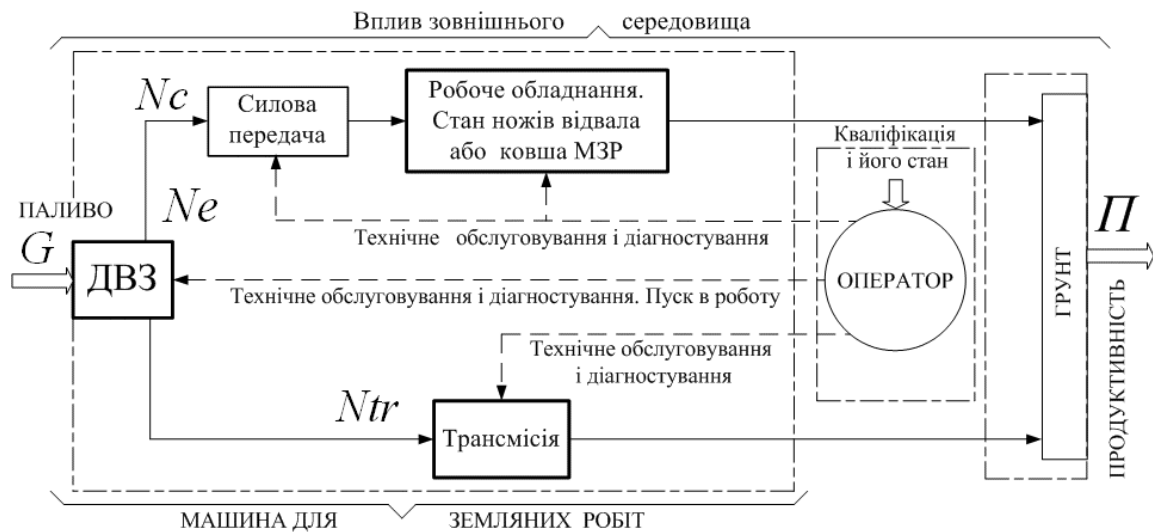


Рисунок 2.2 – Структурна схема з’єднання елементів системи МЗР

Прийmemo також як припущення, що навколишнє середовище не впливає на витрати палива і на рівень продуктивності МЗР. Таким чином, будемо рахувати, що продуктивність і рівень витрат палива залежить, в основному, від стану ножів РО МЗР при незмінних показниках ґрунту. Для виконання поставленої задачі використаємо ряд таких понять [2-5]: – ідеальна і реальна ОМЗР; – фактичні витрати і втрачені можливості щодо продуктивності і витрат палива. Під ідеальною ОМЗР розуміємо таку, яка має сталі показники і знаходиться в працездатному стані та забезпечує упродовж всього терміну своєї роботи незмінну максимально можливу річну продуктивність Π і витрачає для цього однакову кількість палива G при незмінній Ne потужності ДВЗ, які визначаються за формулами

$$\Pi = P_m \cdot t_p \cdot d_p \cdot L_j, \quad (2.3)$$

$$G = Ne \cdot g_N \cdot t_p \cdot d_p \cdot L_j, \quad (2.4)$$

де P_m - експлуатаційна продуктивність;

t_p - число годин роботи машини упродовж доби;

d_p - число робочих днів упродовж року;

L_j - термін служби машини;

Ne - потужність ДВЗ, що витрачається на виконання експлуатаційної продуктивності з урахуванням навантаження і особливостей використання машини упродовж часу роботи ;

g_N - питомі витрати палива.

Під реальною ОМЗР розуміємо таку, у якій при затупленні ножів зменшується продуктивність та зменшуються фактичні витрати палива, які йдуть на виконання цієї продуктивності і розраховуються за формулами

$$Pv_{i,j} = P_m \cdot t_p \cdot d_p \cdot L_j \cdot ho_{i,j}, \quad (2.5)$$

$$Gv_{i,j} = Ne \cdot g_N \cdot t_p \cdot d_p \cdot L_j \cdot ho_{i,j}, \quad (2.6)$$

де $ho_{i,j}$ - фактичний рівень затуплення ножів РО МЗР.

Під втраченими можливостями розуміємо такі, які не реалізовані через зношення ножів РО. Втрачені можливості щодо продуктивності та витрат палива, які залежать від рівня зношення ножів, складають величину

$$\Delta PN_{i,j} = P_m \cdot t_p \cdot d_p \cdot L_j \cdot (1 - ho_{i,j}), \quad (2.7)$$

$$\Delta G_{i,j} = Ne \cdot g_N \cdot t_p \cdot d_p \cdot L_j \cdot (1 + ho_{i,j}). \quad (2.8)$$

Математична залежність з визначення межі допустимого затуплення (зношення) ножів встановлюється на основі цільової функції з вказаними вище допущеннями та рядом обмежень. В безрозмірному вигляді цільова функція визначення гранично допустимого зношення ножа має вигляд

$$K(1, p, e)_{i,j} = \frac{(1 - ho_{i,j})^2 + (1 + ho_{i,j}) \cdot ho_{i,j}}{1 - ho_{i,j}^2} \Rightarrow \min. \quad (2.9)$$

Величина рівня затуплення ножів $ho_{i,j}$ РО упродовж t_j поточного терміну служби МЗР в залежності від h_i поточного рівня затуплення ножів є невідомою, тому їх характер подамо у вигляді таких закономірностей:

- лінійний характер поточного зношення ножів РО
 – лінійний по напрацюванню, $hat_{i,j} = hta_{i,j} = do \cdot t_j \cdot h_i$, (2.10)

– параболічний по напрацюванню, $hpt_{i,j} = (b \cdot t_j + a \cdot t_j^2) \cdot h_i$, (2.11)

– експоненціальний по напрацюванню,

$$het_{i,j} = Ae0 \cdot h_i \cdot e^{(t_j^{n1} \cdot Ae1)}, \quad (2.12)$$

- параболічний характер поточного зношення ножів РО

– лінійний по напрацюванню, $htp_{i,j} = c \cdot t_j \cdot h_i^2$, (2.13)

- експоненціальний характер поточного зношення ножів РО

– лінійний по напрацюванню, $hte_{i,j} = Ae2 \cdot t_j \cdot h_i^{n2} \cdot e^{Ae3}$, (2.14)

- прискорений параболічний характер поточного зношення ножів РО

– параболічний по напрацюванню,
 $hpot_{i,j} = (m1 \cdot \sqrt{t_j} - m2 \cdot t_j) \cdot \sqrt{h_i}$, (2.15)

де $do, a, b, c, Ae0, Ae1, Ae2, Ae3, n1, n2, m1, m2$ - константи рівнянь для визначення закономірностей, що моделюють процес зношення ножів РО у вигляді лінійного, параболічного і експоненціального, відповідно.

2.3 Визначення величини допустимого зношення ножів

Термін служби МЗР складає 13 років. Коефіцієнти, що забезпечують відповідний характер зношення ножів РО МЗР, складають такі значення: $do=0,77$; $a=0,052$; $b=0,0093$; $c=0,078$; $Ae0=0,0001$; $Ae1=3,695$; $Ae2=0,038$; $Ae3=0,71$; $n1=0,356$; $n2=4$; $m1=0,284$; $m2=0,002$. Результати, що представлені на рис. 2.3 а) і

б) показують деякі із можливих закономірностей зношення ножів РО МЗР.

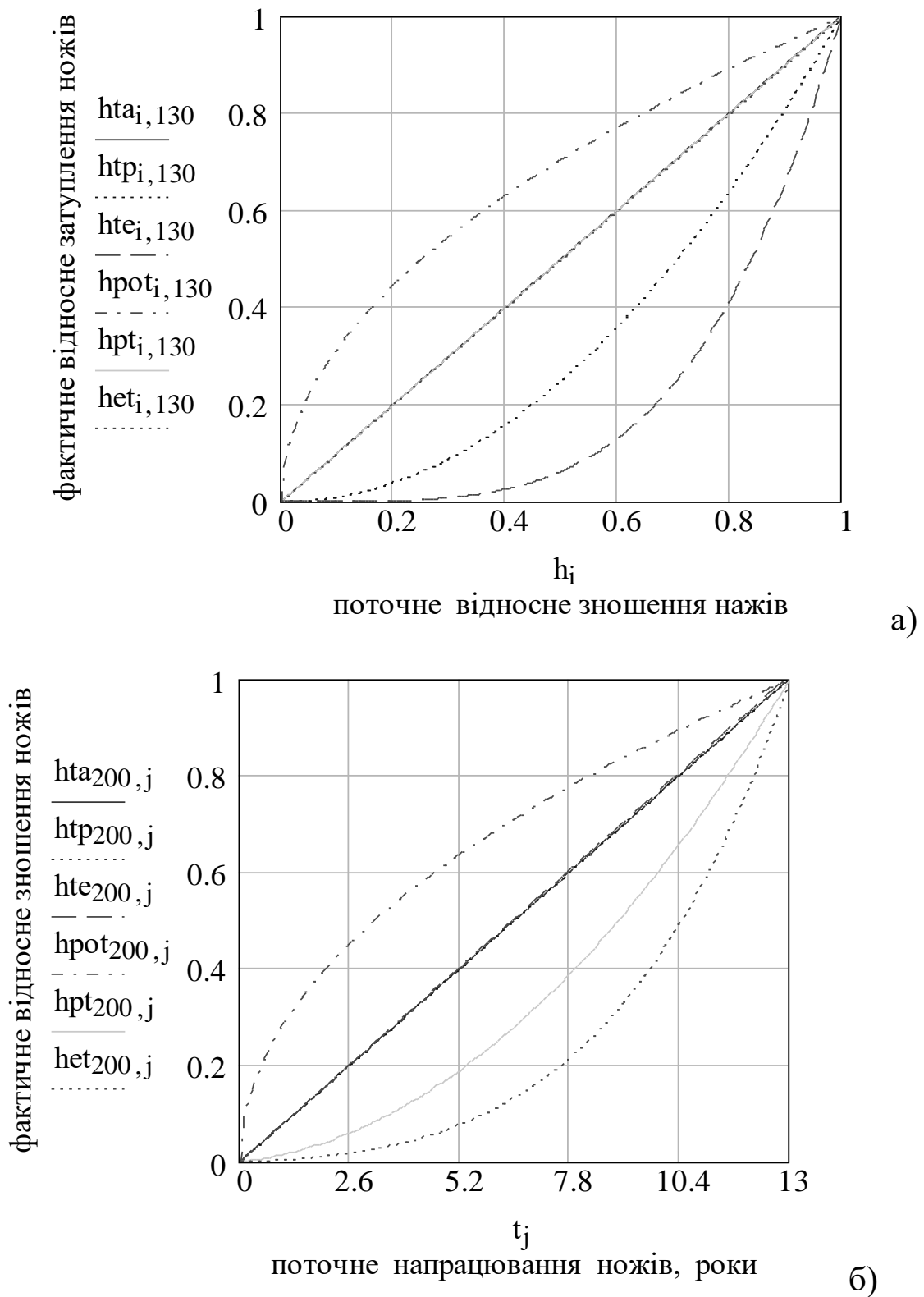
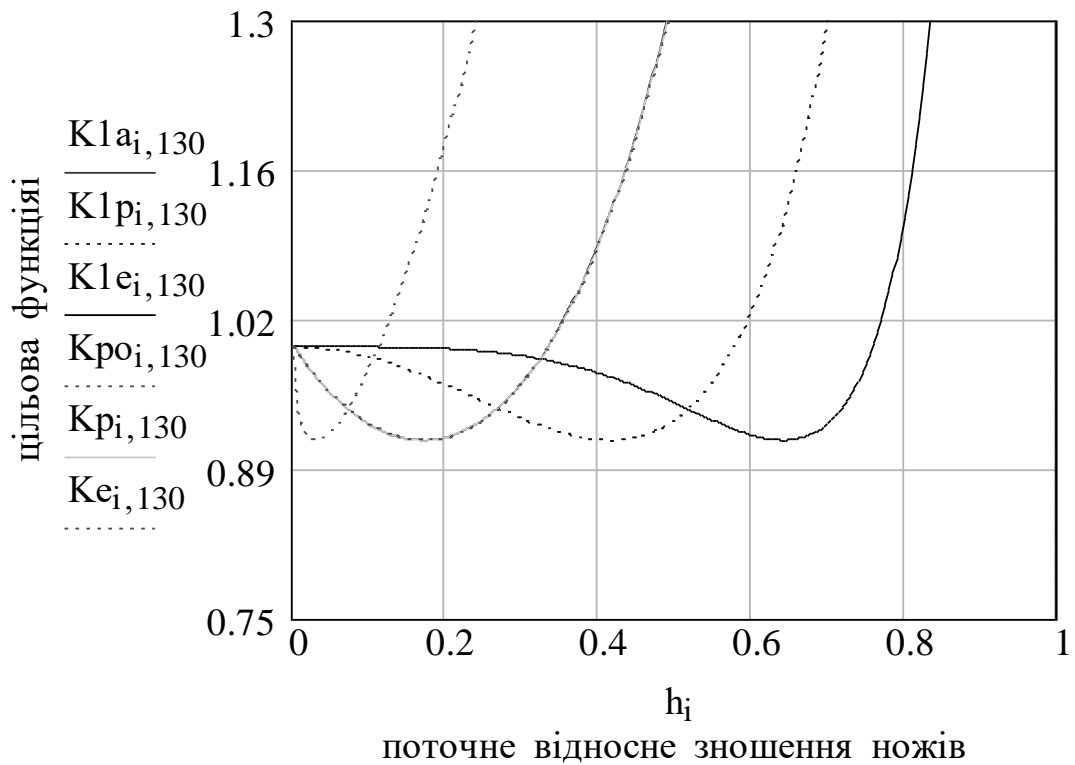
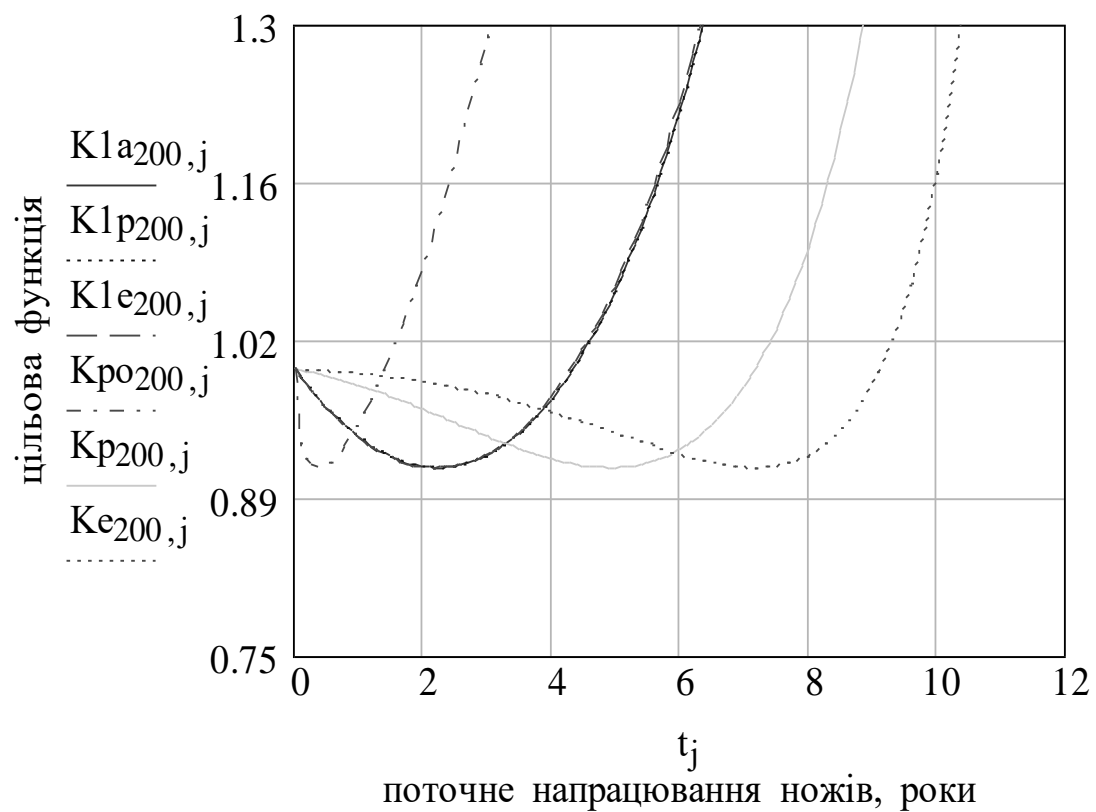


Рисунок 2.3 – Прийняті закономірності зношення ножів РО МЗР

Графічне розв'язання залежності (2.9) щодо визначення допустимого зношення ножів РО МЗР наведено на рисунку 2.4.



a)



б)

Рисунок 2.4 – Визначення допустимого зношення ножів РО МЗР

Позначення на рисунку 2.4 характеризують таке:

K_{1a} , K_p , K_e – лінійний характер поточного зношення та лінійний, параболічний і експоненціальний характер зношення по напрацюванню, відповідно;

K_{1p} , K_{1e} – параболічний і експоненціальний характер поточного зношення та лінійний характер зношення по напрацюванню, відповідно;

K_{p0} – параболічний характер поточного зношення та параболічний характер зношення по напрацюванню.

Розрахунковим методом, на основі залежності (2.9) визначено допустимий рівень зношення ножів РО МЗР та термін напрацювання до досягнення допустимого рівня зношення ножів, результати яких наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Визначення умов ефективного використання ножів РО МЗР

| Характер поточно-го відносного зношення ножів РО | Ефективного використання ножів РО МЗР | |
|--|--|-----------------------------|
| | за величиною допустимого відно-сного зношення ножів РО МЗР | за напрацюван-ням МЗР, роки |
| лінійний | 0,17 | 2,3 |
| параболічний | 0,415 | 5,0 |
| експоненціаль-ний | 0,645 | 7,2 |
| параболічний прискорений | 0,03 | 0,4 |

Із аналізу результатів, поданих у таблиці 2.3, випливає, що граничний рівень ефективного використання ножів РО МЗР залежить від інтенсивності їх зношення.

2.4 Визначення витрат палива за рахунок зміни працездатності ножів робочого обладнання машин для земляних робіт

Показники ефективності функціонування системи ОМЗР (величина витрат палива і експлуатаційна продуктивність) при передачі енергії через силову передачу від первинного двигуна – двигуна внутрішнього згорання безпосередньо до ґрунту залежать для даної системи від внутрішнього стану, який, у свою чергу, залежить від рівня зношення (затуплення) ножів РО МЗР.

Методології визначення величини допустимого (оптимального) зношення ножів РО МЗР при взаємодії їх з ґрунтом в складі системи ОМЗР присвячена робота [5].

Затуплення ножів РО МЗР за межами допустимого зношення призводить до підвищення витрат палива ДВЗ і зниження експлуатаційної продуктивності МЗР як складної системи ОМЗР.

Визначення фактичного стану ножів РО можна забезпечити інструментальними засобами, розробка і виготовлення яких не викликає особливих ускладнень. Оцінка стану ножів РО МЗР може виконуватись за рівні інтервали напрацювання.

На підставі наведеного ефективність використання системи ОМЗР визначається як величина витрат палива у грошовому значенні, який як результат розраховується як різниця між витратами палива при граничному зношенні ножів і витратами палива в стані гострих ножів з урахуванням вартості палива та витрат на купівлю ножів для РО МЗР на їх заміну.

Результатами даних досліджень є визначення величини витрат палива (грошей) при врахуванні стану ножів РО МЗР в залежності від закономірностей їх зношення в умовах функціонування системи ОМЗР. Для їх отримання необхідно вирішити таке:

- обґрунтувати математичні залежності для визначення експлуатаційної продуктивності, витрат палива, які залежать від закономірностей зношення ножів РО МЗР системи ОМЗР;
- обґрунтувати отримані результати і зробити висновки про доцільність використання імітаційного моделювання процесу зношення ножів РО МЗР в процесі функціонування системи

ОМЗР та розробку напрямків з підвищення працездатності ножів в умовах експлуатації.

Для машин циклічної дії (циклова) експлуатаційна продуктивність P_e , м³/год, при різанні (копанні) ґрунту такими машинами, як бульдозери, скрепери, екскаватори, навантажувачі, автогрейдери, визначається на основі даної залежності:

$$P_e = (V_{гр} \kappa_n \kappa_b) / (3600 t_{ц} \kappa_p), \quad (2.16)$$

де $V_{гр}$ – об'єм переміщуваного ґрунту (геометрична місткість ковша чи відвала), м³;

κ_n – коефіцієнт наповнення (для скреперів, екскаваторів), для бульдозера прийmemo 0,87;

κ_b – коефіцієнт використання робочого часу;

κ_p – коефіцієнт розпушування ґрунту, для бульдозера прийmemo 1,2;

$t_{ц}$ – тривалість робочого циклу, с.

Час, що витрачається на виконання одного циклу роботи МЗР, складає

$$t_{ц} = 3600 / n_{ц}, \quad (2.17)$$

де $n_{ц}$ – кількість циклів за годину.

Якщо коефіцієнт використання МЗР за часом для даних умов роботи κ_b є близьким до одиниці, тоді циклова експлуатаційна продуктивність за годину роботи дорівнюватиме

$$P_{e.г} = (V_{гр} \kappa_n n_{ц}) / \kappa_p. \quad (2.18)$$

Річна експлуатаційна продуктивність МЗР без урахування процесу зношення ножів РО МЗР складатиме:

$$\text{один рік або більше} \quad P_{e.p.max} = P_{e.г} d_p, \quad (2.19)$$

$$\text{менше одного року} \quad P_{e.max} = P_{e.г} d_p t_p, \quad (2.20)$$

де d_p – число робочих годин упродовж року при однозмінній роботі машини;

t_p – тривалість роботи ножів РО МЗР до граничного їх затуплення, рр.

Число робочих годин упродовж року при однозмінній роботі, наприклад для бульдозерів, складає $d_p = 1722,5$ год.

Річна експлуатаційна продуктивність МЗР системи ОМЗР з урахуванням процесу зношення ножів РО визначатиметься за формулами в залежності від тривалості в роках до їх заміни:

$$\text{один рік або більше } P_{e.p} = P_{e.p.\max} (1 - h_n / t_p), \quad (2.21)$$

$$\text{менше одного року } P_e = P_{e.\max} (1 - h_n), \quad (2.22)$$

де h_n – величина допустимого рівня затуплення ножів РО МЗР.

Витрати палива за рік роботи (з однозмінною тривалістю робочого дня) при використанні номінальної N_e потужності ДВЗ без урахування стану ножів РО МЗР визначаються як:

один рік або більше

$$G_{п.р} = (1,03 \cdot 10^{-3} N_e q_{дв} k_N k_{дв} k_{дп} d_p) / \gamma_{п}, \quad (2.23)$$

менше одного року

$$G_{п} = (1,03 \cdot 10^{-3} N_e q_{дв} k_N k_{дв} k_{дп} d_p t_p) / \gamma_{п}, \quad (2.24)$$

де $q_{дв}$ – питомі витрати дизельного палива при номінальній потужності, г/(кВт·год);

k_N – коефіцієнт, що враховує зміну витрат палива в залежності від використання двигуна по потужності, прийmemo 1,1;

$k_{дв}$, $k_{дп}$ – коефіцієнти, що враховують використання двигуна за часом роботи і по потужності, прийmemo, відповідно 0,86 і 0,52;

$\gamma_{п}$ – питома щільність дизельного палива, кг/дм³.

Витрати на паливо за рік при однозмінній роботі в грошовому вимірюванні з врахуванням процесу зношення ножів РО розраховуються в залежності від тривалості в роках до їх заміни:

$$\text{один рік або більше} \quad B_{п.р} = G_{п} (1 + h_{н} / t_{р}), \quad (2.25)$$

$$\text{менше одного року} \quad B_{п} = G_{п} (1 + h_{н}). \quad (2.26)$$

Втрати палива в грошовому визначенні, що залежать від величини допустимого зношення ножів РО і з врахуванням їх вартості та витрат на заміну на нові при використанні системи ОМЗР встановлюються за формулами:

– один рік або більше

$$E_{вт} = \left(\frac{B_{п.р}}{\Pi_{е.р}} - \frac{G_{п.р}}{\Pi_{е.р.макс}} \right) Z_{п} \Pi_{е.р.макс} + \frac{S_{н}}{t_{р}}, \quad (2.27)$$

– менше одного року

$$E_{вт} = \left(\frac{B_{п}}{\Pi_{е}} - \frac{G_{п}}{\Pi_{е.макс}} \right) \left(\frac{Z_{п} \Pi_{е.макс}}{t_{р}} \right) + \frac{S_{н}}{t_{р}}, \quad (2.28)$$

де $S_{н}$ – вартість ножів і витрати на заміну зношених на нові, грн.

Не менш важливою інформацією є визначення ефективності використання ножів РО за межами допустимої величини їх зношення.

Витрати палива для системи ОМЗР при її функціонуванні в межах допустимого зношення ножів РО $B_{п.гр}$ і за межами його зношення $B_{п.з.гр}$ в залежності від тривалості в роках до заміни ножів визначаються як:

– один рік або більше

$$B_{п.гр} = G_{п.р} (1 + h_{н}), \quad (2.29)$$

$$B_{п.з.гр} = G_{п.р} (1 + h_{н} + \Delta h_{н}), \quad (2.30)$$

– менше одного року

$$B_{п.гр} = G_{п} (1 + h_{н}), \quad (2.31)$$

$$B_{п.з.гр} = G_{п} (1 + h_{н} + \Delta h_{н}). \quad (2.32)$$

Експлуатаційна продуктивність в межах $\Pi_{п.гр}$ і за межами $\Pi_{п.з.гр}$ граничного допустимого зношення ножів РО при напрацюванні в залежності від тривалості в роках до заміни ножів визначається за формулами:

– один рік або більше

$$\Pi_{п.гр} = \Pi_{е.р.макс} (1 - h_{н}), \quad (2.33)$$

$$\Pi_{п.з.гр} = \Pi_{е.р.макс} (1 + h_{н} + \Delta h_{н}), \quad (2.34)$$

– менше одного року

$$\Pi_{п.гр} = \Pi_{е.макс} (1 - h_{н}), \quad (2.35)$$

$$\Pi_{п.з.гр} = \Pi_{е.макс} (1 + h_{н} + \Delta h_{н}), \quad (2.36)$$

де $\Delta h_{н}$ – величина відносного перевищення межі допустимого зношення ножів РО МЗР системи ОМЗР.

Втрати палива за одну годину роботи в грошовому вимірюванні при використанні системи ОМЗР у випадку перевищення зношення ножів РО МЗР відносно допустимої (оптимальної) величини зношення ножів в залежності від тривалості в роках до заміни ножів встановлюються за формулами:

- один рік або більше

$$E_{вт} = \left(\frac{B_{п.р}}{\Pi_{е.р}} - \frac{G_{п.р}}{\Pi_{е.р.макс}} \right) \left(\frac{Z_{п} \Pi_{е.р.макс}}{d_{р}} \right), \quad (2.37)$$

- менше одного року

$$E_{\text{вт}} = \left(\frac{B_{\text{п.р}}}{\Pi_{\text{е.р}}} - \frac{G_{\text{п.р}}}{\Pi_{\text{е.р. max}}} \right) \left(\frac{Z_{\text{п}} \Pi_{\text{е.р. max}}}{d_{\text{п}} t_{\text{п}}} \right). \quad (2.38)$$

Залежності (2.10), (2.11), (2.12), (2.13), (2.14) і (2.15) дозволяють визначити вплив різних закономірностей процесу зношення ножів РО МЗР на величину втрат палива і на підставі цього розробити напрямки для вдосконалення ножів таких машин.

2.5 Визначення втрат палива в грошовому вимірюванні при моделюванні різних закономірностей зношення ножів для бульдозера

Розв'язання задачі розглянемо на прикладі роботи бульдозера кл. 3 тс. потужністю $N_e = 55$ кВт з питомими витратами палива $q_{\text{дв}} = 270$ г/(кВт год) при розробці ним ґрунту II категорії з вогкістю 10...18 % на ділянці 40 м, при цьому кількість циклів, виконаних машиною за годину, складає $n_{\text{ц}} = 46$.

Вартість дизельного палива складає $Z_{\text{п}} = 6,55$ грн за 1 літр при питомій щільності $\gamma_{\text{п}} = 0,85$ кг/дм³.

Тривалість роботи ножів РО МЗР $t_{\text{п}}$ до граничного їх затуплення в роках та величини допустимого рівня затуплення ножів РО МЗР $h_{\text{ц}}$ в залежності від закономірностей їх зношення приймаються за даними роботи [5]. Величина відносного перевищення зношення ножів $\Delta h_{\text{ц}}$ РО МЗР за межею допустимого (оптимального) значення прийнята в межах 5 %. Результати розрахунку втрат палива в грошовому визначенні в залежності від закономірностей зношення ножів РО МЗР в межах допустимого значення і при перевищенні цієї межі в складі системи ОМЗР наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 - Втрати палива в грошовому вимірюванні для бульдозерів кл 3 тс

| Характер поточного відносного зношення ножів РО | Втрати палива (2.25) і (2.26) в грошовому вимірюванні визначені до межі допустимого зношення ножів РО МЗР, грн | | Втрати палива (2.35) і (2.36) за годину роботи МЗР при 5 % перевищенні допустимого зношення ножів РО |
|---|--|---|--|
| | без урахування вартості ножів для їх заміни | з урахуванням вартості ножів для їх заміни, що складають 2500/5000, грн | |
| лінійний | 15940 | 17030/18120 | 1,2 |
| параболічний | 18080 | 18580/19080 | 4,26 |
| експоненціальний | 19660 | 20000/20350 | 11,59 |
| параболічний прискорений | 6179 | 12430/18680 | 0,18 |

Аналіз даних, наведених в таблиці 2.4, показує величину втрат палива в грошовому вимірюванні закономірностей зношення ножів РО МЗР до межі допустимого затуплення і за його межами на рівні 5 % перевищення допустимого зношення ножів РО.

Визначити втрати палива в грошовому вимірюванні для лінійної закономірності зношення ножів бульдозера за умови незмінних величин, а змінною величиною прийняти тільки вартість одного літра палива. Навести результати у вигляді окремої таблиці.

3 ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ РОБОТИ НОЖІВ РОБОЧОГО ОБЛАДНАННЯ МАШИН ДЛЯ ЗЕМЛЯНИХ РОБІТ

3.1 Рекомендації для підвищення зносостійкості ножів робочого обладнання машин для земляних робіт

Новими технічними рішеннями та розробками, направленими на підвищення зносостійкості ножів, є такі:

- удосконалення технології обробки поверхні ножів РО МЗР;
- удосконалення процесу заточування поверхні ножів РО МЗР без затрат на придбання та витрат на заміну ножів РО МЗР;
- застосування ефективного наплавлення на поверхню ножів РО МЗР.

Кожна з наведених вище рекомендацій, як окремо, так і разом, приводять до зниження енергетичних втрат, і, як наслідок, – перетворення вивільненої енергії в підвищення тривалості напрацювання ножів і підвищення продуктивності РО МЗР. Одним із напрямків зростання працездатності ножів РО МЗР є підвищення їх зносостійкості за рахунок використання різноманітних наплавлень (сормайт, карбідом бору або вуглецевим електродом і іншими засобами) та глибини зміцнення при об'ємному загартуванні, результати яких наведено в таблицях 3.1 і 3.2.

Таблиця 3.1 – Зносостійкість різних наплавлень (основа ножа - сталь Ст.5)

| Наплавлення | Швидкість зношення, мкм/год | Відносна зносостійкість |
|---------------------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| Сормайт | 13 | 1 |
| Карбід бору по шару сталініту | 11 | 1,18 |
| Вуглецевий електрод по шару сталініту | 18,4 | 0,71 |
| Електрод ТЗ – 6 | 15 | 0,87 |
| Порошок Пл – УЧОХ38Г2 | 11 | 1,18 |
| Електрод Т – 620 | 10 | 1,3 |

Дані, наведені в таблиці 3.1, свідчать про можливість як зниження, так і підвищення зносостійкості ножів РО МЗР в діапазоні від 0,71 до 1,3.

Таблиця 3.2 - Зносостійкість ножів у залежності від глибини зміцнення об'ємним загартуванням

| Глибина загартування, мкм | Швидкість зношення, мкм/год | | Відносна зносостійкість | |
|---------------------------|-----------------------------|--------------|-------------------------|--------------|
| | крайні ножі | середні ножі | крайні ножі | середні ножі |
| Сталь 65 | | | | |
| 2,0...2,5 | 20,3 | 17,8 | 1 | 1,0 |
| 2,5...3,5 | 15,5 | 13,6 | 1,31 | 1,49 |
| 3,5...4,5 | 14,2 | 12,6 | 1,43 | 1,61 |
| Сталь 65 | | | | |
| 2,0...2,5 | 21,5 | 18,5 | 0,95 | 1,1 |
| 2,5...3,5 | 15,8 | 14,7 | 1,28 | 1,38 |
| 3,5...4,5 | 13,6 | 12,2 | 1,49 | 1,66 |

Результати досліджень, наведених в таблиці 3.2, свідчать про можливість підвищення зносостійкості ножів РО МЗР в діапазоні від 1,0 до 1,66.

3.2 Визначення економічного ефекту при підвищенні зносостійкості ножів робочого обладнання машин для земляних робіт

Ефективність роботи від удосконалення ножів РО МЗР можна визначити в такій послідовності.

Для встановлення річного економічного ефекту від впровадження в систему ОМЗР наведених вище нових технічних рішень введемо поняття «нової техніки», а при використанні традиційних ножів РО МЗР – поняття «базової техніки».

Витрати палива за рік роботи (з однозмінною тривалістю робочого дня) при використанні номінальної N_e потужності ДВЗ за умови працездатності більше одного року без урахування зміни стану ножів РО МЗР можна визначити за формулою (2.23).

Витрати палива для системи ОМЗР при функціонуванні її як традиційної $V_{п.гр}^T$, так і нової техніки $V_{п.гр}^H$ в межах допустимого зношення ножів РО і за умови не залежності від терміну працездатності в роках до заміни ножів складають

$$B_{п.гр}^T = G_{п.п} (1 + h_H / t_p^T), \quad (3.1)$$

$$B_{п.гр}^H = G_{п.п} (1 + h_H / t_p^H), \quad (3.2)$$

де h_H – величина відносного допустимого рівня затуплення ножів РО МЗР, приймається за результатами даних досліджень;

t_p^T – тривалість роботи ножів РО МЗР до граничного їх затуплення у традиційної і нової техніки, приймається за результатами даних досліджень, рр.;

t_p^H – тривалість роботи ножів РО МЗР до їх затуплення у нової техніки, приймається на підставі вхідних даних, рр.

Експлуатаційна продуктивність за годину роботи визначається за залежністю (2.18). Річна експлуатаційна продуктивність МЗР без урахування процесу зношення ножів РО МЗР визначається за формулами (2.19 і 2.20).

Експлуатаційна продуктивність системи ОМЗР при функціонуванні її як традиційної $\Pi_{п.гр}^T$, так і нової техніки $\Pi_{п.гр}^H$ в межах допустимого зношення ножів РО в незалежності від тривалості в роках до їх заміни складає

$$\Pi_{п.гр}^T = \Pi_{е.р. \max} (1 - h_H / t_p^T), \quad (3.3)$$

$$\Pi_{п.гр}^H = \Pi_{е.р. \max} (1 - h_H / t_p^H). \quad (3.4)$$

Річний економічний ефект E_p при впровадженні вищевказаних удосконалень, що збільшують термін напрацювання ножів РО МЗР з урахуванням тривалості їх роботи в роках до заміни визначається за формулами:

- один рік або більше

$$E_p = \left(\frac{B_{п.гр}^T}{\Pi_{п.гр}^T} - \frac{B_{п.гр}^H}{\Pi_{п.гр}^H} \right) Z_{п} \Pi_{п.гр}^H - \frac{S_H}{t_p^H}, \quad (3.5)$$

- менше одного року

$$E_p = \left(\frac{B_{п.гр}^T}{\Pi_{п.гр}^T} - \frac{B_{п.гр}^H}{\Pi_{п.гр}^H} \right) (Z_{п} \Pi_{п.гр}^H) / t_p^H - S_H / t_p^H, \quad (3.6)$$

де $Z_{п}$ – ціна дизельного палива, грн;

S_H – вартість ножів і витрати на заміну зношених на нові, грн.

Визначення економічного ефекту розглянуто також на прикладі роботи бульдозера кл. 3 тс. потужністю $Ne=55$ кВт з питомими витратами палива $q_{дв}=270$ г/(кВт·год) при розробці ґрунту II категорії з вологістю 10...18 % на ділянці 40 м з кількістю циклів, що виконуються за годину, складає $n_{ц}=46$. Ціна $Z_{п}$ дизельного палива складає 6,55 грн за 1 літр при питомій щільності $\gamma_{п}=0,85$ кг/дм³. Тривалість роботи ножів t_p^T до граничного їх затуплення в роках та величини відносного допустимого рівня затуплення ножів h_H прийняті за даними роботи [5]. Тривалість роботи бульдозера з удосконаленими ножами (нова техніка) t_p^H за лінійним характером зношення складає три роки, а при параболічному прискореному – 0,5 років.

Результати розрахунку економічного ефекту для вказаних вище даних наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Економічний ефект від зростання тривалості роботи ножів

| Характер зношення ножів РО | Без урахування вартості ножів і витрат на їх заміну | З урахуванням вартості ножів і витрат на їх заміну, що складають 2500/5000 грн |
|----------------------------|---|--|
| лінійний | 3720 | 2887/2054 |
| параболічний прискорений | 6479 | 1479/від'ємний |

Аналіз результатів таблиці 3.3 свідчить про збільшення економічного ефекту за умови зменшення витрат на придбання ножів і витрат на їх заміну.

На 10 подібних МЗР за потужністю величина річного економічного ефекту складатиме від 37 до 64 тис. грн.

При зменшенні витрат на купівлю або заміну ножів РО МЗР для нової техніки S_H^H у порівнянні з традиційною S_H^T при однаковій тривалості роботи в роках до їх заміни величина економічного ефекту $E_{тр}$ розраховується як

$$E_{тр} = (S_H^T - S_H^H) / t_p^T. \quad (3.7)$$

Визначити економічний ефект при зменшенні витрат на купівлю ножів для нової техніки S_H^H , що складає 2500 грн, у порівнянні з традиційною S_H^T , що складає 5000 грн, при однаковій тривалості роботи ножів, наприклад 2,3 роки.

3.3 Розробка системи ППР на підставі результатів працездатності ножів робочого обладнання машин для земляних робіт

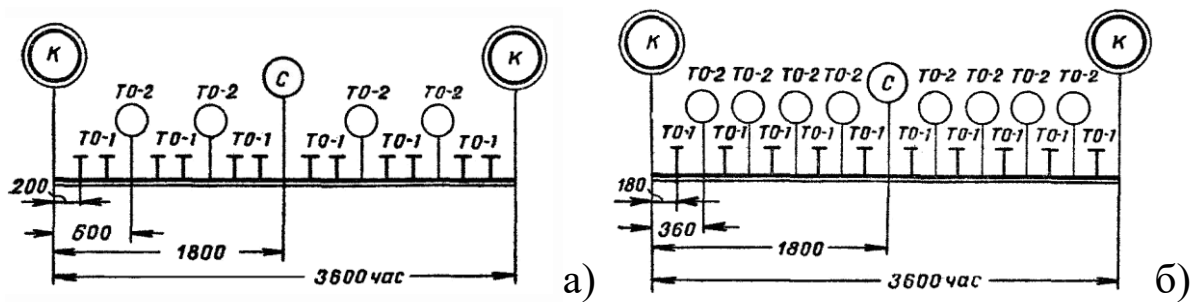
Обсяг робіт, величина міжремонтних інтервалів, число і характер виконання технічних обслуговувань і ремонтів при заміні зношених ножів РО МЗР визначаються їх станом, який залежить від умов експлуатації, типом і конструкцією машини. Всі заходи системи ППР розробляються так, що в кожному наступному вищому заході повторюються обсяги попередніх робіт. Всі інтервали між окремими видами технічного обслуговування ремонтів є кратними між собою. Структура і інтервали часу в графіках технічного обслуговування та ремонту машини можуть бути встановлені на підставі статистичних даних за фактичними середніми термінами служби деталей машин, стан яких залежить від інтенсивності зношення. Пояснення розробки системи ППР показано на конкретному прикладі. Спостереження за зношуванням деталей певної кількості однойменних машин подамо як середні терміни служби цих деталей у наростаючому порядку і розподілимо їх на такі групи, які будуть за термінами

служби близькі до деякого ряду чисел кратних. Такі результати подано у вигляді таблиці 3.4. З наведених результатів видно, що дані по 13 основних деталях машини розподілено на чотири групи з термінами служби окремих груп, близькими до кратного ряду 1; 3; 9 і 18.

Таблиця 3.4 - Термін служби деталей машини

| Номер деталі | Термін служби без ремонту, год | Номер групи деталі | Установлений термін служби, год | Кратність терміну служби | Різниця між фактичним і установленим термінами служби | Найменування ТО і ремонту |
|--------------|--------------------------------|--------------------|---------------------------------|--------------------------|---|---------------------------|
| 1 | 100 | 1 | 200 | 1 | -10 | ТО-1 |
| 2 | 250 | | | | +50 | |
| 3 | 500 | 2 | 600 | 3 | -100 | ТО-2 |
| 4 | 700 | | | | +100 | |
| 5 | 650 | | | | +50 | |
| 6 | 1700 | 3 | 1800 | 9 | -100 | С |
| 7 | 1900 | | | | +100 | |
| 8 | 2000 | | | | +200 | |
| 9 | 2300 | | | | +500 | |
| 10 | 2350 | | | | +550 | |
| 11 | 3500 | 4 | 3600 | 18 | -1000 | К |
| 12 | 3000 | | | | -500 | |
| 13 | 3900 | | | | +100 | |

Результати такого розподілу за даними таблиці 3.1 наведено на рисунку 3.1, а). Ці ж деталі за терміном служби можна розподілити на інші групи, у яких терміни служби будуть давати інший ряд кратних чисел, наприклад: 1; 2; 10 і 20 (з іншою структурою циклу ремонтного графіка) і такі результати наведено на рисунку 3.1, б).



- а) при співвідношенні термінів служби 1; 3; 9; 18;
 б) при співвідношенні термінів служби 1; 2; 10; 20;

Рисунок 3.1 – Графіки ремонту деталей машини

Таким чином, технічне обслуговування і ремонт машини можна виконувати за одним із графіків, наведених на рисунку 3.1. Однак, аналіз результатів за даними таблиці 3.1 показує, що найменше розходження між середніми термінами служби окремих деталей і термінами служби деталей по групі першого ряду. Тому для ремонтного графіка ППР приймається перший ряд з кратністю 1; 3; 9 і 18, тобто графік ППР, що відповідає рисунку 3.1, а).

Отже, схема ремонтного графіка для певної машини при незмінних умовах експлуатації може залишатися постійною. Було б правильніше в основу графіка ППР покласти не тривалість роботи, а обсяг виконаної машиною роботи, яка вимірюється об'ємом переробленого матеріалу. У цьому випадку буде врахований тільки такий фактор, як якість матеріалу, що переробляється. Цілком очевидно, що зношення ножів двох бульдозерів, що працюють в різних ґрунтових умовах, буде різне при розробці однакового об'єму ґрунту.

Виконаний об'єм роботи більш точно можна визначити при її вимірюванні. Для цього необхідно заміряти крутні моменти і число обертів вала двигуна, лінійні швидкості в одиницю часу та інші параметри при використанні відповідних приладів. В даний момент це питання є ще не вирішеним завданням і особливо у взаємозв'язку з процесом зношування ножів робочого обладнання машин для земляних робіт.

На підставі даної методики складання графік ППР з урахуванням знань про закономірності зношення ножів РО МЗР

(за результатами моделювання таких процесів) розробити власний графік ППР. Для розробки графіка ППР прийняти вхідні дані за власним бажанням. Вказати переваги і недоліки системи ППР і показати можливості застосування системи технічної експлуатації ножів машин для земляних робіт за рівнем їх фактичного стану. Надати порівняння і аналіз застосування двох систем технічної експлуатації ножів робочого обладнання машин для земляних робіт.

Висновки

Отримано цільову функцію, що дозволяє визначити умови ефективного використання ножів робочого обладнання МЗР за величиною гранично допустимого рівня їх затуплення та визначити величину економічної ефективності при перевищенні рівня допустимого затуплення ножів.

Доведена ефективність використання імітаційного моделювання процесу зношення ножів РО МЗР в системі ОМЗР та доцільність розробки напрямків з підвищення міцності і ресурсу роботи ножів в умовах експлуатації за рахунок застосування нових матеріалів і методів їх зміцнення.

Виконаними дослідженнями визначено величину річного економічного ефекту від впровадження удосконалень, що направлені на підвищення працездатності ножів, на прикладі, бульдозера кл. 3 тс.

Розробка засобів контролю рівня зношення ножів робочого обладнання машин для земляних робіт дозволяє застосувати систему технічної експлуатації ножів за фактичним станом замість відомої системи ППР.

Список літератури

1 Демішкан, В.Ф. Підвищення якості землерийно-транспортних машин удосконаленням робочого процесу [Текст] / В.Ф. Демішкан, В.В. Нічке. – Харків: ХНАДУ, 2007. – 272 с.

2 Демішкан, В.Ф. Визначення допустимого рівня зношення ножів робочого обладнання машин для земляних робіт [Текст] / В.Ф. Демішкан, М.П. Ремарчук, М.М. Бурмака // Науковий вісник будівництва: зб. наук. пр. – Харків: ХДТУБА, 2009. – Вип. 53. – С. 206-210.

3 Демішкан, В.Ф. Ефективність використання машин для земляних робіт при врахуванні зношення ножів робочого обладнання [Текст] / В.Ф. Демішкан, М.П. Ремарчук, М.М. Бурмака // Науковий вісник будівництва: зб. наук. пр. – Харків: ХДТУБА, 2009. – Вип. 54. – С. 185-189.

4 Демішкан, В.Ф. Визначення економічного ефекту за рахунок удосконалення ножів робочого обладнання машин для земляних робіт [Текст] / В.Ф. Демішкан, М.П. Ремарчук, М.М. Бурмака // Науковий вісник будівництва: зб. наук. пр. – Харків: ХДТУБА, 2009. – Вип.55. – С. 202-207.

5 Ремарчук, М.П. Розвиток наукових основ підвищення ефективності землерийно-транспортних машин [Текст] / М.П. Ремарчук, В.Ф. Демішкан // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка: зб. наук. пр. – Харків: ХНТУСГ, 2010. – Вип.94. – С. 374-379.

