

УДК 629.1.01

## МОДЕЛЮВАННЯ КІЛЬКОСТІ ПЕРЕМИКАНЬ ПЕРЕДАЧ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО

Калінін Є.І., к.т.н., доцент

*(Харківський національний технічний університет сільського господарства  
імені Петра Василенка)*

*В роботі розглянуто питання розрахунку перемикачів передач мобільних енергетичних засобів на одиницю пройденого шляху. Задача розв'язана за допомогою метода Монте-Карло для гусеничного трактора.*

**Вступ.** При експлуатації мобільних енергетичних засобів, як в промисловому призначенні, так і в приватному виробництві, частка відмов агрегатів трансмісії становить 10...15% від сумарних потоків відмов, що неминуче супроводжують експлуатацію. Ґрунтуючись на зазначених цифрах складно стверджувати, що агрегати трансмісії можуть істотно впливати на технологічний процес, зокрема, на загальну експлуатаційну надійність тягово-транспортного засобу. Однак, поряд з відносно високою надійністю, на відновлення працездатності силових вузлів трансмісії в разі настання їх аварійних відмов потрібно до 40% від сумарних матеріальних і трудових витрат, необхідних для виведення енергетичної одиниці з аварійних станів на протязі всього терміну її експлуатації.

Таким чином, трансмісія залишається хоч і відносно надійною при експлуатації, але все ж досить дорогою системою при її відновленні. Тому питання, пов'язані зі збільшенням ресурсу агрегатів трансмісії, а також з розробкою методів зниження тяжкості наслідків їх аварійних відмов, зокрема, з розробкою методів їх попередження, на сьогоднішній день продовжує бути актуальною. Істотну роль у вирішенні поставленого завдання грає оцінка навантаженості агрегатів трансмісії з точки зору їх експлуатаційних процесів.

**Аналіз останніх досягнень та публікацій.** В роботах [2, 3] на основі теоретичних функцій розподілу оборотів двигуна по передачах дано наближене розв'язання задачі теоретичної побудови спектра навантаження валів трансмісії гусеничних машин при сталих режимах роботи.

Для проведення розрахунків на довговічність необхідно, крім навантажень на сталих режимах, врахувати ще й навантаження з відповідною кількістю циклів, що виникають на перехідних режимах роботи (перемикачів передач, гальмування і т.д.). Основні рівняння для розрахунку навантажень на перехідних режимах наведені в роботі [4].

**Мета та постановка задачі.** В даній роботі розглядається питання про визначення кількості перемикачів передач, що припадають на одиницю пройденого шляху.

**Вирішення задачі.** Для вирішення поставленої задачі тягова характеристика машини зіставляється по осі абсцис з функцією розподілу по шляху швидкості руху за умовою безпеки  $F_s(V_n, V_{кр})$ , а по осі ординат – з функцією розподілу по шляху коефіцієнтів опору руху  $F_s(f_c)$  [2] і розбивається на квадрати (рис. 1).

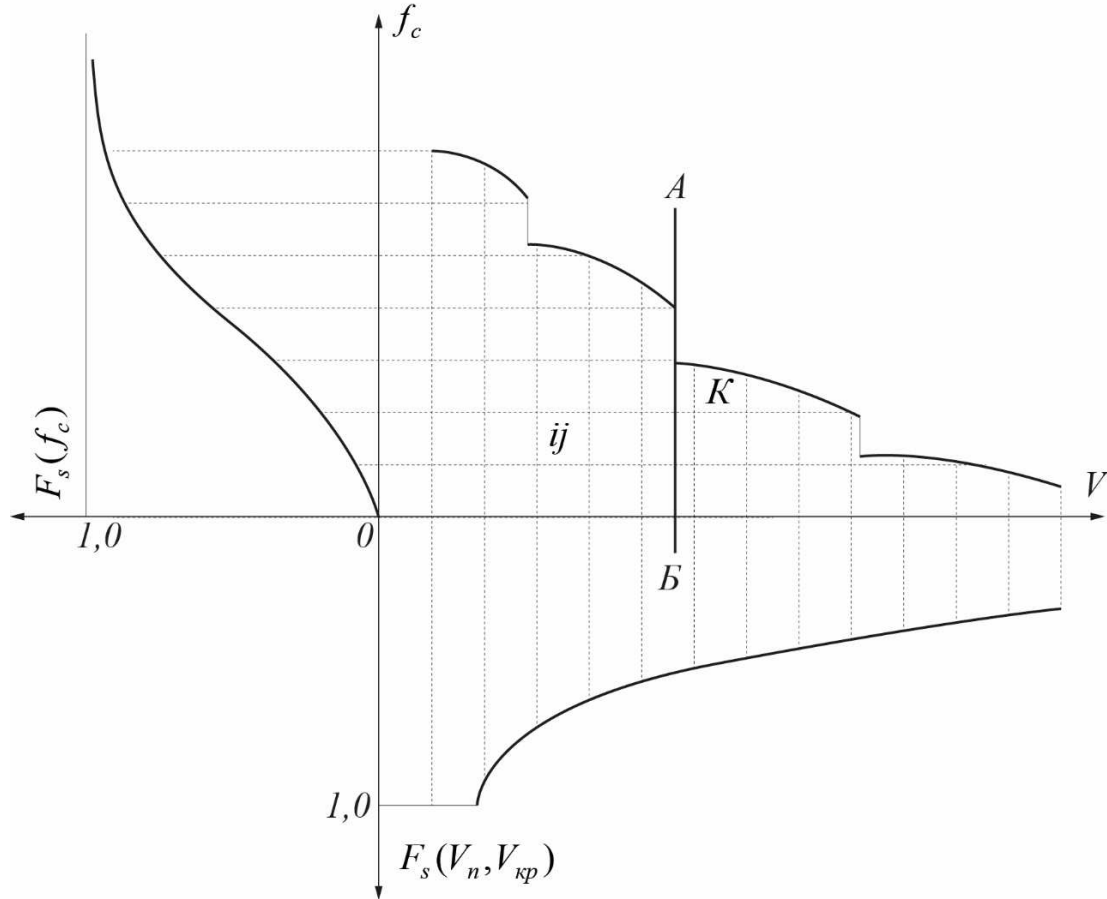


Рис. 1. Приклад розбиття тягової характеристики мобільного енергетичного засобу на квадрати для визначення кількості переключення передач

Функція розподілу по шляху швидкості руху за умовою безпеки будується за виразом виду:

$$F_s(V_n, V_{кр}) = F_s(V_n)F_s(V_{кр}), \quad (1)$$

де  $F_s(V_n)$  – функція розподілу по шляху швидкості руху з урахуванням обмеження швидкості тільки системою підресорювання;  $F_s(V_{кр})$  – функція розподілу по шляху критичної швидкості, при якій починається бічне відведення.

Імовірність руху в квадраті  $ij$  можна визначити як:

$$p'_{ij} = p_i p_j, \quad (2)$$

де  $p_i$  – ймовірність руху за умовою безпеки в  $i$ -му швидкісному інтервалі (визначається за функцією  $F_s(V_n, V_{кр})$ );  $p_j$  – ймовірність руху в  $j$ -му навантажувальному інтервалі (визначається за функцією  $F_s(f_c)$ ).

Рух машини з імовірністю, що дорівнює одиниці, може відбуватися лише в областях, розташованих лівіше і нижче тягової кривої. Тому обчислені ймовірності  $p'_{ij}$  необхідно пронормувати за виразом виду:

$$p_{ij} = \frac{p'_{ij}}{\sum_i \sum_j p'_{ij}}. \quad (3)$$

Припускаючи, що на сталих режимах роботи двигун працює по зовнішній характеристиці, визначимо ймовірність того, що з режиму  $ij$  машина потрапить в граничний режим  $K$ . Під граничним режимом будемо розуміти рух машини в квадраті, що примикає до тягової характеристики. Для обчислення зазначеної ймовірності використовуємо задачу блукання методу Монте-Карло. Можна показати [4], що з імовірністю, що дорівнює одиниці, машина в кінці кінців потрапить в один з граничних режимів.

Якщо промоделювати блукання машини  $N$  раз, змушуючи її щораз виходити з квадрату  $ij$ , і підрахувати кількість  $L$  випробувань, при яких шлях машини закінчується в точці  $K$ , то ймовірність досягнення з режиму  $ij$  граничного режиму  $K$  становить:

$$p'_k \cong \frac{L}{N}. \quad (4)$$

Імовірність переходу з режиму  $ij$  в один із сусідніх режимів залежить від ймовірності цих режимів. Якщо відносні ймовірності сусідніх режимів 1, 2, 3, 4 відповідно  $p_1, p_2, p_3, i p_4$ , то перехід з режиму  $ij$  в один із сусідніх можна здійснити, наприклад, за наступним правилом:

1.  $0 \leq p \leq p_1 \Rightarrow ij \rightarrow i, (j-1)$ ;
2.  $p_1 < p \leq p_1 + p_2 \Rightarrow ij \rightarrow (i-1), j$ ;
3.  $p_1 + p_2 < p \leq p_1 + p_2 + p_3 \Rightarrow ij \rightarrow i, (j+1)$ ;
4.  $p_1 + p_2 + p_3 < p < 1 \Rightarrow ij \rightarrow (i+1), j$ .

Значення  $p$  можна взяти з таблиці випадкових чисел [4] або з генератора випадкових чисел. Координатні вісі слід вважати екраном відображення, а тягову криву – екраном поглинання, тобто при досягненні квадрата, що примикає до координатної вісі, подальше блукання (рух) можливий, а при досягненні квадрата, що примикає до тягової кривої, блукання зупиняється.

Імовірність здійснення розгону з режиму  $ij$  в  $K$  з більшою швидкістю руху складе:

$$p_{розг} = \frac{p_{ijk}}{p_k} F_s(V_n, V_{кр}), \quad (5)$$

де  $p_k = \sum_i \sum_j p_{ijk}$ ;  $p_{ijk} = p_{ij} p'_k$  – ймовірність переходу з  $ij$  в  $K$ ;  $F_s(V_n, V_{кр})$  – ймовірність руху зі швидкістю  $V > V_i$ ; а при переході з  $ij$  в  $K$  з меншою швидкістю:

$$P_{розг} = \frac{P_{ijk}}{P_k} [1 - F_s(V_n, V_{кр})]. \quad (6)$$

Якщо при переході з  $ij$  в  $K$  відбувається перетин вертикальної лінії  $AB$ , що з'єднує тягові криві на сусідніх передачах, то це означає, що з ймовірністю  $P_{розг}$  здійснюється одне перемикання з однієї передачі на сусідню. Кількість перемикань з однієї передачі на сусідню можна підрахувати як:

$$n = \sum_1^m P_{розг}, \quad (7)$$

де  $m$  – кількість перетинів вертикальної лінії, що з'єднує тягові криві на сусідніх передачах при переході з різних  $ij$  в різні  $K$ .

Як приклад за наведеним вище методом було розраховано кількість перемикань передач для гусеничного трактора третього тягового класу. Функції розподілу  $F_s(f_c)$  та  $F_s(V_n, V_{кр})$  взяті з роботи [2]. Тягова характеристика машини була розбита на тридцять квадратів, з яких дев'ять – граничних, дев'ять квадратів примикають до вісі абсцис (вісь  $V$ ), п'ять – до вісі ординат (вісь  $f_c$ ).

Моделювання блукань машини з кожної неграничної клітини повторювалося по 40 разів. Для моделювання блукань використовувалася таблиця випадкових чисел з [4]. Результати розрахунку кількості перемикань передач зведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати теоретичного моделювання перемикання передач трактора третього тягового класу методом Монте-Карло

Передачі	II	II – III	III – IV	IV – V	IV – III	III – II
Кількість перемикань	1,29	2,28	1,31	0,72	0,006	0,02

Слід зазначити, що досягнення при блуканні клітин, прилеглих до вісі ординат (зупинки), спеціально не фіксувалися. Відсутність даних перемикання з п'ятої передачі на четверту можна пояснити недостатністю кількості клітин, на які була розбита тягова характеристика.

### Висновки

Таким чином, можна казати про те, що моделювання процесу переключення передач з точки зору імовірнісних показників дає достатні результати, які дозволяють на їх базі оцінити експлуатаційну навантаженість елементів трансмісії та вирішити питання підвищення показників надійності її агрегатів ще на етапі проектування.

## Список використаних джерел

1. *Калінін Є.І.* Частотно-динамічна математична модель тракторного агрегату з передачею крутного моменту до рушіїв сільськогосподарської машини / *Є.І. Калінін* // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. – 2015. – Вип. 156. – С. 327-334.
2. *Вафин Р.К.* Теоретическая оценка параметров спектра нагружения трансмиссии гусеничных машин / *Р.К. Вафин* // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1974. – №9. – С. 8-13.
3. *Вафин Р.К.* Функция распределения скоростей движения и оборотов двигателя гусеничных машин / *Р.К. Вафин* // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1974. – №10. – С. 3-8.
4. *Бусленко Н.П.* Метод статистических испытаний (метод Монте-Карло) / *Н.П. Бусленко, Ю.А. Шрейдер.* – М.: Физматгиз, 1961. – 229 с.
5. *Болотин А.А.* О характере нагрузки на двигатель и силовую передачу трактора / *А.А. Болотин* // Тракторы и сельхозмашины. – 1959. – №11. – С. 15-19.
6. *Поляков О.А.* Способы моделирования эксплуатационной загрузки колесного трактора / *О.А. Поляков* // Тракторы и сельхозмашины. – 1971. – №2. – С. 11-13.

## Аннотация

### Моделирование количества переключений передач методом Монте-Карло Калинин Е.И.

*В работе рассмотрены вопросы расчета переключений передач мобильных энергетических средств на единицу пройденного пути. Задача решена с помощью метода Монте-Карло для гусеничного трактора.*

## Abstract

### Modeling of gear shifts using Monte-Carlo method

Y. Kalinin

*The article describes the calculation of mobile power tools gear shift by distance unit. The problem is solved using the Monte-Carlo method for a crawler tractor.*