

**«Енергія»**

**«ВИЗНАЧЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРОМОТОРІВ ТА ГЕНЕРАТОРА ДЛЯ  
ВІЙСЬКОВОЇ ГУСЕНИЧНОЇ МАШИНИ З ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЮ ТРАНСМІСІЄЮ»**

## РЕФЕРАТ

Конкурсна науково-дослідна студентська робота: 25 сторінок, 6 рисунків, 3 таблиці, 5 літературних джерел.

**Об'єкт дослідження** – процес структурно-параметричного синтезу електромеханічної трансмісії військових та транспортних гусеничних машин.

**Мета роботи** – є розробка узагальненої методики оцінки настановної потужності тягових електродвигунів (ТЕД) і генератора для електромеханічних трансмісій військових та транспортних гусеничних машин в залежності від їхньої маси, заданих параметрів рухливості та типу застосованих механічних редукторів.

**Результати роботи** – Розроблена методика розрахунку необхідної сумарної механічної настановної потужності ТЕД та генератора для електромеханічної трансмісії військових та транспортних гусеничних машин в залежності від їхньої маси, коефіцієнту пристосованості по моменту обраного типу ТЕД, заданих параметрів рухливості та типу застосовуваного механічного редуктора.

Запропонований алгоритм вибору необхідних передатних відношень для різних типів редукторів (одноступеневий, двохступеневий та редуктор з пониженою передачею), що мають використовуватися як елементи електромеханічної трансмісії.

**Ключові слова:** ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНА ТРАНСМІСІЯ, ТЯГОВИЙ ЕЛЕКТРОДВИГУН, ГЕНЕРАТОР, РЕДУКТОР, ГУСЕНИЧНА МАШИНА

## РЕФЕРАТ

Конкурсная научно-исследовательская студенческая работа: 25 страниц, 6 рисунков, 3 таблицы, 5 литературных источников.

**Объект исследования** – процесс структурно-параметрического синтеза электромеханической трансмиссии военных и транспортных гусеничных машин.

**Цель работы** – разработка обобщенной методики оценки установочной мощности тяговых электродвигателей (ТЭД) и генератора для электромеханических трансмиссий военных и транспортных гусеничных машин в зависимости от их массы, заданных параметров подвижности и типа используемых механических редукторов.

**Результаты работы** – Разработана методика расчета необходимой суммарной механической установочной мощности ТЭД и генератора для электромеханической трансмиссии военных и транспортных гусеничных машин в зависимости от их массы, коэффициента приспособляемости по моменту выбранного ТЭД, заданных параметров подвижности и типа используемых механических редукторов.

Предложен алгоритм выбора необходимых передаточных отношений для различных типов редукторов (одноступенчатый, двухступенчатый и редуктор с пониженной передачей), которые предполагается использовать в составе электромеханической трансмиссии.

**Ключевые слова:** ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКАЯ ТРАНСМИССИЯ, ТЯГОВЫЙ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ, ГЕНЕРАТОР, РЕДУКТОР, ГУСЕНИЧНАЯ МАШИНА

## THE ABSTRACT

Competitive research student work: 25 pages, 6 figures, 3 tables, 5 literary sources.

**The object of research** is the process of structural-parametric synthesis of electromechanical transmission for military and transport tracked vehicles.

**The purpose of the work** is to develop a generalized methodology for assessing the installed capacity of traction electric motors (TEM) and a generator for electromechanical transmissions of military and transport tracked vehicles, depending on their mass, specified mobility parameters and the type of mechanical gearboxes used.

**Results of work** - A technique has been developed for calculating the required total mechanical installed power of the TEM and generator for the electromechanical transmission of military and transport tracked vehicles, depending on their mass, adaptability coefficient at the time of the selected TEM, given mobility parameters and the type of mechanical gearboxes used.

An algorithm is proposed for selecting the necessary gear ratios for various types of gearboxes (single-stage, two-stage and a gearbox with a lower gear), which are supposed to be used as part of an electromechanical transmission.

**Key words:** ELECTROMECHANICAL TRANSMISSION, TRACTION ELECTRIC MOTOR, GENERATOR, REDUCER, TRACKED MACHINE.

## ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 МЕТА І ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ.....	9
2 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТА ВИХІДНІ ДАНІ .....	10
2.1 Прийняті допущення, вихідні дані та параметри, що варіюються	10
2.2 Структура математичної моделі.....	12
2.2.1 Обчислення необхідної сумарної потужності ТЕД.....	13
2.2.2 Побудова графіка динамічного фактора для визначеної необхідної сумарної настановної потужності ТЕД.....	14
2.2.3 Знаходження передатних чисел двоступінчастих редукторів.....	15
2.3 Розрахунок потрібної потужності генератора.....	17
3 РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ.....	19
ВИСНОВКИ.....	24
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	25

## ВСТУП

На даний момент переважна більшість багатоцільової і військової техніки оснащено класичними дизельними двигунами і механічними ступінчастими трансмісіями. Така тенденція пов'язана, в першу чергу, з:

- відносною простотою і надійністю відпрацьованих конструкцій;
- економічністю механічних трансмісій і достатньо великим запасом ходу;
- технологічною налагодженістю процесів виготовлення вузлів і агрегатів;
- розвиненою методикою проектування і розрахунків;
- відносною доступністю паливних і мастильних матеріалів.

Однак в реальних умовах експлуатації суттєві проміжки часу машина рухається нерівномірно, з прискоренням або уповільненням, при цьому їй протидіють значні сили інерції, двигун працює на не встановившихся режимах, а уповільнення часто супроводжується використанням гальм. Все це при відносній складності автоматизації таких трансмісій призводить до високих вимог до кваліфікації механіків-водіїв, підвищених витрат палива, зниженню ресурсу двигуна та гальмівних елементів. Особливо це характерно для військових гусеничних машин, які мають значну масу і часто рухаються по пересіченій місцевості, що змушує різко змінювати силу тяги та швидкість руху машини. Крім того, для важких машин складність і вага багатоступінчастих механічних трансмісій зводять на нівець їхні переваги з вартості і економічності, а екологічні показники на перехідних режимах не витримують ніякої критики.

Дану проблему може вирішити застосування електромеханічних трансмісій (ЕМТ). В цьому випадку використовується генератор з приводом від двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) або газотурбінного двигуна і електричного регульованого приводу. При цьому тепловий двигун може

постійно працювати на одному з стаціонарних режимів, а додаткова потужність, що необхідна при розгоні або короткочасному подоланні підвищеного опору руху забезпечується накопичувачем.

Спроби створення ЕМТ не тільки для автомобілів, а й для військових гусеничних машин робилися ще на початку двадцятого століття. Одним з найбільш відомих розробників таких трансмісій був Фердинанд Порше, з його танком «Мишеня». Але "дітище" Порше зіткнулося з низьким рівнем розвитку компонентів електричних систем, а також з труднощами побудови системи управління. У повоєнні роки, нафтові компанії, лобіюючи свої інтереси, сильно відтягували процес розвитку електромобільності. Нафтовий бізнес розширював свої мережі заправних станцій, номенклатуру паливо-мастильних матеріалів, а також скуповував і приховував патенти на автомобілі зі зменшеною витратою нафтопродуктів або взагалі без їх використання. На рубежі третього тисячоліття відбувся стрибок у розвитку засобів комунікації, що призвело до неконтрольованого витоку інформації. Утворилася мережа вчених і інженерів по всьому світу, яким із розвитком обчислювальної і мікропроцесорної техніки вдалося отримати компоненти ЕМТ, позбавлені більшості історичних недоліків.

Сучасні електромеханічні трансмісії в порівнянні з двигунами внутрішнього згоряння і механікою, для військових гусеничних машин мають наступні переваги [1-4]:

- безступінчаста зміна швидкості, тягового зусилля і радіуса повороту;
- легкість автоматизації трансмісії і забезпечення управління машиною будь-яким членом екіпажу, а також робить можливим дистанційне керування;
- легкість реалізації систем курсової стійкості, протидії буксуванню і т.п.;
- розширені можливості по рекуперації енергії уповільнення, повороту, коливань підресорених мас і т. ін.;
- можливість короткочасного руху без працюючого ДВЗ із використанням накопичувачів;

– більш раціональне використання теплових двигунів в стаціонарних режимах роботи, що дозволяє зменшувати витрати пального і поліпшувати екологічні показники для не бойових умов використання;

– спрощена реалізація потрібної компоновки без механічних зв'язків між більшістю агрегатів трансмісії.

Проте, незважаючи на бурхливий розвиток електрифікації на автомобільному транспорті для військових і особливо військових гусеничних машин справи просуваються значно повільніше. Це пов'язано з тим, що для економії вартості все частіше в якості тягових електродвигунів використовують різні варіанти синхронних та асинхронних ТЕД змінного струму, у яких відносно класичних колекторних ТЕД постійного струму коефіцієнт пристосованості до навантаження по моменту значно нижчий. А потрібний діапазон зміни сили тяги для руху в умовах від повного бездоріжжя до асфальтованого шосе для військових гусеничних машин вельми великий.

Безумовно, в літературі є певна кількість описів існуючих розробок військової техніки на електротязі [1-2], але якихось методик для вибору необхідної потужності ТЕД, а також генератора, що їх живить, для гусеничних машин що допускають експлуатацію у важких дорожніх умовах окрім публікацій наукового керівника [3-4] в літературі знайдено не було.



## 1 МЕТА І ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Метою даної роботи є розробка узагальненої методики оцінки настановної потужності тягових електродвигунів і генератора для електромеханічних трансмісій військових гусеничних машин в залежності від їхньої маси, заданих параметрів рухливості та типу застосованих механічних редукторів.

У даній роботі була поставлена задача провести розрахунки потрібної потужності ТЕД і генератора, а також формалізувати методику цих розрахунків для гусеничного шасі тягача МТ-ЛБ різної маси, з використанням різних ТЕД та з використанням одноступінчастого редуктора, двохступінчастого редуктора і редуктора з пониженим рядом для заданих характеристик рухливості в різних умовах руху.

## 2 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТА ВИХІДНІ ДАНІ

2.1 Прийняті допущення, вихідні дані та параметри, що варіюються

- 1) Досліджується прямолінійний рух машини.
- 2) Коефіцієнт зчеплення з ґрунтом та опір кочення під лівою і правою гусеницею однаковий і незмінний.
- 3) Оцінюється вихідна механічна потужність ТЕД.
- 4) Вся потужність електродвигуна прикладена для забезпечення руху машини.
- 5) Коефіцієнт корисної дії гусениці врахований для закритого металевого шарніра.
- 6) Буксування рушія не враховується.

Для проведення розрахунків були взяті дані на прикладі гусеничного тягача МТ-ЛБ, а саме:

- радіус ведучого колеса 0,265 м;
- висота корпусу 2,090 м;
- ширина корпусу 2,850 м;
- кліренс 0,425 м;
- максимальна швидкість руху 18,6 м/с;
- середня швидкість руху по ґрунту 8,3 м/с;
- максимальний кут підйому 30°;
- коефіцієнт обтічності  $0,65(\text{H}\cdot\text{c}^2)/\text{M}^4$ ;
- розрахунковий час розгону по шосе, с (не більше) до швидкості  $0,95 v_{\text{max}}$  – 17,153 м/с (61,75 км/ч) 40 с;
- розрахунковий час розгону по шосе, с (не більше) до 8,33 м/с (30 км/ч) 10 с;
- максимальне значення динамічного фактору (не менше) 0,8;

Вага машини варіюється від 10 до 30 тон. Для кожної ваги в різні заїзди змінюється і тип редуктора. Використовуються одноступінчастий, двохступінчастий редуктори і редуктор зі зниженою передачею.

Одноступінчастий редуктор розглядається як редуктор, що незалежно від умов руху завжди реалізує постійне передатне відношення.

В якості редуктора з пониженою передачею мається на увазі аналог розданої коробки, що має два режими роботи – понижений та підвищений. Понижена передача використовується для руху у складних дорожніх умовах, а підвищена – на дорогах з твердим покриттям. Тому, при використанні такого редуктора необхідно повністю зупинити транспортний засіб і обрати потрібну передачу відповідно до умов руху.

Двохступінчастий редуктор представляє собою коробку передач на дві ступені, при якій рушання з місця відбувається на першій передачі і далі, за необхідності, виконується перемикання на другу передачу без зупинки транспортного засобу. Але такий редуктор потребує більш складного механізму перемикання передач.

Нижче в табл. 2.1–2.3 наведені характеристики ТЕД, що розглядалися: РН.382 (Швейцарія); EMRAX348 (Словенія); M73 (Німеччина).

Таблиця 2.1

## Характеристики ТЕД М73

Показник	Значення
Маса ТЕД, кг	88
Габарити (діаметр x довжина), мм	483 x 232
Максимальна потужність ТЕД, кВт	150
Максимальна довготривала потужність ТЕД, кВт	120
Максимальна частота обертання, об/хв	3100
Максимальний довготривалий момент, Нм	1050
Максимальний короткотривалий момент (менше хвилини), Нм	2050

Таблиця 2.2

## Характеристики ТЕД EMRAX 348

Показник	Значення
Маса ТЕД, кг	41
Габарити (діаметр x довжина), мм	348 x 105
Максимальна потужність ТЕД, кВт	150
Максимальна довготривала потужність ТЕД, кВт	120
Максимальна частота обертання, об/хв	3350
Максимальний довготривалий момент, Нм	500
Максимальний короткотривалий момент (менше хвилини), Нм	1000

Таблиця 2.3

## Характеристики ТЕД РН.382

Показник	Значення
Маса ТЕД, кг	83
Габарити (діаметр x довжина), мм	380 x 203
Максимальна потужність ТЕД, кВт	180
Максимальна довготривала потужність ТЕД, кВт	400
Максимальна частота обертання, об/хв	6000
Максимальний довготривалий момент, Нм	550
Максимальний короткотривалий момент (менше хвилини), Нм	1280

## 2.2 Структура математичної моделі

Попередні розрахунки показали, що при розгляді різних режимів руху (підйом на максимальний кут, рух з мінімальною і максимальною швидкостями), при даних умовах і заявлених тактико-технічних характеристиках, найбільшу потужність потребує режим розгону до максимальної швидкості і руху із нею. Тому, якщо виконати умову

забезпечення потужності, необхідної для досягнення максимальній швидкості, всі інші вимоги будуть виконані.

### 2.2.1 Обчислення необхідної сумарної потужності ТЕД.

2) Знаходимо коефіцієнт пристосованості по моменту електродвигуна:

$$K_m = \frac{M_{dv} \cdot \omega_{dv}}{N_{dv}}, \text{ де} \quad (2.1)$$

$M_{dv}$  – максимальний довготривалий момент ТЕД;

$N_{dv}$  – максимальна довготривала потужність ТЕД;

$\omega_{dv}$  – максимальна робоча частота обертання ротору ТЕД;

Значення наведені в таблицях (2.1-2.3).

3) Знаходимо передатне відношення найвищої передачі редуктора, виходячи з того, що при максимальних обертах ротору ТЕД машина повинна рухатись з максимальною швидкістю:

$$I_{tr} = \frac{\omega_{dv} \cdot R_{dw}}{V_{\max}}, \text{ де} \quad (2.2)$$

$R_{dw}$  – радіус ведучого колеса;

$V_{\max}$  – максимальна швидкість руху;

4) Знаходимо потрібний крутний момент, який забезпечить максимальний динамічний фактор  $D_{\max} = 0,8$ :

$$M_{\max} = \frac{G_m \cdot D_{\max} \cdot R_{dw}}{I_{tr} \cdot \eta_{wg} \cdot \eta_{cd}}, \text{ де} \quad (2.3)$$

$G_m$  – загальна вага транспортного засобу;

$\eta_{wg}$  – коефіцієнт корисної дії трансмісії;

$\eta_{cd}$  – коефіцієнт корисної дії гусеничного рушія.

Цей момент значно більший, ніж максимальний довготривалий момент одного ТЕД.

- 5) Знаходимо номінальний крутний момент (момент при максимальній потужності), який відповідає максимальному крутному моменту, необхідному для забезпечення динамічного фактора  $D_{\max} = 0,8$ :

$$M_{nom} = \frac{M_{\max}}{K_m}. \quad (2.4)$$

- 6) Знаходимо необхідну потужність ТЕД, яка забезпечить максимальний динамічний фактор при старті:

$$N_v = \omega_{dv} \cdot M_{nom}, \text{ де} \quad (2.5)$$

$\omega_{dv}$  – максимальна частота обертання ротору ТЕД.

Оскільки максимальний довготривалий момент був збільшений, то зріс і номінальний момент, а з ним і необхідна потужність. То ж попередня найбільш енерговмістка вимога щодо руху з максимальною швидкістю, також буде виконана. Отже, саме цю знайдену потужність і приймаємо в якості необхідної сумарної настановної потужності.

2.2.2 Побудова графіка динамічного фактора для визначеної необхідної сумарної настановної потужності ТЕД.

- 1) Обчислюємо кутову швидкість обертання ротору ТЕД:

$$\omega_i = \frac{V_i \cdot I_{tr}}{R_{dw}}, \text{ де} \quad (2.6)$$

$V_i$  – поточна лінійна швидкість транспортного засобу.

- 2) Обчислюємо сумарний крутний момент ТЕД:

$$M_i = \frac{N_v}{\omega_i}. \quad (2.7)$$

3) Отримуємо силу тяги, яку забезпечує двигун і трансмісія:

$$P_t = \frac{M_i \cdot I_{tr} \cdot \eta_{wg} \cdot \eta_{wg}}{R_{dw}}. \quad (2.8)$$

4) Обчислюємо опір повітря:

$$P_{rv} = V_i^2 \cdot k \cdot F, \text{ де} \quad (2.9)$$

$F$  – площа фронтальної проекції машини, яка визначається за формулою:

$$F = (H - h) \cdot B.$$

5) Отримуємо динамічний фактор:

$$D_i = \frac{P_t - P_{rv}}{Gm}, \text{ де} \quad (2.10)$$

$Gm$  – вага транспортного засобу.

Таким чином, перебираючи швидкість машини до максимальної та слідуючи алгоритму з рівнянь (2.6-2.10) отримуємо зовнішню характеристику ТЕД, за умови, що їх сумарна потужність не менша за максимальну необхідну потужність рівняння (2.5).

Аналогічно проведені розрахунки для різних редукторів з урахуванням їх передатного числа та моменту перемикавання.

### 2.2.3 Знаходження передатних чисел двоступінчастих редукторів.

Для всіх трьох типів редукторів передатне відношення найвищої передачі (або єдине передатне число для одноступеневого редуктора) визначається виходячи з того, що на найвищій передачі машина повинна рухатись з максимальною швидкістю, за формулою (2.2)

2.2.3.1 Визначення передатного числа першої передачі редуктора з пониженою передачею.

Це передатне число визначається виходячи з того, що на цій передачі при максимальних обертах ротору ТЕД машина повинна рухатись зі швидкістю, що співпадає з середньою швидкістю по шосе, тобто 8,3 м/с. Визначення передатного числа відбувається по формулі (2.2), тільки в якості  $V_{\max}$  використовуємо середню швидкість руху по ґрунтовій дорозі.

2.2.3.2 Визначення передатного числа першої передачі двохступінчастого редуктора.

Потужність, що необхідна для руху з максимальною швидкістю визначається:

$$N_{v\max} = \frac{(Gm \cdot f_1) + (k \cdot F \cdot V_{\max}^2) \cdot V_{\max}}{\eta_{wg} \cdot \eta_{cd}}, \text{ де} \quad (2.11)$$

$\eta_{cd} = a_1 - (a_2 \cdot V_{\max})$  – ККД гусениці на максимальній швидкості руху.

Далі знаходимо номінальний сумарний крутний момент двигунів при максимальних обертах ротору ТЕД:

$$M_{nom} = \frac{N_{v\max}}{\omega_{dv}}. \quad (2.12)$$

Визначимо максимальний крутний момент ТЕД:

$$M_{\max} = M_{nom} \cdot K_m. \quad (2.13)$$

Подальший алгоритм дозволить знайти швидкість руху, за якої повинно відбутися перемикання з першої передачі на другу.

Необхідно змоделювати розгін машини з місця, і слідкувати за параметрами ТЕД.

- 1) Збільшуючи швидкість  $V_i$ , на кожному кроці перераховуємо кутову швидкість обертання ротору двигуна  $\omega_i$  за формулою (2.6);
- 2) Отримуємо крутний момент двигуна за формулою (2.7);



- 3) Таким чином необхідно досягнути рівності  $M_{\max} = M_i$  і тоді отримуємо необхідну  $V_i$ .
- 4) Приймаємо  $V_i = V_{\max Low}$ , і вважаємо, що це є точкою перетину номінального крутного моменту на першій передачі і точкою максимального крутного моменту на другій передачі.
- 5) Обчислюємо передатне число першої передачі за формулою (2.2)

$$Itr_{low} = \frac{(\omega_{dv} \cdot R_{dw})}{V_{\max Low}}.$$

Для оцінки впливу ваги на потрібну потужність двигуна, вага транспортного засобу зростала і для кожної нової ваги розрахунки пунктів 2.2.1 і 2.2.3 повторювалися.

### 2.3 Розрахунок потрібної потужності генератора

Незважаючи на отримані значення потужностей тягових електродвигунів, в більшості випадків реалізувати її неможливо. Настановна потужність ТЕД в нашому випадку необхідна лише для реалізації крутного моменту, що дає можливість досягти необхідного динамічного фактора. Все це означає, що потрібна для руху в будь-яких умовах потужність буде меншою ніж розрахована настановна потужність ТЕД. Тому необхідно знайти потужність, яку має надавати генератор для забезпечення руху в різних дорожніх умовах.

Як було зазначено, найбільш енерговмістким є режим руху з максимальною швидкістю, то ж в якості початкової потужності приймаємо потужність для руху з максимальною швидкістю на асфальтобетоні, визначену за формулою (2.11).

Розрахунок проводиться з урахуванням допущень пункту 2.1, що максимальна швидкість повинна досягатися за 40 секунд, а середня швидкість по ґрунту за 10 секунд. Враховується також, що машина повинна рухатися з коефіцієнтом опору руху 0.8.

$$t_i = \frac{(V_i \cdot V_{ij}) \cdot b_i}{g \cdot \frac{D_i + D_{ij} - f_1}{2}}, \text{ де} \quad (2.12)$$

$V_i$  – значення поточної швидкості;

$V_{ij}$  – значення швидкості з попереднього кроку диференціювання;

$b_i$  – коефіцієнт умовного збільшення ваги;

$g$  – прискорення вільного падіння;

$D_i$  – значення поточного динамічного фактору;

$D_{ij}$  – значення динамічного фактора з попереднього кроку диференціювання;

Якщо отриманні значення часу розгону не задовольняють значенням, зумовленим в пункті 2.1, то потрібно збільшити потужність і знову виконати вимоги пункту 2.3.

### 3 РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

За викладеним вище алгоритмом був отриманий масив інформації, що дозволив отримати залежність необхідної сумарної потужності ТЕД від ваги машини та типу механічної частини трансмісії.

За отриманими результатами були побудовані графіки залежності необхідної сумарної потужності різних ТЕД від ваги машини з різними типами трансмісій: одноступінчастим редуктором, редуктором з передачею зниженого ряду та двохступінчастим редуктором (рис. 3.1 – 3.3)

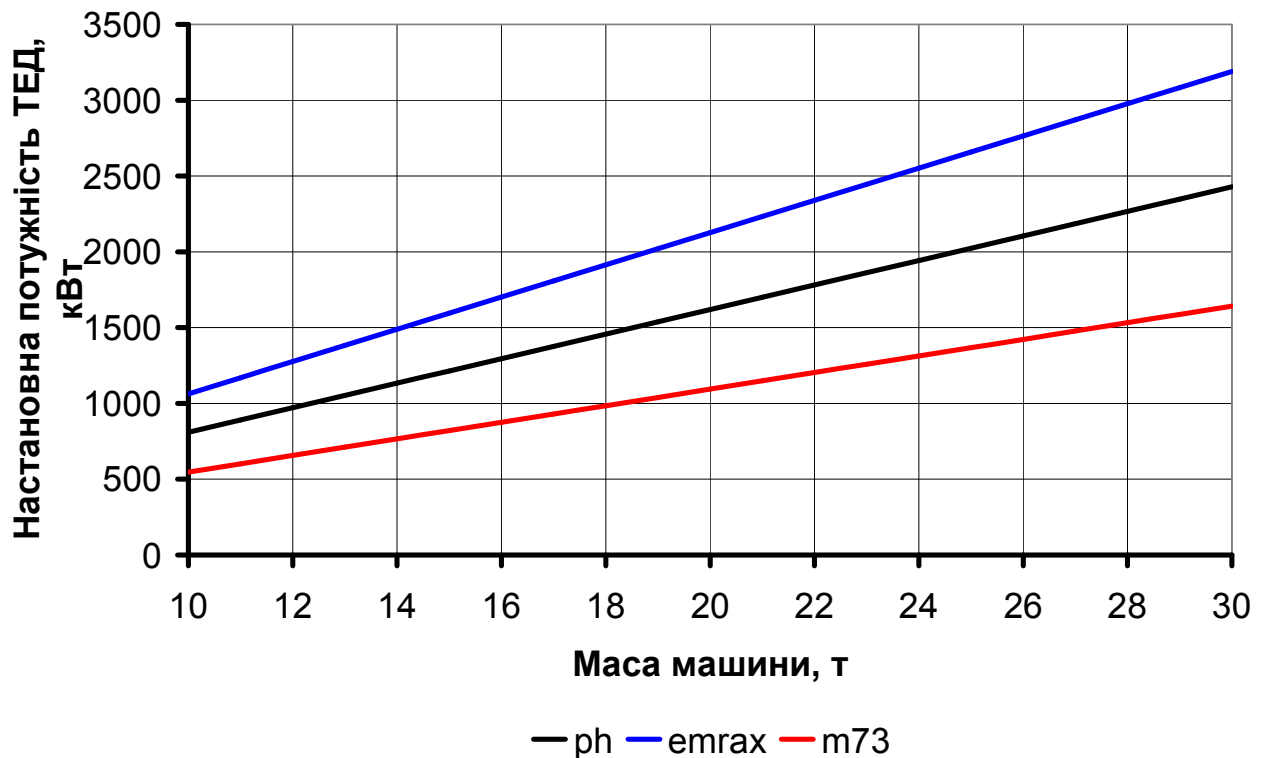


Рисунок 3.1 – Одноступінчастий редуктор

Аналізуючи отриманні графіки було помічено, що одноступінчастий редуктор потребує в деяких випадках збільшення настановної потужності більш ніж в два рази.

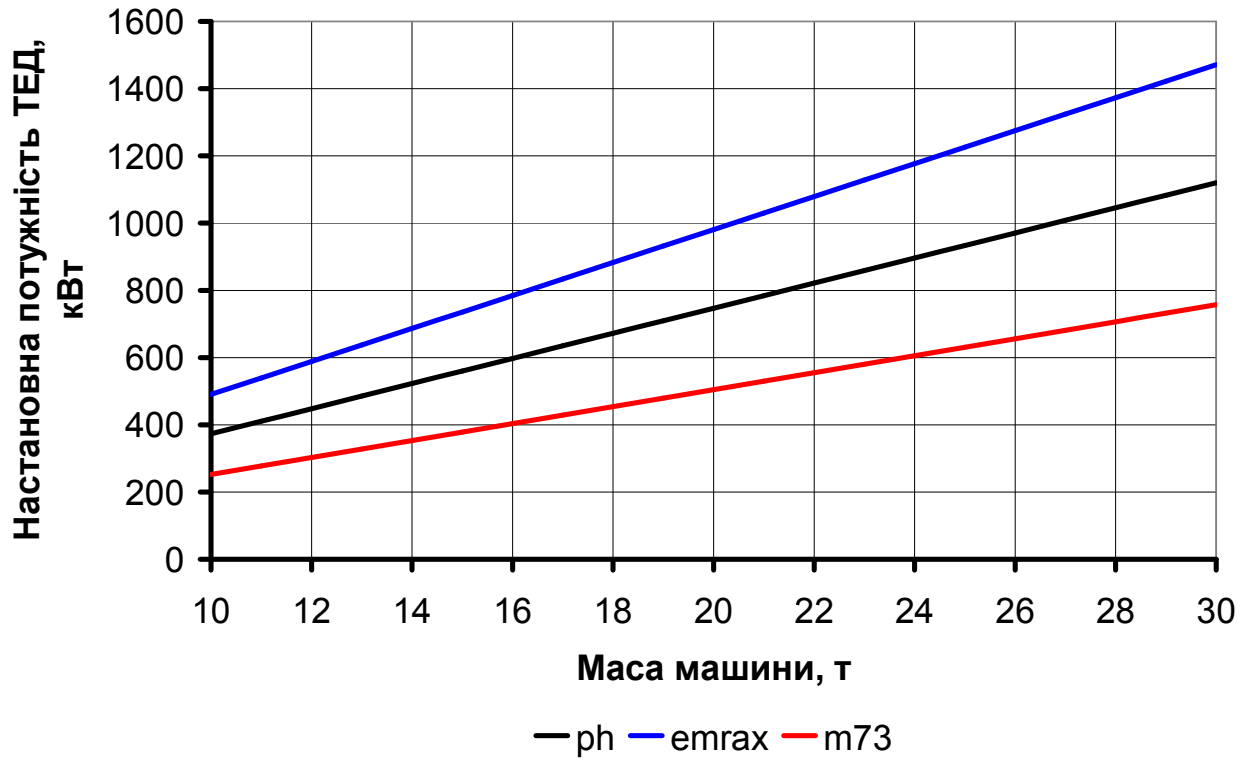


Рисунок 3.2 – Редуктор з передачею зниженого ряду

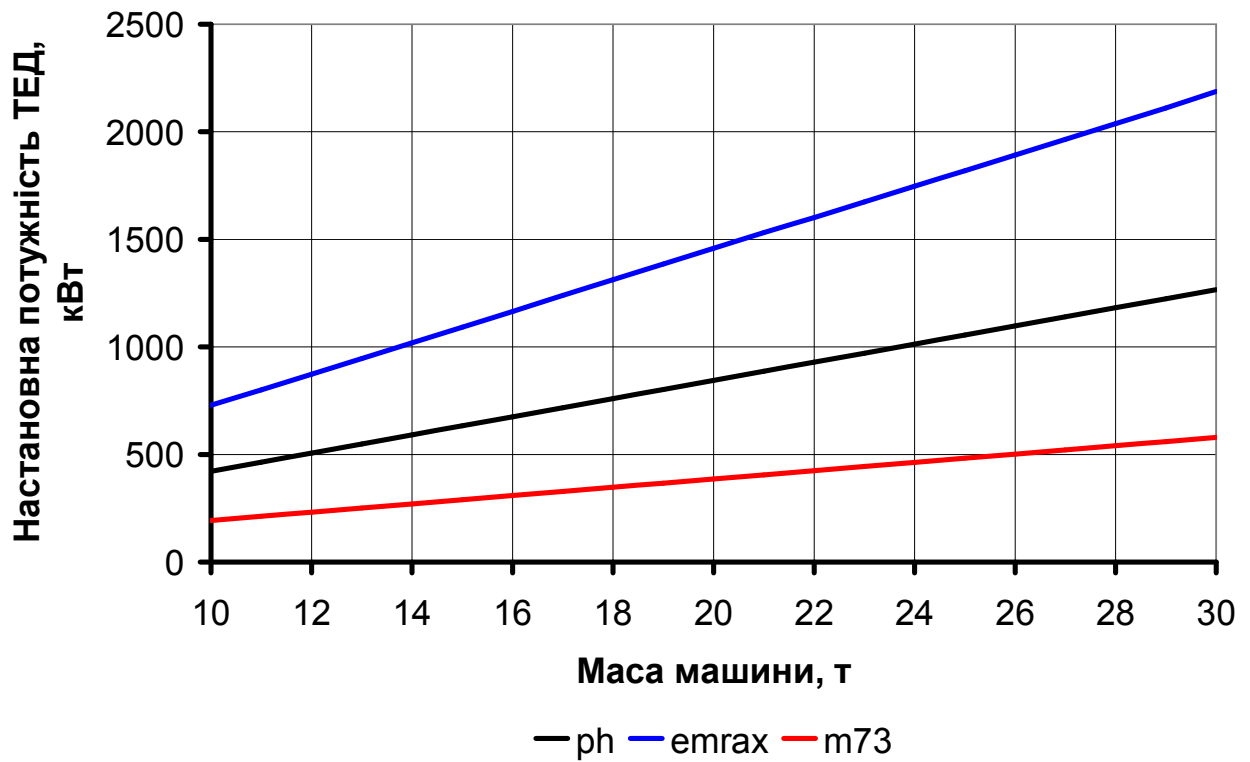


Рисунок 3.3 – Двохступінчастий редуктор

Двохступінчастий редуктор та редуктор з передачею зниженого ряду мають досить близькі значення необхідної настановної потужності, тому для більш детального розгляду було побудовано зведений графік залежності настановної потужності від ваги машини для цих редукторів з різними типами двигунів (Рис. 3.4).

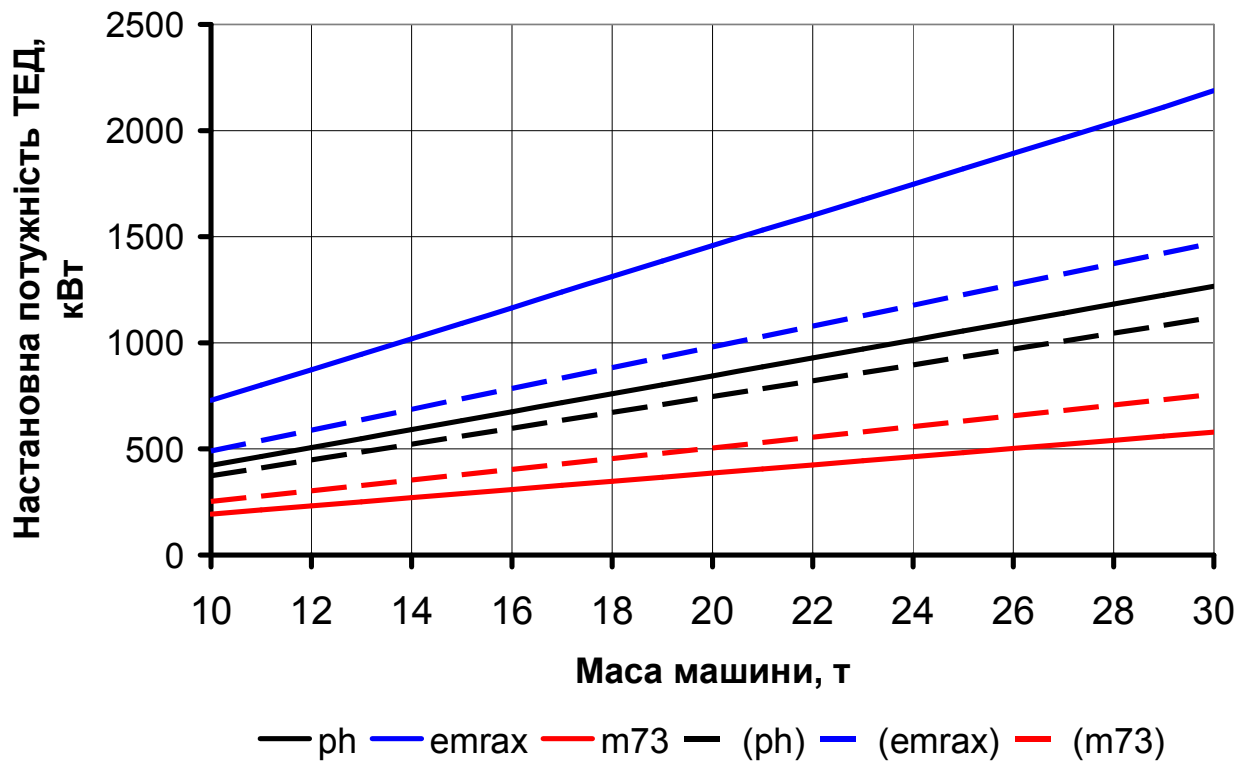


Рисунок 3.4 – Зведений графік потужності ТЕД для двохступінчастого редуктора та редуктора зі зниженою передачею

На рис. 3.4 суцільними лініями зображено залежності потужності ТЕД від ваги для двохступінчастого редуктора, а пунктирними – для редуктора зі зниженою передачею.

Таким чином, для ТЕД EMRAX348 та PH382 їх необхідна настановна потужність буде меншою для редуктора зі зніженою передачею, а для ТЕД M73 менша настановна потужність потрібна при встановленні двохступінчастого редуктора з перемиканням в процесі руху машини.

Розглянуті в даній роботі ТЕД відрізняються коефіцієнтом пристосованості по крутному моменту (2.1).

Так для ТЕД, що розглядаються вони дорівнюють:

$$K_m = 1,461 \text{ для ТЕД EMRAX348;}$$

$$K_m = 1,919 \text{ для ТЕД PH382;}$$

$$K_m = 2,839 \text{ для ТЕД M73.}$$

Тому далі наведено графік (рис. 3.5.) залежності необхідної настановної механічної потужності ТЕД від коефіцієнта пристосованості по моменту для машини масою 10 тон.

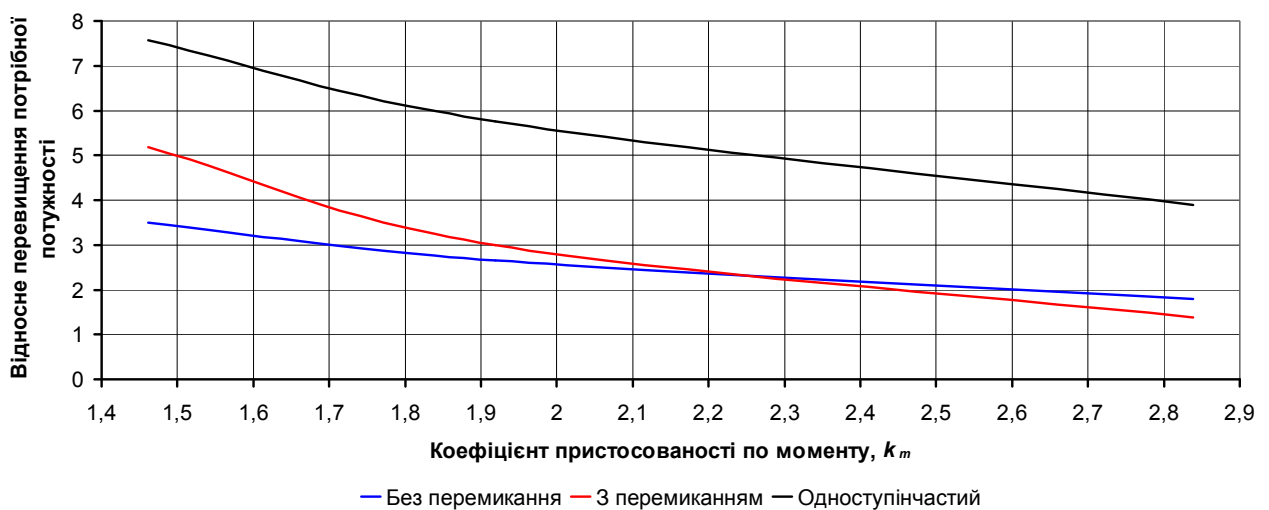


Рисунок 3.5 – Залежність настановної потужності ТЕД від коефіцієнту пристосованості по крутному моменту.

Виходячи з отриманих результатів, для двигунів з коефіцієнтом пристосованості по крутному моменту до 2,25 доцільно використовувати редуктор в якому одна ступінь є пониженою для руху у важких дорожніх умовах, а друга ступінь дає можливість реалізувати максимальну швидкість по дорогах загального користування. Якщо встановлювати двигун з більшим ніж 2,25 коефіцієнтом пристосованості по моменту, кращі показники по настановній потужності буде мати редуктор з двома послідовними передачами, які по черзі використовуються для розгону машини. Він забезпечить рух у важких дорожніх умовах та після перемикання на вищу передачу надасть

можливість реалізувати максимальну швидкість на дорогах с твердим покриттям.

Це пояснюється тим, що для заданих умов руху та редуктора з двома передачами діапазону перекриття динамічного фактора від 0,8 до 0,045 недостатньо при коефіцієнті пристосованості по моменту нижче, ніж 2,5. Необхідно або використовувати двигун з більшим коефіцієнтом пристосованості або збільшувати кількість передач в редукторі.

На рисунку 3.6 наведено графік залежності необхідної потужності генератора від маси машини, який показує пряму залежність цих величин.

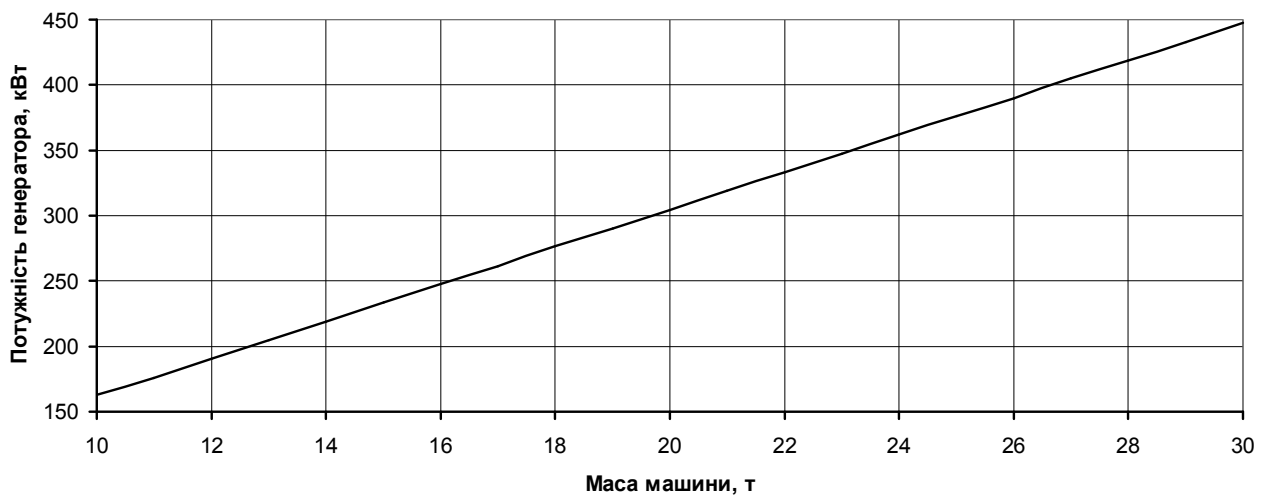


Рисунок 3.6 – Необхідна потужність генератора

Представлена залежність показує, яку потужність має надавати генератор, щоб забезпечить рух транспортного засобу в зоні динамічного фактору 0,8, та розгону до максимальної швидкості руху. Цей графік справедливий для всіх типів трансмісії, і залежить лише від коефіцієнтів корисної дії редукторів та рушія.

#### 4 ВИСНОВКИ

1. Запропонована методика розрахунку необхідної сумарної механічної настановної потужності ТЕД та генератора для електромеханічної трансмісії військових або транспортних гусеничних машин в залежності від їхньої маси, що можуть експлуатуватися як на дорогах з твердим покриттям, так і у складних дорожніх умовах.

2. Запропонований алгоритм вибору необхідних передатних відношень для різних типів редукторів (одноступеневий, двохступеневий та редуктор з пониженою передачею), що мають використовуватися як елементи електромеханічної трансмісії.

3. Доведено, що для двигунів з коефіцієнтом пристосованості по моменту менше 2,25 менша сумарна настановна потужність потрібна при двохступеновому редукторі, а при коефіцієнті пристосованості по моменту більше 2,25 – редуктор з пониженою передачею.

4. Для обрання якісного рішення по структурі електромеханічної трансмісії необхідно проводити оптимізацію по вартості, вазі і надійності в залежності від коефіцієнту пристосованості по моменту обраного типу ТЕД, заданих параметрів рухливості та типу застосовуваного механічного редуктора.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. All Electric Combat Vehicles (AECV) for Future Applications / Report of The Research and Technology Organisation (RTO) of NATO Applied Vehicle Technology Panel (AVT) Task Group AVT-047 (WG-015). ISBN 92-837-1110-6. 2004. – 234 p.  
<http://newisbn.ru/All-electric-combat-vehicles-AECV-for-future-applications-Elektronische-Ressource--Les-v%C3%A9hicules-de/9/ebbfdfh>
2. P. Sivakumar, Rajaseeli Reginald, G. Venkatesan and others. Configuration Study of Hybrid Electric Power Pack for Tracked Combat Vehicles. *June 2017. Defence science journal* 67(4):354. DOI: 10.14429/dsj.67.11454.  
[https://www.researchgate.net/publication/318369026\\_Configuration\\_Study\\_of\\_Hybrid\\_Electric\\_Power\\_Pack\\_for\\_Tracked\\_Combat\\_Vehicles](https://www.researchgate.net/publication/318369026_Configuration_Study_of_Hybrid_Electric_Power_Pack_for_Tracked_Combat_Vehicles).
3. Волонцевич Д.О., Веретенников Е.А., Костяник И.В., Яремченко А.С., Ефремова А.И., Карпов В.О. Выбор мощности электропривода легкобронированных гусеничных и колесных машин с использованием одно- или двухступенчатых механических редукторов. *Електротехніка і електромеханіка*. 2019. №1. С.29-35. doi: 10.20998/2074-272X.2019.1.05.  
<http://eie.khpi.edu.ua/article/view/2074-272X.2019.1.05>. WoS.
4. Волонцевич Д.О., Веретенников Е.А., Ефремова А.И. и др. Тяговый баланс перспективного гусеничного многоцелевого транспортера–тягача с бортовой электромеханической трансмиссией. *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Транспортне машинобудування*. Харків: НТУ «ХПІ», 2017. № 5 (1227). С. 162-167.  
[http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/33711/3/vestnik\\_KhPI\\_2017\\_5\\_Volontsevich\\_Tyagovyuy.pdf](http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/33711/3/vestnik_KhPI_2017_5_Volontsevich_Tyagovyuy.pdf)
5. Гнатов А.В., Аргун Щ.В., Трунова І.С. Теорія електроприводу транспортних засобів. Харків: ХНАДУ, 2015. 292 с.