

**УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

**БУДІВЕЛЬНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**Кафедра машинобудування та технічного сервісу машин**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**до виконання практичних занять і самостійних робіт**

**із дисципліни**

***«ОСНОВИ ДІАГНОСТИКИ МАШИН»***

**Частина 1**

**ДІАГНОСТУВАННЯ СТАНУ ГІДРОПРИВОДУ**

**ЗЕМЛЕРИЙНИХ МАШИН**

**Харків – 2024**

Методичні вказівки розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри машинобудування та технічного сервісу машин 24 червня 2024 р., протокол № 10.

У методичних вказівках наведено дані для виконання практичних занять і самостійних робіт із дисципліни «Основи діагностики машин».

Методичні вказівки розроблені для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» освітньої програми «Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, колійні машини та обладнання» усіх форм навчання.

Укладачі:

проф. М. П. Ремарчук,  
зав. навч. лаб. О. В. Кебко

Рецензент

проф. С. В. Воронін

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Загальні відомості про процес діагностування землерийних машин і їхніх складових на основних стадіях життя.....	5
1.1 Основне призначення системи діагностики машин.....	5
1.2 Подальший розвиток системи технічної діагностики машин.....	6
1.3 Основи технології процесу діагностики машин і їхніх складових...	8
1.4 Аналіз стану землерийних машин на всіх стадіях їхнього життя....	11
Науково-практичні завдання.....	12
2 Визначення стану землерийних машин у процесі їхнього функціонування.....	14
2.1 Основні складові землерийної машини в режимі статички.....	14
2.2 Основні складові машини в режимі функціонування.....	15
2.3 Визначення стану машин на основі довідкових параметрів.....	16
2.4 Визначення рівня економії пального при формуванні парку землерийних машин для виконання заданого об'єму робіт.....	25
Науково-практичні завдання.....	28
Список літератури.....	35

## ВСТУП

Метою методичних вказівок (МК) із виконання практичних занять і самостійних робіт є закріплення теоретичних і практичних знань із дисципліни «Основи діагностики машин» (ОДМ). Інформація, наведена в МК з дисципліни ОДМ, знаходиться у взаємозв'язку з дисципліною «Гідро- і пневмоприводи машин», «Гідропневмоавтоматика» і складовими іншими дисциплінами, наприклад «Машини для будівництва шляхів», «Автомобілі і трактори», «Комплексна механізація і автоматизація колійних та будівельних робіт».

Вивчаючи матеріал МК, здобувачі повинні:

- ознайомитися з сучасними особливостями системи технічного діагностування (ТД) землерийних машин (ЗМ) і напрямками подальшого удосконалення;
- обґрунтувати головні показники для оцінювання стану ЗМ в цілому і їхніх основних складових на основі використання відомих параметрів із довідкових наукових джерел;
- ознайомитися з методологією визначення умовно зразкових і звичайних ЗМ на підставі запропонованих показників;
- визначити величину економії пального при роботі звичайних і зразкових ЗМ;
- ознайомитися з процесом формування парку ЗМ за умови мінімальних витрат пального;
- ознайомитися з процесом визначення загального ККД гідросистем із використанням спеціального експериментального обладнання.

Практичні заняття з дисципліни ОДМ базовані на використанні відомої довідкової літератури. Отримані результати досліджень аналізують усі здобувачі групи з обговоренням отриманих результатів і виявленням найкращих показників функціонування ЗМ порівняно з іншими показниками.

# 1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПРОЦЕС ДІАГНОСТУВАННЯ ЗЕМЛЕРИЙНИХ МАШИН І ЇХНІХ СКЛАДОВИХ НА ОСНОВНИХ СТАДІЯХ ЖИТТЯ

## 1.1 Основне призначення системи діагностики машин

Діагностика в перекладі з грецької – процес «діагнозис», що означає результат розпізнавання або визначення стану будь-якого штучного об'єкта. На базі досліджень [1] запропоновано особливий взаємозв'язок усіх складових у структурі технічного діагностування (ТД) машинних систем (МС), що являють собою різні ЗМ як об'єкт діагностики (ОД) із застосуванням засобів діагностики (ЗД) та алгоритму діагностики (АД). У цілому для всіх складових у структурі ТД такий взаємозв'язок подано на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Структурно-логічна схема процесу ТД МС

Слід зазначити, що наведена структурно-логічна схема забезпечує комплексне вивчення процесу ТД для узагальненої МС на прикладі різних ЗМ, до складу яких за їхнього функціонування входить принаймні один оператор (людина), тоді така ЗМ являє собою ЛМС. За умови припущення, що оператор не впливатиме на зміну стану ЗМ, її можна подати як МС. Процес функціонування структурно-логічної схеми, наведеної на рисунку 1.1, не потребує роз'яснення. Додаткових пояснень потребують ряд питань, що стосуються процесу впровадження і застосування системи супутникової навігації, автоматизації та інтелектуалізації в структурі процесу ТД МС. Структурно-логічна схема, наведена на рисунку 1.1, дає змогу розглядати систему ТД при функціонуванні МС як найбільш розповсюджену ЗМ при застосуванні у традиційних умовах роботи і складних і достатньо дорогих за вартістю для впровадження супутникових систем навігації, за відомими дослідженнями Коніна В. В., Приходька І. А., Шишкова Ф., Скорика Є. Т., Кондратюка В. М.

## **1.2 Подальший розвиток системи технічної діагностики машин**

Взаємозв'язок у системі супутникової навігації, що включає розробника МС із забезпеченням процесу автоматизації та інтелектуалізації системи ТД, наземної станції для приймання інформації, розробника, власника та користувача МС, зображено на рисунку 1.2. Впровадження такої системи навігації потребує вирішення не тільки перелічених вище проблем, але і нових наукових завдань. На сьогодні такі питання є трудомісткими, пов'язаними з забезпеченням процесу передавання інформації між складовими системи навігації, перетворення і відображення її на доступному рівні для подальшого використання і розвитку системи ТД. Основним завданням системи супутникової навігації є визначення просторово-годинних координат і передавання діагностичної

інформації всім складовим у структурі супутникової навігації, створеної і отриманої системою GPS або іншими системами. Для впровадження такої системи потрібно виконання складних і значних за обсягом наукових досліджень і фінансових витрат.



Рисунок 1.2 – Схема системи супутникової навігації з елементами дистанційного діагностування ЗМ як МС в цілому та її складових

Розвиток усіх складових системи супутникової навігації, за рисунком 1.2, можливий одночасно з удосконаленням складових МС у вигляді ЗМ, ЗД і АД. Застосування супутникової навігації дає змогу значно прискорити процес ТД для визначення стану МС і її окремих складових. Визначення стану МС в цілому як ОД у вигляді ЗМ і їхніх складових слід забезпечити за величиною ККД. При цьому цей процес слід розпочинати безпосередньо з самої МС, тобто ЗМ. Якщо загальний стан МС у цілому за величиною ККД, як ОД, складає значення менше мінімально допустимого рівня, то діагностувати стан необхідно кожного з ОД у структурі МС. За умови знання нормативних значень величин ККД на початковій стадії експлуатації МС і знання фактичного рівня зниження за величиною ККД для одного з ОД у складі ТВ слід прийняти відповідне рішення. Так, якщо відхилення за величиною ККД не перевищує допустимий рівень зниження для певного ОД, тоді продовжується процес діагностування інших ОД у складі МС. Якщо величина загального ККД для конкретного ОД переходить за рівень мінімально допустимого зниження, то шукають

елемент, який призводить до такого результату, і його заміняють. АД здатний ефективно функціонувати в системі МС тільки з елементами штучного інтелекту.

Використання його з системою супутникової навігації [1] дасть змогу значно скоротити пошук складових МС, які є причиною зниження ККД, і забезпечити умови для доставлення нових складових безпосередньо до ЗМ для заміни їх у структурі МС.

### **1.3 Основи технології процесу діагностики машин і їхніх складових**

До складу ТД МС належать різні ЗМ, які розрізняються між собою тривалістю виконання робочого процесу. За рівнем тривалості робочого процесу ЗМ поділяються на машини циклічної і безперервної дії.

Циклічний робочий процес характерний для більшості ЗМ, зокрема бульдозерів, скреперів, автогрейдерів та інших машин, крім роторних і ланцюгових екскаваторів, для яких властивий безперервний режим. Робочий режим ЗМ циклічної дії складається з процесу копання та переміщення ґрунту і зворотного руху для устанавлення ЗМ в початковий стан, як це видно з рисунка 1.3, а, б.

Особливість розташування ковшів по периметру колеса в роторних екскаваторів забезпечує йому безперервний робочий процес. Конструктивне виконання такого екскаватора показано на рисунку 1.3, в.



Рисунок 1.3 – Особливості робочого процесу бульдозера і конструктивне виконання робочого обладнання роторного екскаватора



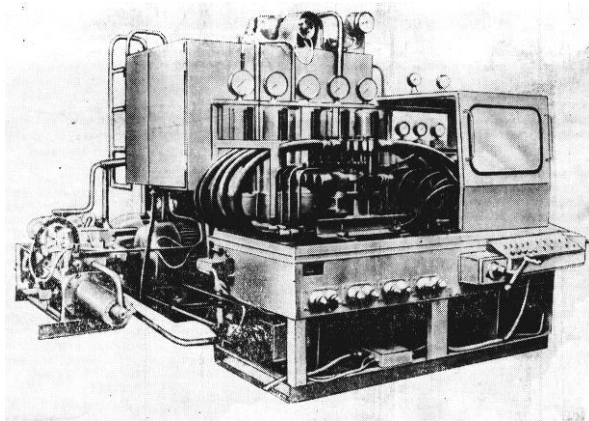
Уперше процес ТД для ЗМ розпочинається на етапі завершення їх виробництва при використанні спеціалізованого обладнання.

У таких державах, як ФРН, США і Франція, на заводах фірми LIEBHERR оцінювання технічного стану відбувається на стадії приймальних випробувань при завершенні процесу виготовлення екскаваторів, що підтверджується фото з проспектів фірми LIEBHERR. Визначення технічного стану екскаваторів проводиться з використанням комп'ютерних засобів вимірювання параметрів, як це показано на рисунку 1.4, а, з приводним двигуном у двох варіантах виконання: повітряним охолодженням потужністю 125 кВт (170 к. с.) і витратами пального (17,5 – 22,5) дм<sup>3</sup>/год; водяним охолодженням потужністю 112 кВт (152 к. с.) і витратами пального (19,5 – 25) дм<sup>3</sup>/год.

На сьогодні сучасні ЗМ, у тому числі екскаватори, є гідрофікованими. Для оцінювання стану всіх елементів гідросистем таких ЗМ необхідно визначити їхній реальний стан ще до монтування в структуру ЗМ. Це найбільш ефективно можна виконати на основі застосування спеціалізованого випробувального стенда (рисунок 1.4, б).



а)



б)

Рисунок 1.4 – Визначення стану ЗМ і її складових на стадії завершення виробництва

В умовах експлуатації різних ЗМ за їхнім функціональним призначення визначити стан машин в цілому, а також її складових можна за рахунок застосування спеціально створених ЗД і АД. Основою створення сучасних ЗД є тензодатчики (рисунок 1.5, а).

Застосування різних тензодатчиків за конструктивним виконанням дає змогу створити вимірювальні датчики для перетворення різних фізичних параметрів в електричний сигнал. Крім того, застосування сучасних технологій з перетворення фізичних параметрів в електричний сигнал на базі нових принципів забезпечує розроблення оригінальних ЗД, здатних створити діагностичні прилади, як це показано на рисунку 1.5, б).

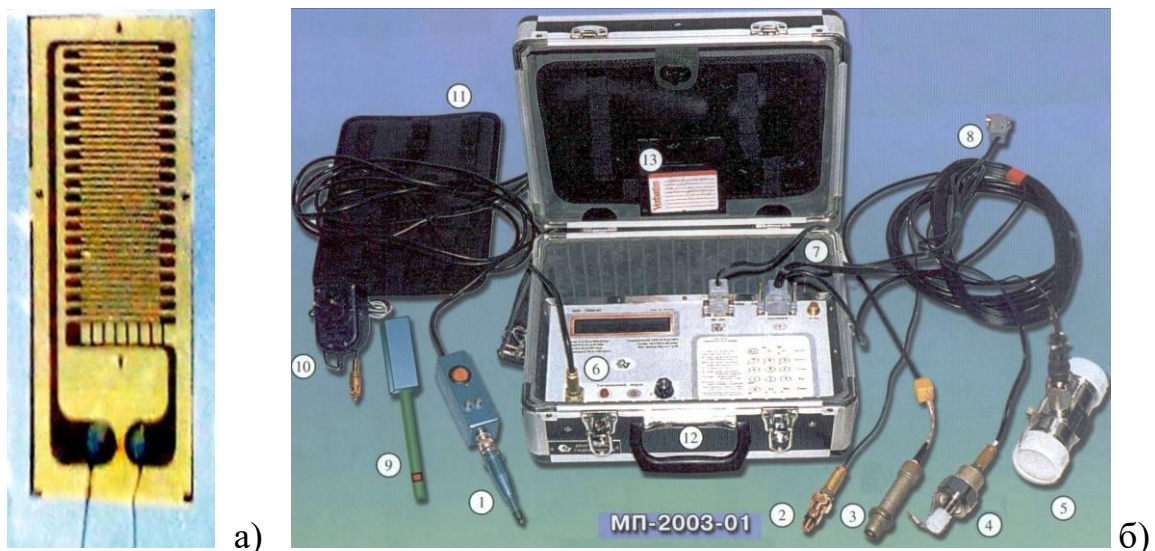


Рисунок 1.5 – Тензодатчик і створення на його основі з застосуванням сучасних технологій нових ЗД і АД для ТД машин і їхніх складових

Структура мікропроцесорного приладу МП–2003–01 є такою: 1 – датчик ультразвуковий з адаптером; 2 – датчик температури, діапазон  $-15...+100$  °С; 3 – датчик тиску, діапазон  $-0...40$  МПа; 4 – датчик частоти обертів, діапазон  $-60...6000$  хв<sup>-1</sup>; 5 – датчик витрат робочої рідини, діапазон  $-10...400$  дм<sup>3</sup>/хв; 6 – системний блок МП – 2003–01; 7 – з’єднувальний кабель; 8 – інтерфейс передавання даних RS–232;

9 – датчик забруднення рідини; 10 – пристрій для заряджання акумуляторів; 11 – перетворювач сигналів; 12 – футляр діагностичного приладу; 13 – програмне забезпечення.

ЗД і АД безперервно удосконалюють на підставі як забезпечення об'єктивного стану ЗМ у цілому і їхніх складових із вбудовуванням ЗД у структуру цих машин, так і розроблення універсальних і спеціалізованих зовнішніх малогабаритних мобільних ЗД. За таким напрямом працюють усі сучасні підприємства і дослідники.

#### **1.4 Аналіз стану землерийних машин на всіх стадіях їхнього життя**

Працездатність ЗМ у цілому як ОД, а в загальному вигляді він є нічим іншим як ЛМС, або спрощено як МС, характеризують такими станами, як справний, несправний або з деякими відхиленнями. У державних стандартах справні, несправні, працездатні і непрацездатні стани ЗМ або їхніх складових визначають так. Справним станом ЗМ є такий, за якого вона відповідає всім вимогам нормативно-технічної та/або проектно-конструкторській документації. Несправним станом ЗМ є такий, за якого вона не відповідає принаймні одній із зазначених вище вимог.

Під час експлуатації ЗМ або її консервації для подальшого збереження можуть з'являтися і накопичуватися різні несправності. Деякі з них призводять до того, що ЛМС більше не відповідає вимогам нормативно-технічної та/або проектно-конструкторської документації. Тоді перш ніж використовувати ЛМС, потрібно знати, чи є в неї недоліки, які можуть призвести до порушення нормальної роботи. Про це можна дізнатися при визначенні несправності на основі використання ЗД разом із розробленим АД. На процес появи несправності ЗМ впливає велика кількість факторів, зокрема рівень функційного навантаження машини

оператором і рівень його кваліфікації та ставлення до своїх обов'язків, конструктивні особливості машини, вплив зовнішнього середовища тощо.

Застосування системи ТД ЗМ і її складових на основі використання ЗД і АД забезпечує на принципах об'єктивності знаходження несправних елементів у структурі таких машин. У цілому система ТД ЗМ направлена на перевірку справності, щоб відокремити справні ЗМ від несправних; перевірку працездатності, щоб визначити, чи здатна ЗМ виконувати властиві функції, для яких вона була створена. Якщо ЗМ несправна, тоді необхідно встановити несправний елемент і визначити місце несправності для заміни або ремонту несправних елементів. Визначають несправності ЗМ шляхом використання ЗД і АД на основі проведення діагностичного експерименту на певній машині та забезпечення правильного трактування отриманих результатів.

### **Науково-практичні завдання**

1 Головна мета процесу безперервного діагностування землерийних і дорожніх машин на всіх стадіях їхнього життєвого циклу.

2 Головна мета удосконалення методології діагностування землерийних і дорожніх машин на всіх стадіях їхнього життєвого циклу.

3 Якої головної мети досягають при впровадженні системи діагностування землерийних і дорожніх машин на всіх стадіях їхнього життєвого циклу?

4 Параметр, за яким визначають величину енергії двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) на його вході і виході.

5 Характеристика гідравлічної енергії, створеної гідронасосом у процесі роботи мобільної машини.

6 Параметри, які характеризують механічну енергію.

7 Параметри, які характеризують електричну енергію.

- 8 Параметри, які характеризують гідравлічну енергію.
- 9 Показник оцінювання якості перетворення підведеної потужності в корисну для будь-якої технічної системи.
- 10 Процес перетворення механічної потужності в технічній системі.
- 11 Показник, за яким оцінюють стан гідравлічної системи.
- 12 Ознаки для оцінювання втрат гідравлічної енергії без застосування приладів.
- 13 Головний показник енергоефективності технічної системи.

## 2 ВИЗНАЧЕННЯ СТАНУ ЗЕМЛЕРИЙНИХ МАШИН У ПРОЦЕСІ ЇХНЬОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ

### 2.1 Основні складові землерийної машини в режимі статики

У режимі статики головними складовими в структурі ЗМ є три елементи (рисунок 2.1).

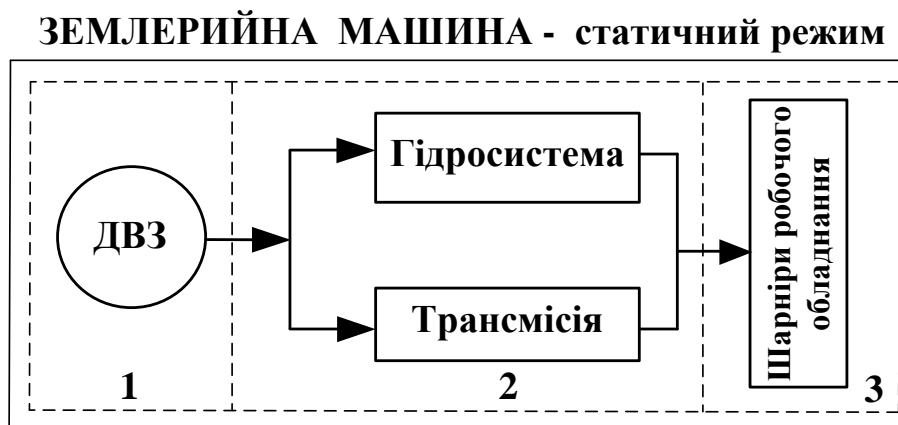


Рисунок 2.1 – Структурна схема ЗМ в режимі статики

До першого головного структурного елемента входить ДВЗ, що є джерелом механічної енергії. До структури другого елемента ЗМ входять в основному гідросистема і трансмісія, які функціонально є самостійними складовими, призначеними для передавання енергії на робоче обладнання.

До структури третього елемента входить робоче обладнання, зокрема відвал, ківш або розпушувач зі своїм важільно-шарнірним з'єднанням, призначеним для перетворення механічної енергії в корисну роботу. Працездатність кожної зі складових ЗМ і її в цілому в такому стані, як це показано на рисунку 2.1, описати неможливо.

Для визначення працездатності ЗМ і її складових до структури цієї машини слід ввести оператора (людину) з відповідною кваліфікацією.

## 2.2 Основні складові машини в режимі функціонування

Що стосується режиму статички при функціонуванні ЗМ, то з'являються ще дві складові: людина-оператор і робочий процес, характеризований величиною корисної потужності. До ЗМ належать машини, призначені для виконання різних земляних робіт, побудови залізничних і автомобільних доріг та інших земляних споруд. Живлення всіх механізмів ЗМ з гідравлічним приводом робочого обладнання забезпечено в основному від одного ДВЗ, у тому числі і для переміщення самої машини (рисунок 2.2).



Рисунок 2.2 – Структурна схема ЗМ в робочому режимі

Цифрами на рисунку 2.2 позначенні такі складові: 1, 2 і 3 описано на рисунку; 4 – робочий процес; 5 – оператор. При розгляді систем ЗМ до оператора (людини) прийнято ряд допустимих припущень, за якими він є висококваліфікованим, стан його незмінний упродовж усієї робочої зміни і не впливає на продуктивність машини.

Параметрами входу для узагальненої ЗМ, зокрема ЛМС (рисунок 2.2), є витрати пального  $G_{пj}$  для ДВЗ з відомими питомими витратами  $q_{дв}$  пального і відомою потужністю  $N_{двзj}$ , теплотворна здатність пального  $I_p$ , витраченого двигуном. Вихідними параметрами для

всіх ЗМ є їхня продуктивність  $P_{ej}$  і питоме зусилля різання (копання) ґрунту  $K_{гр}$ , яке залежить від категорії ґрунту. Ці параметри теж відомі і наведені в доступних наукових довідниках. Внутрішній стан системи [2], наведеної на рисунку 2.2, характеризується величиною  $\eta_j$  загального ККД, який є невідомим.

З використанням наведеної вище інформації разом із визначенням величини всіх параметрів на основі відомих довідкових наукових джерел можна встановити для таких машин величину їхнього загального ККД.

### **2.3 Визначення стану машин на основі довідкових параметрів**

Для виконання земляних робіт сучасною промисловістю створена велика кількість різнотипних і однотипних ЗМ за функціональним призначенням, але з різними технічними параметрами. Розглянуто, зокрема, сорок три ЗМ, які утворюють десять груп різнотипних машин із різною кількістю однотипних ЗМ від трьох до семи, до яких віднесено такі: екскаватори одноківшеві, траншейні роторні і ланцюгові; бульдозери; розпушувачі; самохідні та прищепні скрепери; одноківшеві навантажувачі; грейдери та грейдер-елеватори. Для всього об'єму ЗМ із наукових джерел [2, 3] використовували необхідну довідкову інформацію: марку машини; потужність джерела енергії, зокрема ДВЗ; питомі витрати пального для ДВЗ; середню експлуатаційну продуктивність ЗМ для певної категорії ґрунту з відомим питомих опором різання (копання) ґрунту.

Дослідження базовані на застосуванні системного аналізу з використанням довідкової інформації для кожної ЗМ при розгляді її зі структурними елементами і відповідним з'єднанням між собою, які забезпечують перетворення потужності входу в корисну потужність на виході за рахунок злагодженого функціонування всіх складових, як це показано на рисунку 2.2. Якість перетворення потужності входу в



потужність виходу для кожної ЗМ характеризується величиною загального ККД, який відображує собою внутрішній стан такої машини.

За довідковими даними, наведеними в таблиці 2.1, витрати пального для ЗМ за одну годину роботи ДВЗ  $G_{пj}$  визначають [2] за залежністю, кг/год,

$$G_{пj} = 1,03 \cdot 10^{-3} \cdot N_{двзj} \cdot q_{дв} \cdot k_N \cdot k_{дв} \cdot k_{дп} , \quad (2.1)$$

де  $N_{двзj}$  – номінальна потужність ДВЗ, к. с.;

$q_{дв}$  – питомі витрати пального у ДВЗ за довідковими даними, г/к. с. год;

$k_N, k_{дв}, k_{дп}$  – коефіцієнти, що враховують величину витрат пального впродовж робочої зміни залежно від інтенсивності навантаження двигуна ЗМ за часом роботи і тривалістю дії номінальної потужності, які відповідно складають значення 1,18; 0,86 і 0,75.

Для ЗМ вхідну (загальну, підведену) потужність, позначена як  $N_{пj}$ , визначають за формулою, кВт [4],

$$N_{пj} = (G_{пj} \cdot I_{п}) / (3600) , \quad (2.2)$$

де  $I_{п}$  – теплотворна здатність пального, кДж/кг;

$G_{пj}$  – витрати пального в процесі роботи ЗМ за одну годину функціонування ДВЗ, кг/год.

Таблиця 2.1 – Довідкові дані десяти різномірних ЗМ у складі 43-х машин

Марка МЗР	Тягач машини, марка ДВЗ	Потуж- ність ДВЗ $N_{двзj}$ , кВт (к. с.)	Питомі витрати пального $q_{дв}$ , г/ к. с. год	Категорія грунту (питомий опір його розробки $K_{гр}$ , кПа)	Середня експлуатаційна продуктивність $P_{ej}$ , м <sup>3</sup> /год
1	2	3	4	5	6
1 Екскаватори одноківшеві зі зворотним ковшем <sup>1</sup>					
ЭО-2621В-2	МТЗ-80, Д-65	44 (60)	175	II (180)	54x0,85=45,9*
ЭО-3322Д	Д-240	51,5 (70)	165		120x0,85=102*
ЭО-4321В	СМД-17Н	73,6 (100)	165		146x0,85=124,1*
ЭО-4125	А-01М	96 (130)	175		195x0,85=165,75*
2 Екскаватори роторні на гусеничному ході <sup>2</sup>					
ЭТР-134 (137)	ТТ-4, А-01МЛ	81 (110)	185	I (130)	170x0,85= 144,5*
ЭТР-204А	Т-130МГ, Д-160	118 (160)	168		650x0,85=552,5*
ЭТР-253А	ДЭТ-250М, В-30В	228 (310)	165		1200x0,85=1020*
ЭТР-254А	ДЭТ-250М, В-30В	265 (360)	232		1200x0,85=1020*
3 Екскаватори ланцюгові на гусеничному ході <sup>2</sup>					
ЭТЦ-165А	МТЗ-82, Д-240	55 (75)	190	I (130)	85x0,85=72,75*
ЭТЦ-252А	ТТ-4, А-01МЛ	81 (110)	183		220x0,85=187*
ЭТЦ-258В	Т-130МГ-1, Д-160	118 (140)	180	II (210)	120x0,85= 102*
ЭТЦ-202Б	ЯМЗ-240БМ, Д-242	44 (60)	166	I (130)	85x0,85=72,75*
4 Бульдозери тягового класу (30–350 кН) <sup>3</sup>					
ДЗ-42	ДТ-75	55,1 (75)	195	II (90)	57,5
ДЗ-19	Т-100МГП	79,4 (108)	175		85,0
ДЗ-24С	Т-180Г	128,6 (175)	175		140,0
ДЗ-34С	ДЕТ-250	227,9 (310)	165		275,0
ДЗ-68	Т-500	367,6 (500)	175		350,0
5 Розпушувачі (40–250 кН) <sup>3</sup>					
Т-4П	ДП-18, Д-723, АМ-41	66,17 (90)	185	IV (515)	350/7,0=50**
Т-100МГП	ДП-5С, Д-515С Д-108	79,41 (108)	175		600/7,0=85,71**
Т-180КС	ДП-22С, Д-180	132,3 (180)	175		1100/7,0=157,14**
ДЭТ-250М	ДП-9С, Д-652АС В-31	227,9 (310)	165		1350/7,0=192,86**
Т-330	ДП-10С, 8ДВТ-330М	243 (330)	170		1600/7,0=228,57**
6 Самохідні скрепери <sup>4</sup>					
ДЗ-35711	МОАЗ-546П, ЯМЗ-238А	151 (205)	175	II (90)	30,7
ДЗ-13А	БелАЗ-531, ЯМЗ-240	265 (360)	175		62,9
ДЗ-115	БелАЗ 531, ЯМЗ-240	530 (720)	175		73,4
7 Прищепні скрепери <sup>3</sup>					
ДЗ-30 (Д-541А)	Т-74, СМД-14А	55 (75)	195	II (90)	22,5
ДЗ-119 (Д-697)	ДТ-75М, СМД-18Н	66 (90)	185		27,5
ДЗ-46 (Д-612)	Т-100МГ, Д-108	80 (108)	175		55
ДЗ-23 (Д-511)	ДЭТ-250, В-31	228 (310)	165		80

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6
8 Навантажувачі одноківшеві <sup>3</sup>					
ТО-2 (Д-443А)	ДТ-55А Д-54А	39,7 (54)	205	II (160)	22,5
ТО-17	АМ-41	66,1 (90)	170		37
ТО-18	АМ-01	80,8 (110)	185		50,9
ТО-11 (Д-660)	К-702, ЯМЗ-238НБ	158,0 (215)	175		74
ТО-8 (Д-584)	МоАЗ-542, ЯМЗ-238	161,7 (220)	157		100
ТО-24	ТП-330, 8ДВТ-330	242,6 (330)	170		427
ТО-21	В2-550ТК-П5	404,4 (550)	220		760
9 Автогрейдері <sup>5</sup>					
Д-265	Д-54	40 (54)	215	I- II (50)	36,5
Д-426	ЯАЗ 204-А, ЯАЗ 206-Б	81 (110)	205		17,5
Д-144	КДМ-100	73,5 (100)	205		83
10 Грейдер-елеватори <sup>6</sup>					
ДЗ-501	Т-100М, Д-108	80 (108)	175	II (150)	600
Д-437АК	К-700, ЯМЗ-238НБ	205 (280)	185		850
ДЗ-505	МАЗ-529В, ЯАЗ-М206А	138 (188)	180		800
ДЗ-503	БелАЗ-503, ЯМЗ-240	264 (360)	190		1600
<p><i>Примітки:</i>  * – технічна продуктивність, перетворена в експлуатаційну;  ** – змінна експлуатаційна продуктивність, перетворена в годинну;</p> <p><sup>1</sup> Раннев А. В. Одноковшовые строительные экскаваторы: учебник. Москва: Высш. шк., 1991. 304 с.;</p> <p><sup>2</sup> Строительные машины: справочник: в 2 т. Т. 1. Машины для строительства промышленных, гражданских сооружений и дорог / А. В. Раннев, В. Ф. Корелин, А. В. Жаворонков и др.; под общ. ред. Э. Н. Кузина. Изд. 5-е, перераб. Москва: Машиностроение, 1991. 496 с.;</p> <p><sup>3</sup> Холодов А. М., Ничке В. В., Назаров Л. В. Землеройно-транспортные машины: справочник. Харьков: Вища школа, 1982. 192 с.;</p> <p><sup>4</sup> Технология, механизация и автоматизация строительства / под общ. ред. С. С. Атаева и С. Я. Луцкого. Москва: Высш. шк., 1990. 592 с.;</p> <p><sup>5</sup> Гладкий В. И., Лобанов М. И., Славченко Н. А. Строительные машины, механизмы, оборудование и инструменты: справочник. Киев, 1961. 818 с.;</p> <p><sup>6</sup> Дорожно-строительные машины: справочник / А. А. Васильев, И. А. Васильев, Б. Н. Прусас, М. М. Урусов. Изд. 4-е, перераб и доп. Москва: Машиностроение, 1977. 392 с.</p>					

За відомими дослідженнями [4, 5] теплотворна здатність дизельного пального складає величину близько 42700 кДж/кг. На виході ЗМ величина її корисної потужності визначена за результатами довідкових даних, наведених у таблиці 2.1. Використовуючи їхню продуктивність і питомий

опір різання (копання) ґрунту, таку потужність, яку позначимо як  $N_{\text{корj}}$ , визначають за залежністю [4, 5], кВт,

$$N_{\text{корj}} = (\Pi_{\text{ej}} \cdot K_{\text{гр}}) / 3600, \quad (2.3)$$

де  $\Pi_{\text{ej}}$  – середня експлуатаційна продуктивність для ЗМ, за довідковими даними, м<sup>3</sup>/год;

$K_{\text{гр}}$  – питомий опір різання (копання) ґрунту відповідної категорії при виконанні робочого процесу для кожної ЗМ за її функціональним призначенням, кПа.

У робочому режимі кожна ЗМ характеризується величиною загального ККД  $\eta_j$  [4, 5]

$$\eta_j = (G_{\text{пj}} \cdot I_{\text{п}}) / (\Pi_{\text{ej}} \cdot K_{\text{гр}}) = N_{\text{корj}} / N_{\text{пj}}. \quad (2.4)$$

Знаючи витрати пального  $G_{\text{пj}}$  для кожної ЗМ і величини експлуатаційної продуктивності  $\Pi_{\text{ej}}$  для цієї ж машини (таблиця 2.1), можна визначити величину питомих витрат пального для кожної ЗМ. Запропонований показник питомих витрат пального для кожної ЗМ  $k_j$ , кг/м<sup>3</sup>,

$$k_j = G_{\text{пj}} / \Pi_{\text{ej}}. \quad (2.5)$$

При одночасному розгляді результатів дослідження, отриманих на основі залежностей (2.4), (2.5), встановлено характерну закономірність, яка свідчить про таке. За величиною загального ККД ЗМ  $\eta_j$ , визначеного за

формулою (2.4), у складі кожної з десяти груп машин установлена тільки одна з них, у якої загальний ККД має максимальне значення. Таку ЗМ із максимальним значенням загального ККД позначимо як  $\eta_{\max}$ . Для величин питомих витрат пального для всіх ЗМ, визначених за формулою (2.5) і позначених як  $k_j$ , виявлена така закономірність: для ЗМ, у якої загальний ККД складає максимальне значення  $\eta_{\max}$ , величина питомих витрат пального складає мінімальне значення –  $k_{\min}$ .

Продовжуючи аналіз отриманих результатів для кожної з десяти груп ЗМ з загальним ККД максимального значення  $\eta_{\max}$ , і для цієї ж ЗМ питомі витрати пального мають мінімальну величину  $k_{\min}$ , таку ЗМ можна умовно назвати «зразковою», а всі інші ЗМ із цієї групи машин – «звичайними». Тоді на підставі такого твердження можна визначити розрахункову величину витрат пального  $\Delta q_j$  для кожної з десяти груп ЗМ порівняно з витратами пального для зразкової ЗМ за формулою, кг/год,

$$\Delta q_j = G_{\pi j} - k_{\min} \cdot \Pi_{ej}, \quad (2.6)$$

де  $k_{\min}$  – мінімальна величина питомих витрат пального для «зразкової» ЗМ в структурі кожної з однорідних і різнорідних груп машин.

Результати розрахунків, виконаних для масиву всіх десяти груп ЗМ на підставі залежностей (2.1)-(2.6) подано в таблиці 2.2. У першому стовпчику наведено всі досліджувані марки ЗМ відповідно до таблиці 2.1. Наступні стовпчики таблиці, зокрема другий, третій і четвертий, відображують числові результати для всіх досліджуваних ЗМ, які отримано за залежностями (2.1)-(2.3).

Таблиця 2.2 – Розрахунок питомих витрат і втрат пального для кожної з десяти різномірних груп ЗМ порівняно зі зразковою машиною

Марка ЗМ	Витрати пального, ДВЗ, кг/год, $G_{пј}$ , формула (2.1)	Потужність, підведена, кВт, $N_{пј}$ , формула (2.2)	Потужність корисна, кВт, $N_{корј}$ , формула (2.3)	Загальний ККД ЗМ, $\eta_j$ , формула (2.4)	Питомі витрати пального, $k_j$ , кг/м <sup>3</sup> , формула (2.5)	Втрати пального ЗМ, $\Delta q_j$ , кг/год, формула (2.6)
1	2	3	4	5	6	7
<b>1 Однокішвеві екскаватори зі зворотним ковшем</b>						
ЭО-2621В-2	8,311	98,577	2,475	0,0334	0,1810	0,0923
ЭО-3322Д	9,054	107,390	5,1	0,0475	0,0887	0
ЭО-4321В	12,934	153,411	6,205	0,0404	0,1042	0,0155
ЭО-4125	17,834	211,531	8,285	0,0391	0,1076	0,0189
<b>2 Роторні екскаватори на гусеничному ході</b>						
ЭТР-134	15,953	189,220	5,218	0,0276	0,1104	0,07181
ЭТР-204А	21,072	249,937	19,951	0,0798	0,03859	0
ЭТР-253А	38,804	460,258	36,833	0,077	0,03931	0,00072
ЭТР-254А	44,308	525,542	36,833	0,070	0,0434	0,00481
<b>3 Ланцюгові екскаватори на гусеничному ході</b>						
ЭТЦ-165А	11,171	132,50	2,618	0,0197	0,1535	0,0691
ЭТЦ-252А	15,780	187,168	6,752	0,0361	0,0844	0
ЭТЦ-258В	19,755	234,316	3,966	0,0169	0,1936	0,1092
ЭТЦ-202Б	7,807	92,599	1,212	0,0131	0,1073	0,0229
<b>4 Бульдозери тягового класу (30–350 кН)</b>						
ДЗ-42 (30 кН)	11,4650	129,001	1,438	0,01057	0,19939	0,05358
ДЗ-19 (100 кН)	14,8163	175,711	2,125	0,01209	0,1743	0,02849
ДЗ-24С (150 кН)	24,0079	284,726	3,5	0,0122	0,17148	0,02567
ДЗ-34С (250 кН)	40,0981	475,606	6,875	0,0144	0,14581	0
ДЗ-68 (350 кН)	66,6343	813,494	8,75	0,0110	0,19038	0,04457
<b>5 Розпушувачі</b>						
Т-4П (40 кН)	13,052	154,811	7,152	0,0462	0,2610	0,1039
Т-100МГП (100 кН)	14,816	175,734	12,261	0,0697	0,1728	0,0157
Т-180КС (150 кН)	24,693	292,856	22,479	0,0767	0,1571	0
ДЭТ-250М (250 кН)	40,098	475,607	27,589	0,0580	0,2079	0,0508
Т-330 (250 кН)	43,978	521,628	32,698	0,0626	0,1924	0,0353
<b>6 Самохідні скрепери</b>						
ДЗ-35711, МОАЗ-546П	28,1235	333,5759	0,7675	0,0023	0,9161	0,1309
ДЗ-13А, БелАЗ-531	49,3877	585,7929	1,5725	0,0026	0,7852	0
ДЗ-115, БелАЗ 531	98,7755	1171,5871	1,835	0,0015	1,3457	0,5605
<b>7 Прищепні скрепери (30–250 кН)</b>						
ДЗ-30 (Д-541А)	11,465	135,987	0,562	0,0041	0,5095	0,2402
ДЗ-119 (Д-697)	13,052	154,811	0,687	0,0044	0,4746	0,2053
ДЗ-46 (Д-612)	14,816	175,734	1,375	0,0078	0,2693	0
ДЗ-23 (Д-511)	40,098	475,606	2,0	0,0042	0,5012	0,2319

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6	7
8 Навантажувачі одноківшеві						
ТО-2 (Д-443А)	8,678	102,93	1,00	0,0097	0,38568	0,28269
ТО-17	11,994	142,262	1,64	0,0115	0,32416	0,22117
ТО-18	15,953	189,22	2,26	0,0119	0,31341	0,21042
ТО-11 (Д-660)	29,495	349,84	3,28	0,0093	0,39858	0,29559
ТО-8 (Д-584)	27,077	321,16	4,44	0,0138	0,27077	0,16778
<i>ТО-24</i>	<i>43,978</i>	<i>521,62</i>	<i>18,97</i>	<i>0,0363</i>	<i>0,10299</i>	<i>0</i>
ТО-21	94,855	1125,08	33,77	0,0335	0,12480	0,02181
9 Автогрейдер						
Д-265	9,1014	107,9527	0,5069	0,0046	0,2493	0,0557
Д-426	17,6776	209,6759	0,2431	0,0011	1,0101	0,8165
<i>Д-144</i>	<i>16,0706</i>	<i>190,6151</i>	<i>1,1528</i>	<i>0,0060</i>	<i>0,1936</i>	<i>0</i>
10 Грейдер-елеватор						
<i>ДЗ-501</i>	<i>14.816</i>	<i>175.734</i>	<i>25,00</i>	<i>0,1422</i>	<i>0,02469</i>	<i>0</i>
Д-437АК	40.607	481.644	35,417	0,0735	0,04777	0,02308
ДЗ-505	26.528	314.651	33,333	0,1059	0,03316	0,00847
ДЗ-503	53.621	636.004	66,667	0,1048	0,03351	0,00882
<i>Примітка – максимально ефективні ЗМ у складі своєї групи виділені курсивом <math>k_j=0,10299/0</math></i>						

У п'ятому стовпчику таблиці 2.2 відображено внутрішній стан ЗМ через загальний ККД, шостому – питомі витрати пального на одиницю продуктивності ЗМ, отримані за розрахунковими залежностями (2.4) і (2.5), сьомому – величину перевитрат пального для кожної ЗМ відносно зразкової [2, 4, 5], за формулою (2.6). У десяти різнорідних групах ЗМ, до складу яких входять від трьох до семи однотипних машин, у їхніх структурах виявлено тільки одну, яка порівняно з іншими є кращою, і подано таку ЗМ як зразкову, у якої величина перевитрат пального складає нульове значення (такі машини в таблиці виділені курсивом). Для подальшого аналізу отриманих результатів усі зразкові ЗМ подано в таблиці 2.3.

Результати розрахунків у таблиці 2.3 отримано за формулами (2.4) і (2.5). Ці результати свідчать про таке. У першому стовпчику таблиці 2.3 наведений перелік марок зразкових ЗМ із кожних десяти однорідних груп машин. У другому і третьому стовпчиках – результати величин загального ККД і питомих витрат пального для цих же зразкових ЗМ. Причому [6], за

другим стовпчиком таблиці 2.3, для перших шести ЗМ величина загального ККД знаходиться в інтервалі починаючи зі значень більше 14 % з поступовим зниженням до величини 3,63 % (грейдер-елеватор, роторний екскаватор, розпушувач, навантажувач, екскаватори одноківшевий і ланцюговий).

Таблиця 2.3 – Зразкові ЗМ за двома основними показниками

Марка ЗМ	Загальний ККД, формула (2.4)	Питомі витрати пального, кг/м <sup>3</sup> , формула (2.5)
1 Грейдер-елеватор ДЗ-501/Д-437АК	0,1422	0,02469
2 Екскаватор роторний ЭТР-204А/ЭТР-134	0,0798	0,03859
3 Розпушувач Т-180КС, (150 кН)/Т-4П, (40 кН)	0,0767	0,1571
4 Екскаватор одноківшевий ЭО-3322Д/ЭО-2621В-2	0,0475	0,0887
5 Навантажувач ТО-24/Т-11, Д-660	0,0363	0,10299
6 Екскаватор ланцюговий ЭТЦ-252А/ЭТЦ-258В	0,0361	0,0844
7 Бульдозер ДЗ-34С, (250 кН)/ДЗ-42, (30 кН)	0,0144	0,14581
8 Прищепний скрепер ДЗ-46/ДЗ-30	0,0078	0,2693
9 Автогрейдер Д-144/Д-426	0,0060	0,1936
10 Самохідний скрепер ДЗ-13А/ДЗ-115	0,0026	0,7852

До інших чотирьох машини належать бульдозер, скрепер прищепний і самохідний та автогрейдер. Загальний ККД для цих чотирьох ЗМ, зокрема бульдозера, складає дещо більше 1 %, а інших ЗМ (скрепер прищепний і самохідний та автогрейдер) величина загального ККД поступово зменшується до декількох десятих процентів. У третьому стовпчику для зразкових ЗМ, за розрахунками на підставі формули (2.5), подано значення питомих витрат пального на одиницю їхньої продуктивності.

Причому величина питомих витрат пального для десяти зразкових ЗМ змінюється від 0,02469 до 0,7852 кг/м<sup>3</sup>. Для такого діапазону характерна величина зміни більш ніж у 30 разів. Аналіз результатів розрахунку питомих витрат пального для звичайних ЗМ в групі (таблиця 2.2, стовпчик б) свідчить, що величина цього показника



змінюється від 0,03316 до 1,3457 кг/м<sup>3</sup> – діапазон зміни питомих витрат пального для таких машин на рівні 40 разів. Із наведеного можна зробити ще один висновок [6], що для зразкових ЗМ порівняно зі звичайними рівень величини питомих витрат пального в 1,33 раза менший. Для об'єднання ЗМ у короткочасні або довготривалі парки з однорідних чи різнорідних машин для виконання заданого об'єму робіт із визначенням ефективності їхньої роботи в умовах експлуатації необхідно проведення подальших досліджень. Одним із шляхів підвищення ефективності роботи ЗМ може бути напрям із дотриманням терміну виконання заданого об'єму робіт за мінімальних витрат ресурсів.

#### **2.4 Визначення рівня економії пального при формуванні парку землерийних машин для виконання заданого об'єму робіт**

Визначити величину економії пального в процесі роботи будь-якої дослідженої ЗМ можна за умови знання її функційних параметрів, поданих у довідкових джерелах, і на основі використання результатів у вигляді витрат пального одночасно для таких ЗМ і зразкової машини. Цим умовам частково відповідає інформація з пункту 2.3. Однак для отримання рішення в повному обсязі необхідно проведення додаткових досліджень.

За умови формування парку з однорідних або різнотипних ЗМ процес визначення величини економії пального в процесі роботи таких машин теж базований на знаннях витрат пального за одночасної роботи вказаних машин і відповідної кількості зразкових однорідних або різнотипних машин.

Вивчаючи методології розрахунку економії пального в процесі роботи для наведених вище варіантів, розглянемо роботу навантажувачів і бульдозерів. Для проведення подальших досліджень скористаємося відомими результатами з таблиць 2.1-2.3.

Так, для визначення величини економії пального для кожного з навантажувачів порівняно зі зразковим навантажувачем візьмемо умову, за якою об'єм земляних робіт, виконуваний кожним із одноківшевих навантажувачів, для одного з них приймемо на рівні однієї години роботи –  $760 \text{ м}^3$ , оскільки продуктивність за одну годину роботи одного з таких навантажувачів, наприклад ТО-21, складатиме  $\Pi_{ej} = 760 \text{ м}^3/\text{год}$  (таблиця 2.1).

На підставі такої умови створена можливість визначення тривалості виконання заданого об'єму роботи ( $760 \text{ м}^3$ ) кожним із навантажувачів на базі своїх технічних можливостей відносно власної продуктивності. Тоді тривалість часу  $t_j$  для виконання такого об'єму роботи кожним із одноківшевих навантажувачів на підставі відомої продуктивності визначатиметься за формулою, год,

$$t_j = V/\Pi_{ej} , \quad (2.7)$$

де  $V$  – об'єм матеріалу величиною  $760 \text{ м}^3$ , який розробляється кожним із одноківшевих навантажувачів (об'єм матеріалу, що розробляється кожним бульдозером, складає теж об'єм  $760 \text{ м}^3$ ),  $\text{м}^3$ ;

$\Pi_{ej}$  – експлуатаційна продуктивність кожного з одноківшевих навантажувачів (і бульдозерів), приймають за таблицею 2.1.

Величина витрат пального  $G_{zj}$  для кожного з одноківшевих навантажувачів, необхідна для виконання ними однакового об'єму роботи, кг,

$$G_{zj} = t_j \cdot G_{цj} , \quad (2.8)$$

де  $G_{пj}$  – витрати пального ДВЗ за один час роботи як джерело енергії для кожного одноківшевого навантажувача (таблиця 2.2).

Для навантажувача марки ТО-24 величина витрат пального ДВЗ при виконанні ним об'єму роботи  $760 \text{ м}^3$ , за формулою (2.8), складатиме  $78,28 \text{ кг}$ . Оскільки навантажувач марки ТО-24 прийнятий як зразковий, то ці витрати пального приймемо як константи і позначимо їх  $G_{\text{кон}}$ .

Тоді величину витрат пального для всіх інших навантажувачів порівняно з витратами пального для зразкового навантажувача можна подати як величину економії пального  $\Delta Q_j$  і визначити її за формулою, кг,

$$\Delta G_{kj} = G_{zj} - G_{\text{кон}} \quad (2.9)$$

Усі отримані результати розрахунку [6] за формулами (2.7)-(2.9) для зразкового навантажувача  $G_{\text{кон}}$  подано в таблиці 2.4.

Результати дослідження направлені на виявлення з масиву навантажувачів одного як найбільш ефективного за мінімальними витратами пального при виконанні однакового об'єму роботи і з урахуванням терміну роботи.

Таблиця 2.4 – Розрахунки економії пального при роботі навантажувачів

Марка навантажувача	ТО-2	ТО-17	ТО-18	ТО-11	ТО-8	ТО-24	ТО-21
Витрати пального за час роботи ДВЗ, $G_{пj}$ , кг/год, формула (2.1)	8,678	11,994	15,953	29,495	27,077	43,978	94,855
Час на виконання роботи об'ємом $760 \text{ м}^3$ $t_j$ , год, формула (2.7)	33,77	20,54	14,93	10,27	7,6	1,78	1,0
Витрати пального для виконання роботи об'ємом $G_{zj}$ , кг, формула (2.8)	293,05	246,35	238,17	302,91	205,78	78,28	94,85
Витрати пального для зразкового навантажувача $G_{\text{кон}}$ , кг	78,28						
Економія пального $\Delta G_{kj}$ , кг, формула (2.9)	214,77	167,99	159,89	224,63	127,5	0	16,57

Таблиця 2.5 – Розрахунки економії пального при роботі бульдозерів [6]

Марка бульдозера	ДЗ-42, (30 кН)	ДЗ-19, (100 кН)	ДЗ-24С, (150 кН)	ДЗ-34С, (250 кН)	ДЗ-68, (350 кН)
Витрати пального за час роботи ДВЗ $G_{пj}$ , кг/год, формула (2.1)	11,46	14,81	24,01	40,09	66,63
Час на виконання роботи об'ємом $760 \text{ м}^3 t_j$ , год, формула (2.7)	13,21	8,94	5,43	2,76	2,17
Витрати пального при виконанні роботи $G_{zj}$ , кг, формула (2.8)	151,38	132,4	130,37	110,65	144,58
Витрати пального для зразкового бульдозера $G_{кон}$ , кг	110,65				
Економія пального $\Delta G_{kj}$ , кг, формула (2.9)	40,73	21,75	19,72	0	33,93

За умовами мінімальних витрат пального (таблиця 2.4) відповідає навантажувач ТО-24, а умовами мінімального терміну роботи – навантажувач ТО-21.

На основі такого методу можна визначити найбільш ефективну машину з масиву різних машин для земляних робіт, зокрема бульдозерів як (таблиця 2.5).

Із виявлених найбільш ефективних машин [6] на підставі виконаних досліджень за таким методом можна формувати масив із високоефективних машин для виконання заданого об'єму земляних робіт.

### Науково-практичні завдання

Виконання науково-практичних завдань базовано на довідкових даних, наведених у таблицях 2.6 і 2.7, для бульдозерів і навантажувачів.

Таблиця 2.6 – Початкові довідкові дані про бульдозери різних тягових класів

Марка ЗМ	Тягач машини, марка ДВЗ	Потужність ДВЗ $N_{двзj}$ , кВт (к. с.)	Питомі витрати пального $q_{дв}$ , г/к. с. год	Категорія грунту (його питомий опір $K_{гр}$ , кПа)	Середня експлуатаційна продуктивність $P_{ej}$ , м <sup>3</sup> /год
1	2	3	4	5	6
1 Бульдозери тягового класу (14–60 кН) [3*, стор. 8, 98-99]					
ДЗ-37	МТЗ-52 (Д-50Л)	41 (55,74)	122	II (90)	40
ДЗ-4	ДТ-54 (Д-54)	39,72 (54)	83,3	II (90)	50
ДЗ-29	Т-74 (СМД-14А)	55,16 (75)	195	II (90)	60
ДЗ-43	ДТ-75Н (СМД-18Н)	70 (95)	170	II (90)	60
ДЗ-62	ДТ-75 (СМД-14НГ)	58,8 (80)	185	II (90)	60
ДЗ-52	Т-4П (АМ-01)	100 (135,9)	185	II (90)	65
ДЗ-101	Т-4АП (А-01 М)	95,62 (130)	163	II (90)	67,5
ДЗ-55	Т-4П (АМ-01)	100 (135,9)	185	II (90)	65
ДЗ-48	К-702 (ЯМЗ-238)	220 (299,1)	160	II (90)	140
2 Бульдозери тягового класу (100 кН) [3*, стор. 8, 96-97]					
ДЗ-54С	Т-100 (КМД-100)	79,5 (108)	208	II (90)	90
ДЗ-17	Т-100 М (Д-108)	79 (108)	175	II (90)	77,5
ДЗ-18	Т-100 (КМД-100)	79,5 (108)	208	II (90)	90
ДЗ-53С	Т-100 М (Д-108)	79 (108)	175	II (90)	85
ДЗ-27С	Т-130 (Д-130)	117,7 (160)	177,6	II (90)	110
ДЗ-90С	Т-130 (Д-130)	117,7 (160)	177,6	II (90)	110
ДЗ-28	Т-130 Г (Д-160)	117,7 (160)	177,6	II (90)	120
ДЗ-109ХЛ	Т-130 (Д-160)	117,7 (160)	176	II (90)	120
ДЗ-110ХЛ	Т-130 (Д-160)	117,7 (160)	176	II (90)	110
3 Бульдозери тягового класу (150–250 кН) [3*, стор. 8, 94-95]					
ДЗ-9Б	Т-180 (Д-180)	132 (180)	160	II (90)	125
ДЗ-24Л	Т-180 (Д-180)	132 (180)	160	II (90)	125
ДЗ-25	Т-180 (Д-180)	132 (180)	160	II (90)	140
ДЗ-35С	Т-180 Г (Д-180)	128,8 (175)	175	II (90)	135
Д-714С	Т-180 С (Д-180)	128,8 (175)	175	II (90)	135
Д-384	ДЭТ-250 (В31М2)	237 (323)	165	II (90)	275
ДЗ-118	ДЭТ-250 (В31М2)	237 (323)	165	II (90)	275
ДЗ-59ХЛ	Т-330 (8ДВТ-330М)	243 (330)	163,8	II (90)	295
ДЗ-60ХЛ	Т-330 (8ДВТ-330М)	243 (330)	163,8	II (90)	295
ДЗ-124ХЛ	Т-330 (8ДВТ-330М)	243 (330)	163,8	II (90)	295
ДЗ-50	Т-220 (8ДВТ-220)	161,8 (220)	127,2	II (90)	175
Примітка – * див. таблицю 2.1					

Таблиця 2.7 – Початкові довідкові дані навантажувачів

Марка ЗМ	Тягач машини, марка ДВЗ	Потужність ДВЗ $N_{двзj}$ , кВт (к. с.)	Питомі витрати пального $q_{дв}$ г/к. с. год	Категорія грунту (його питомий опір $K_{гр}$ , кПа)	Середня експлуатаційна продуктивність $P_{ej}$ , м <sup>3</sup> /год
1 Навантажувачі [3*, стор. 8, 112-115]					
ТО-15	Т-50 АП (Д-37Е)	29,4(40)	178,7	II (160)	14,2
ТО-7	ДТ-75 Б (СМД-14)	55,16 (75)	158,5	II (160)	29,7
ТО-12	Т-4 П (АМ-41)	66,19 (90)	166,6	II (160)	38
ТО-1	Т-100 МГ (Д-108)	79,43 (108)	175	II (160)	40
ТО-10	Т-130 ПГ (Д-130)	95,61 (130)	147,5	II (160)	59,4
ТО-5	Д-804 ПГ (Д-180)	132,4(180)	160	II (160)	74
ТО-3А	СШ (Д-50)	36,77 (50)	195	II (160)	11,6
ТО-6	СШ (СМД-14)	55,16 (75)	158,5	II (160)	25,1
<i>Примітка – * див. таблицю 2.1</i>					

1 На підставі початкових даних для бульдозерів тягового класу (14–60 кН), наведених у таблиці 2.6, визначити показники ефективності цих бульдозерів за величинами загального ККД, питомих витрат і витрат пального. Результати цих розрахунків подати у вигляді таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Розрахунок загального ККД, питомих витрат пального і витрат пального для бульдозерів тягового класу (14–60 кН)

Марка ЗМ	Витрати пального, ДВЗ, кг/год, $G_{пj}$ , формула (2.1)	Потужність, підведена, кВт, $N_{пj}$ , формула (2.2)	Потужність корисна, кВт, $N_{корj}$ , формула (2.3)	Загальний ККД ЗМ, $\eta_j$ , формула (2.4)	Питомі витрати пального, $k_j$ кг/м <sup>3</sup> , формула (2.5)	Втрати пального ЗМ, $\Delta q_j$ кг/год, формула (2.6)
ДЗ-37						
ДЗ-4						
ДЗ-29						
ДЗ-43						
ДЗ-62						
ДЗ-52						
ДЗ-101						
ДЗ-55						
ДЗ-48						

2 За результатами таблиці визначити найбільш ефективний бульдозер із тягового класу (14–60 кН) за показником загального ККД, його максимальною величиною і мінімальними питомими витратами пального (формули (2.4) і (2.5)).

3 На підставі початкових даних для бульдозерів тягового класу (100 кН), наведених у таблиці 2.6, визначити показники ефективності цих бульдозерів за величинами загального ККД, питомих витрат і втрат пального.

Результати цих розрахунків подати у вигляді таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Розрахунок загального ККД, питомих витрат і втрат пального для бульдозерів тягового класу (100 кН)

Марка ЗМ	Витрати пального, ДВЗ, кг/год, $G_{пj}$ , формула (2.1)	Потужність, підведена, кВт, $N_{пj}$ , формула (2.2)	Потужність корисна, кВт, $N_{корj}$ , формула (2.3)	Загальний ККД ЗМ, $\eta_j$ , формула (2.4)	Питомі витрати пального, $k_j$ кг/м <sup>3</sup> , формула (2.5)	Втрати пального ЗМ, $\Delta q_j$ кг/год, формула (2.6)
ДЗ-54С						
ДЗ-17						
ДЗ-18						
ДЗ-53С						
ДЗ-27С						
ДЗ-90С						
ДЗ-28						
ДЗ-109ХЛ						
ДЗ-110ХЛ						

4 За результатами таблиці 2.9 визначити найбільш ефективний бульдозер із тягового класу (100 кН) за максимальним показником загального ККД (формула (2.4)) і мінімальними питомими витратами пального (формула (2.5)).

5 На підставі початкових даних для бульдозерів тягового класу (150-250 кН), наведених у таблиці 2.6, визначити показники ефективності цих бульдозерів за загальним ККД, питомими витратами і втратами пального.

Результати цих розрахунків подати у вигляді таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 – Розрахунок загального ККД, питомих витрат і втрат пального для бульдозерів тягового класу (150-250 кН)

Марка ЗМ	Витрати пального, ДВЗ, кг/год, $G_{пј}$ , формула (2.1)	Потужність, підведена, кВт, $N_{пј}$ , формула (2.2)	Потужність корисна, кВт, $N_{корј}$ , формула (2.3)	Загальний ККД ЗМ $\eta_j$ , формула (2.4)	Питомі витрати пального $k_j$ кг/м <sup>3</sup> , формула (2.5)	Втрати пального ЗМ $\Delta q_j$ , кг/год, формула (2.6)
ДЗ-9Б						
ДЗ-24Л						
ДЗ-25						
ДЗ-35С						
Д-714С						
Д-384						
ДЗ-118						
ДЗ-59ХЛ						
ДЗ-60ХЛ						
ДЗ-124ХЛ						
ДЗ-50						

6 За результатами таблиці 2.10 визначити найбільш ефективний бульдозер із тягового класу (150-250 кН) за максимальним загальним ККД (формула (2.4)) і мінімальними питомими витратами пального (формула (2.5)).

7 На підставі початкових даних для навантажувачів, наведених у таблиці 2.7, визначити показники ефективності цих навантажувачів за загальним ККД, питомими витратами і втратами пального. Результати цих розрахунків подати у вигляді таблиці 2.11.



8 За результатами таблиці 2.11 визначити найбільш ефективний навантажувач за максимальним загальним ККД (формула (2.4)) і мінімальними питомими витратами пального (формула (2.5)).

Таблиця 2.11 – Розрахунок загального ККД, питомих витрат і втрат пального для навантажувачів

Марка ЗМ	Витрати пального, ДВЗ, кг/год, $G_{пj}$ , формула (2.1)	Потужність, підведена, кВт, $N_{пj}$ , формула (2.2)	Потужність корисна, кВт, $N_{корj}$ , формула (2.3)	Загальний ККД ЗМ $\eta_j$ , формула (2.4)	Питомі витрати пального $k_j$ , кг/м <sup>3</sup> , формула (2.5)	Втрати пального ЗМ $\Delta q_j$ , кг/год, формула (2.6)
ТО-15						
ТО-7						
ТО-12						
ТО-1						
ТО-10						
ТО-5						
ТО-3А						
ТО-6						

9 Сформувати масив із чотирьох машин за величиною питомих витрат пального  $k_j$  на підставі максимальних величин загального ККД  $\eta_j$  для цих машин з прийнятим позначенням для бульдозерів тягового класу: (14–60 кН) –  $k_{j1}$ , (100 кН) –  $k_{j2}$ , (150–250 кН) –  $k_{j3}$ , навантажувач –  $k_{j4}$  (таблиці 2.8 –2.11).

10 Сформувати масив із чотирьох машин за величиною питомих витрат пального  $k_j$  на підставі мінімальних величин загального ККД  $\eta_j$  для цих машин з прийнятим позначенням для бульдозерів тягового класу: (14–60 кН) –  $k_{j1m}$ , (100 кН) –  $k_{j2m}$ , (150–250 кН) –  $k_{j3m}$ , навантажувач –  $k_{j4m}$  (таблиці 2.8 –2.11).

11 Визначити величину економії пального  $E_v$ , кГ, для масиву з чотирьох машин при виконанні ними земляних робіт об'ємом  $V$  в  $1 \text{ м}^3$  за формулою на підставі даних завдань 9 і 10:

$$E_v = ((k_{j1m} + k_{j2m} + k_{j2m} + k_{j2m}) - (k_{j1} + k_{j1} + k_{j1} + k_{j1})) \cdot V. \quad (2.10)$$

12 Сформувати масив із чотирьох машин за величиною втрат пального  $\Delta q_j$  на підставі величин загального ККД  $\eta_j$ , відмінних від максимальних значень ККД, для цих машин прийняти такі позначення для бульдозерів тягового класу: (14–60 кН) –  $\Delta q_{j1}$ , (100 кН) –  $\Delta q_{j2}$ , (150–250 кН) –  $\Delta q_{j3}$ , навантажувач –  $\Delta q_{j4}$  (таблиці 2.8 – 2.11).

13 Визначити величину зменшення втрат пального для масиву з чотирьох машин  $Q_m$ , кг, при виконанні ними земляних робіт упродовж однієї години роботи  $t$  на підставі наведених даних завдання 12 за формулою

$$Q_m = (\Delta q_{j1} + \Delta q_{j2} + \Delta q_{j3} + \Delta q_{j4}) \cdot t. \quad (2.11)$$

На підставі вивчення пункту 2.4 і з використанням залежностей (2.1), (2.7)-(2.9) для масиву навантажувачів визначити величину економії пального відносно зразкового навантажувача, у якого загальний ККД складає максимальне значення. Результати цих досліджень навести в таблиці 2.12.

Таблиця 2.12 – Розрахунки економії пального при роботі навантажувачів

Марка навантажувача	ТО-15	ТО-7	ТО-12	ТО-1	ТО-10	ТО-5	ТО-3А	ТО-6
Витрати пального за час роботи ДВЗ, $G_{пj}$ , кг/год, формула (2.1)								
Час на виконання роботи об'ємом $740 \text{ м}^3 t_j$ , год, формула (2.7)								
Витрати пального для виконання роботи об'ємом $G_{zj}$ , кг, формула (2.8)								
Витрати пального для зразкового навантажувача $G_{kop}$ , кг								
Економія пального $\Delta G_{kj}$ , кг, формула (2.9)								

Представити аналіз отриманих результатів.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 Проблеми і перспективи розвитку системи технічного діагностування землерийних і вантажопідйомних машин. *Ways of Science Development in Modern Crisis Conditions: Proceedings of the 4th International Scientific and Practical Internet Conference, June 8-9, 2023* / М. П. Ремарчук, Я. В. Чмуж, О. О. Галицький та ін. Dnipro, Ukraine, P. 365-368.

2 Ремарчук М. П., Кебко О. В., Галицький О. О. Теоретичне обґрунтування ефективності машин для земляних робіт за даними їх технічних параметрів. *Науково-технічний збірник «Комунальне господарство міст»*. Серія «Технічні науки та архітектура» /ХНУМГ ім. О. М. Бекетова. Харків, 2022. № 4. Вип. 171. С. 18-24.

3. Ремарчук М. П., Кебко О. В., Галицький О. О. Визначення стану машин для земляних робіт за їх довідковими параметрами. *International scientific integration 2022, International scientific conference (USA), September 10, 2022*. P. 3-7.

4 Remarchuk M., Chmuzh Y., Zadorozhnyi A., Kebko O. Methodology for determining the effectiveness of the use of earth-moving machines and their parts in the construction of architectural structures. *AIPConferenceProceedings*, 2023, 2490(1).

5 Методика формування загонів машин для земляних робіт на прикладі застосування навантажувачів / М. П. Ремарчук, Я. В. Чмуж, О. О. Галицький та ін. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. Харків, 2022. Вип. 201. С. 6-14.

6 Методика формування парків землерийних машин за техніко-економічними показниками. *2-га Міжнар. наук.-практ. конф. «Perspectives of contemporary science: theory and practice» НВК «Sci conf.com.ua»*, 1-3 квітня 2024 р. Львів, Україна / М. П. Ремарчук, Я. В. Чмуж, О. О. Галицький та ін. Львів, 2024. С. 314-321.

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до виконання практичних занять і самостійних робіт  
із дисципліни  
*«ОСНОВИ ДІАГНОСТИКИ МАШИН»*

Частина 1  
ДІАГНОСТУВАННЯ СТАНУ ГІДРОПРИВОДУ  
ЗЕМЛЕРИЙНИХ МАШИН

Відповідальний за випуск Ремарчук М. П.

Редактор Ібрагімова Н. В.

---

Підписано до друку 02.08.2024 р.  
Умовн. друк. арк. 2,25. Тираж . Замовлення № .  
Видавець та виготовлювач Український державний університет залізничного  
транспорту,  
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха,7.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6100 від 21.03.2018 р.