

## Список літератури

1. Агамиров Л.В. Сопротивление материалов краткий курс / Л.В. Агамиров. – М.: ООО «Издательство Астрель», ООО «Издательство АСТ», 2003. – 256 с.
2. Василенко П.М. Теория движения частиц по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / П.М. Василенко. – К.: УАСХН, 1960. – 283 с.
3. Кукта Г.М. Технология переработки и приготовления кормов / Г.М. Кукта. – М.: Колос, 1978. – 240 с.
4. Кулаковский И.В. Машины и оборудование для приготовления кормов. Справочник / Кулаковский И.В., Кирпичников Ф.С., Резник Е.И. – М.: Россельхозиздат, 1987. – Т. 1. – 287 с.
5. Охріменко А.Л. Обґрунтування технологічного процесу і параметрів робочих органів подрібнювача роздавача пресованих грубих кормів : Автореферат дис. на здобуття н. ст. д.т.н. – М.: 1992. – 42 с.
6. Пикуза И.Ф. Машины для приготовления и раздачи грубых и сочных кормов (теория и расчет) : курс лекций ; часть 1 / И.Ф. Пикуза. – Ростов-на-Дону, 1970. – 187 с.
7. Деклараційний патент на корисну модель 8273 А 01F29/00. Подрібнювач стеблових кормів / І.І. Ревенко, Р.Г. Василенко. – 4 с.
8. Резник Е.И. Машины и оборудование для обработки грубых кормов / Е.И. Резник. – М.: Россельхозиздат, 1984. – 84 с.
9. Резник Е.И. Оценка качества измельчения грубых кормов / Е.И. Резник, С.В. Рыжов // Техника в сельском хозяйстве. – 1986. – №4. – С. 28–29.

*Представлена методика расчета конструктивных параметров комбинированного измельчающего аппарата. Рассмотрены условия расчета работоспособности машины.*

***Stalked, feed, shredder, calculation, knife, pin.***

*A procedure for calculating the structural parameters of the combined grinding apparatus. The conditions for calculating the performance of the machine.*

***Stalked, feed, shredder, calculation, knife, pin.***

УДК 631.3:636+621.89

## ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРУ СПРАЦЮВАННЯ МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ У ФЕРМСЬКИХ МАШИНАХ

***В.І. Ребенко, кандидат технічних наук***

*Приведено теоретичні та експериментальні результати визначення характеру спрацювання мастильних матеріалів, що використовуються у фермській техніці, за комплексними показниками вибігу.*

© В.І. Ребенко, 2015

## ***Мастильні матеріали, фермські машини, технічне обслуговування, показники вибігу, спрацювання.***

**Постановка проблеми.** Одним із шляхів економії мастильних матеріалів (ММ) є правильно організований режим мащення при технічному обслуговуванні (ТО) кожної машини, який дозволить своєчасно замінювати працюючі ММ при максимально повному використанні їхнього ресурсу. Встановлена діючими правилами ТО періодичність не враховує їх фактичний стан на момент заміни. ММ, які замінюються за регламентом, часто не повністю відпрацьовують свій ресурс, проте іноді певний час працюють в граничному стані, чим інтенсифікують зношування деталей і можуть бути причиною серйозних несправностей та відмов машин. Об'єктивне і точне визначення дійсного робочого стану ММ (діагностика) дасть можливість прийняти рішення про доцільність його подальшого використання чи заміни і провести необхідні види робіт з ТО і ремонту фермських машин. Крім того, в сільськогосподарському виробництві використовується досить широка номенклатура (тільки в галузі тваринництва 18 найменувань (в т.ч. й дефіцитні або застарілі) ММ), що значною мірою ускладнює організацію ТО фермських машин.

У зв'язку з цим актуальними є дослідження, направлені на визначення терміну служби ММ при забезпеченні нормативного ресурсу вузлів тертя фермських машин і обладнання, а також на обґрунтування номенклатури ММ для сільськогосподарських тваринницьких підприємств.

**Аналіз останніх досліджень.** Огляд літератури, присвяченої ТОР машин для тваринництва, а також аналіз умов їх роботи показали, що ефективність ТО значною мірою залежить від режиму змащування. Аналіз наукової інформації з питань старіння ММ [1, 7] показав високу вивченість цих процесів у двигунах і сільськогосподарських машинах, проте стосовно фермських машин вони недостатньо розглянуті. Відсутні також методи і практичні критерії для комплексної оцінки робочого стану ММ. Вивчення заводських інструкцій з експлуатації машин та обладнання для тваринництва дозволяє стверджувати, що приведені в них рекомендації щодо мащення не завжди однозначні і достатньо обґрунтовані.

В зв'язку з відміченим станом виникає необхідність у дослідженні причин та характеру спрацювання ММ, обґрунтуванні критеріїв і кількісній оцінці величини спрацювання, визначенні раціонального терміну їх використання та необхідного режиму ТО фермських машин.

**Мета досліджень.** Визначення характеру спрацювання та підвищення ефективності використання ММ у засобах механізації тваринництва.

**Результати досліджень.** Під час експлуатації машин під дією різних факторів технічного стану вузлів тертя та зовнішнього середовища параметри ММ суттєво погіршуються. За кожним показником, який впливає на процес старіння, досліджувати ММ надто складно, тому виникає необхідність прийняти комплексний показник якості ММ  $k$  як сукупність впливу всіх показників.

Згідно загальної теорії старіння [6] професора Селіванова А.І. допустимо, що вплив всіх факторів, які визначають комплексний показник якості ММ під час нормальної експлуатації має лінійний характер:

$$k = k_0 - a \cdot t, \quad (1)$$

де:  $k_0$  – початкова виличина комплексного показника якості;  $a$  – усереднена інтенсивність зміни показника від наробітку;  $t$  – час роботи ММ.

При умові, що комплексний показник якості ММ ( $k$ ) лінійно впливає на інтенсивність спрацювання деталей ( $i$ ), проведемо інтерполяцію від початкового  $k_0$  до граничного значення  $k_{lim}$  в координатах ( $k, i$ ). Порівнюючи фактичне  $k_\phi$  і граничне  $k_{lim}$  значення комплексного показника якості, можна визначити ступінь зміни ресурсних можливостей ММ:

$$\delta = (k_0 - k_\phi) / (k_0 - k_{lim}) \quad (2)$$

і спрогнозувати залишковий ресурс  $R$  (рис. 1):

$$R = t_{lim} - t_\phi. \quad (3)$$

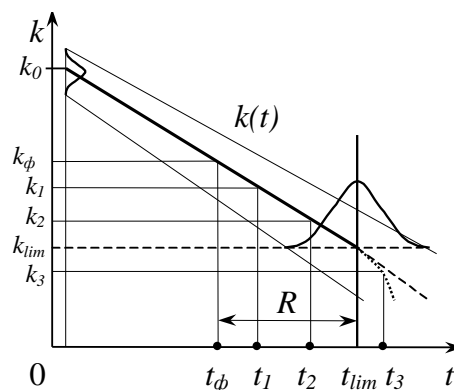


Рис. 1. Імовірнісна залежність комплексного показника якості від наробітку ММ.

Реальні значення показника  $k$  від наробітку можуть мати певне розсіювання. Тоді усереднений остаточний ресурс і довірчий його інтервал враховуючи упереджувальний ризик ( $t_\sigma$ ) визначаємо за формулою:

$$R = t_{lim} - t_{\phi} - t_{\sigma}. \quad (4)$$

Граничний стан ММ за комплексним показником якості встановлюємо двома способами:

а) при початку прискореної зміни показник (рис. 1);

б) при досягненні граничного рівня хоча б одного з фізико-хімічних або триботехнічних показників.

Перший спосіб вимагає проведення досить тривалих ресурсних досліджень. При нормальній експлуатації показник  $k$  зменшується поступово, монотонно і прямолінійно, тому похідні процесу:

$$k'(t) = const, \quad k''(t) = 0 \quad (5)$$

Досягаючи  $t_{lim}$  граничного спрацювання ММ спрацювання його збільшується прискорено і значення комплексного показника якості різко погіршується. Умова (5) описується:

$$k'(t) \neq const, \quad k''(t) \neq 0 \quad (6)$$

Причини цього є досягнення граничних змін окремих фізико-хімічних параметрів або критичні ефекти їх взаємодії. Тому цей момент слід вважати граничним станом ММ та критерієм недоцільності подальшого його використання. При практичному визначенні інтенсивності зменшення комплексного показника встановлюємо дві точки з відомими значеннями ( $k_1, k_2$ ):

$$k'(t) = (k_1 - k_2)/(t_2 - t_1). \quad (7)$$

Прискорення зміни показника  $k$  визначаємо як мінімум за трьома точками з його відомими значеннями ( $k_1, k_2, k_3$ ) в часі (відповідно  $t_1, t_2, t_3$ ). При цьому інтенсивність його зміни:

$$k''(t) = \frac{\frac{k_1 - k_2}{t_2 - t_1} - \frac{k_2 - k_3}{t_3 - t_2}}{t_3 - t_1} \quad \text{або} \quad k''(t) = \frac{k_1}{(t_2 - t_1)(t_3 - t_1)} - \frac{k_2}{(t_2 - t_1)(t_3 - t_2)} - \frac{k_3}{(t_3 - t_2)(t_3 - t_1)}. \quad (8)$$

В інтервалі короткого часу, коли прискорення  $k''(t) \neq 0$  показує, що комплексний показник досягає граничного рівня  $k_{lim}$ .

Граничну величину за іншим варіантом визначаємо за максимальним значенням комплексного показника якості ММ, які знаходяться в критичному стані за одним з фізико-хімічних або триботехнічних показників.

Характеризуючи функціональний стан ММ обґрунтовуємо показники вибігу (кількість обертів і час вибігу), які сумарно оцінюють витрати енергії на подолання тертя кочення та ковзання в підшипнику, внутрішнє тертя в рідині при перемішуванні і зовнішнє тертя поверхонь тіл обертання в оточуючому середовищі. Величину впливу складових загального тертя на показники вибігу оцінюємо експериментально. Вибіг маховика (на лабораторній установці) – це енергетичний процес, на який впливають інерційність та рівень механічних втрат рухомої системи. Інерційність, в свою чергу, залежить від маси маховика, його швидкісних та геометричних

параметрів, а механічні втрати – від навантаження, температури, коефіцієнту тертя, тощо.

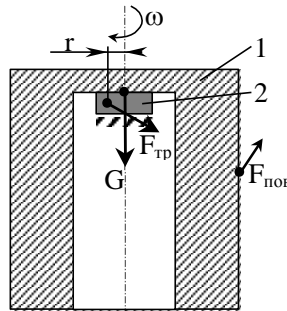


Рис. 2. Схема дії сил у вузлі тертя: 1 – тіло обертання (маховик); 2 – вузол тертя.

Під час обертання маховика (рис. 2), розкрученого до кутової швидкості  $\omega_0$ , на нього діють сила тяжіння  $G$ , сила тертя в підшипниковій опорі  $F_{тр}$  та сила опору повітря  $F_{пов}$ . В установці з вертикальною віссю обертання сила тяжіння направлена вздовж цієї осі і не створює моменту опору. В процесі вільного вибігу маховика сума моментів зовнішніх сил ( $\sum M_i$ ) буде становити:

$$\sum_{i=1}^n M_i = M_m + M_{тр} + M_{пов} = 0 \quad (9)$$

де:  $M_m$  – момент обертання маховика;  $M_{тр}$  – момент тертя у підшипниковому вузлі;  $M_{пов}$  – момент тертя поверхонь маховика у повітрі, який показує незначний (0,3%) його вплив. Тому надалі його можна знехтувати.

Тоді приведенний момент сил тертя буде мати вигляд:

$$M_{тр} = F_{тр} \cdot r = G \cdot f \cdot r \quad (10)$$

де:  $G$  – навантаження на вузол тертя, Н;  $r$  – усереднений радіус бігової доріжки підшипника, м;  $f$  – приведенний коефіцієнт тертя, є величиною змінною, що залежить від кутової швидкості  $\omega$ .

При аналізі вибігу від  $\omega_0$  до повної зупинки вводимо значення середнього коефіцієнту тертя  $f_{cp}$ , тоді маємо:

$$I_z \frac{d^2 \varphi}{d\tau^2} = -G \cdot f_{cp} \cdot r \quad (11)$$

де:  $\varphi$  – кут повороту маховика;  $d\varphi/d\tau = \omega$  – кутова швидкість;  $d^2\varphi/d\tau^2 = \varepsilon$  – кутове прискорення.

Розв'язання цього рівняння при початкових ( $\tau=0, \omega=\omega_0, \varphi=0$ ) і кінцевих умовах ( $\tau=\tau_{зуп}, \omega=0, \varphi=\varphi_{зуп}$ ) дає час до повної зупинки:

$$\tau_{зуп} = \frac{I \cdot \omega_0}{G \cdot r \cdot f_{cp}} \quad (12)$$

При цьому кут повороту маховика:

$$\varphi_{зуп} = \frac{I \cdot \omega_0^2}{2G \cdot r \cdot f_{cp}} \quad (13)$$

Число обертів до повної зупинки маховика визначаємо відношенням:

$$Z = \frac{\varphi}{2\pi} = \frac{I \cdot \omega_0^2}{4\pi \cdot G \cdot r \cdot f_{cp}}, \quad (14)$$

звідки усереднений коефіцієнт тертя  $f_{cp}$  буде:

$$f_{cp} = \frac{I \cdot \omega_0^2}{4 \cdot \pi \cdot G \cdot r \cdot Z} \quad \text{або} \quad f_{cp} = \frac{I \cdot \omega_0}{G \cdot r \cdot \tau_{зуп}} \quad (15)$$

Тому отримані значення усередненого коефіцієнту тертя зумовлюють загальний рівень витрат енергії на подолання тертя у підшипнику у процесі вибігу маховика. Використання у вузлі тертя різних за якістю та функціональним станом ММ значення коефіцієнтів тертя будуть змінюватися, тому і показники вибігу теж будуть відрізнятись. Така закономірність дає змогу застосувикористовувати показники вибігу як діагностичний параметр фактичного стану ММ. При проведенні випробувань було створено дослідницький комплекс, що складався з комп'ютера, перетворювача, однієї або декількох випробувальних установок і допоміжного обладнання та проб ММ.

На базі нового способу [2] виготовлені дослідні установки з горизонтальною та вертикальною осями обертання (рис. 3, [3]). Вони складаються з корпусу 1, одного або двох підшипникових вузлів тертя 2, маховика 3, закріпленого на валу 4, роз'ємної муфти 7, електроприводу 8 і безконтактного реєстратора 5-6, з'єднаного з комп'ютером.

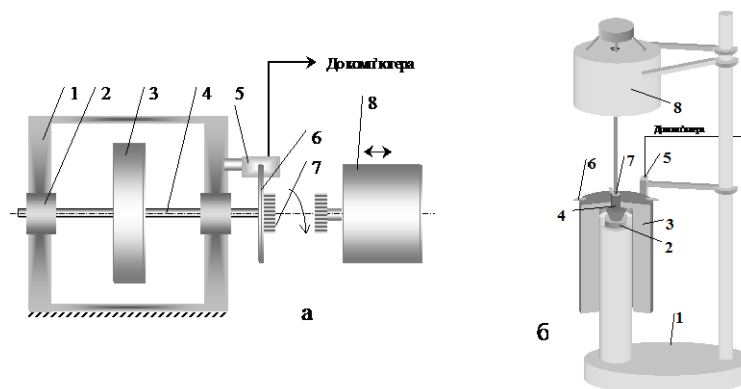


Рис. 3. Схеми експериментальних установок з горизонтальною (а) та з вертикальною (б) осями обертання.

Електронна схема використовується для утворення і передачі електричних сигналів від оптичних датчиків до комп'ютера без витрат енергії маховика. Для забезпечення точності експерименту використовуємо оптичні датчики – світло- та фотодіоди, що працюють в інфрачервоному спектрі і не впливають на процес вибігу. Навантаження на вузол тертя забезпечуємо зміною маховиків різної маси.

Випробування проводили так. Поверхні тертя підшипників ретельно миють та висушують, наносять на них фіксовану кількість досліджуваного ММ. Після збирання установки і з'єднання з комп'ютером маховик розганяли до визначеної швидкості обертання електродвигуном 8 через роз'ємну муфту 7. Контроль швидкості здійснювали з використанням комп'ютера і оптичного реєстратора 6. Досягаючи заданої швидкості маховика завдяки роз'ємній муфті 7 від'єднували електропривод 8 і маховик 3 пускали у вільний вибіг. При цьому комп'ютер реєстрував всі показники вибігу. Маховик повільно зменшував швидкість обертання до повної зупинки. Реєстрація параметрів вибігу комп'ютером починалась автоматично відповідно розробленої програми при досягненні визначеної початкової частоти обертання  $\omega_0$  і закінчувалась при досягненні контрольної кінцевої частоти обертання  $\omega_k$  або після повної зупинки маховика. Комп'ютер сразу будував діаграму вибігу (рис. 4) і оброблені дані запам'ятовував у файлі.

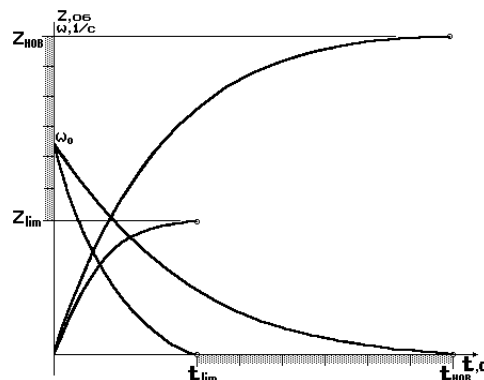


Рис. 4. Графіки вибігу маховика для ММ з різним напрацюванням.

За показниками та характеристиками процесу вибігу і відхиленнями параметрів від еталонних значень визначаються експлуатаційні властивості досліджуваного ММ. Інтервали ( $t_{\text{нов}} \dots t_{\text{лім}}$ ) та ( $Z_{\text{нов}} \dots Z_{\text{лім}}$ ) вважаються шкалами оцінки функціонального стану і напрацювання ММ.

Визначенням характеру зміни триботехнічних показників залежно від напрацювання олив виявлено, що в процесі нормальної експлуатації протизношувальні характеристики змінюються повільно

з поступовим зниженням. При напрацюваннях рідких ММ більше 2000 годин погіршення їх протизношувальних властивостей суттєво прискорюється досягаючи критичного рівня.

Кореляційний аналіз результатів досліджень виявив тісний зв'язок між показниками вибігу і триботехнічними та фізико-хімічними показниками (коефіцієнти кореляції дорівнюють 0,89...0,98). Тому можна зробити висновок, що зміна показників вибігу для ММ у період терміну використання пов'язані з фізико-хімічними та триботехнічними показниками лінійною залежністю, і їх рекомендуємо використовувати для оцінки функціонального стану ММ під час експлуатації.

При визначенні характеру спрацювання ММ проводили лабораторні та експлуатаційні експерименти [4, 5]. На підставі періодичних вимірювань визначено зміну показників вибігу від терміну безперервної роботи установки з вертикальною віссю обертання (рис.5). На початковому етапі експлуатації характерне швидке зростання показників вибігу, яке обумовлюється припрацюванням ММ в певній системі тертя. Далі показники стабілізуються і поступово та монотонно знижуються. Це зниження зумовлюється процесами спрацювання всієї системи.

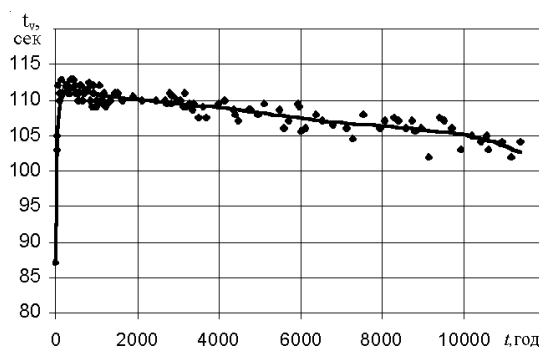


Рис. 5. Зміна часу вибігу ( $t_v$ ) від часу напрацювання ( $t_e$ ) оливи ТАп-15В (приведено до 20°C).

Для розділення впливу старіння ММ і зношування елементів вузлів тертя провели повторні експерименти при однакових режимах роботи і нових пробах ММ тієї ж партії. Співставлення отриманих значень показників вибігу з попередніми виявлено, що за період досліджень (1,5 року) вплив зношування вузлів тертя був незначним (0,5–1,0%), тому далі при наступних вимірюваннях його не враховували. Стабільні умови роботи установки зумовлювали надто повільне погіршення властивостей ММ, тому паралельно проводився експлуатаційний експеримент. В дослідних господарствах на тваринницьких фермах були підготовлені різні технологічні машини (перебрані, промиті і заправлені свіжою оливою



ТАп-15В, відрегульовані згідно технічних вимог). Вони працювали в звичайних для них умовах і режимах експлуатації. Для кожної машини реєстрували обсяг відпрацьованих годин, і під час їх технічного обслуговування проводили відбір проби для оцінки показників вибігу. Тривалість експерименту розраховувалась для простеження змін стану ММ в межах гарантованого виробником терміну придатності, а також після його закінчення (рис. 6).

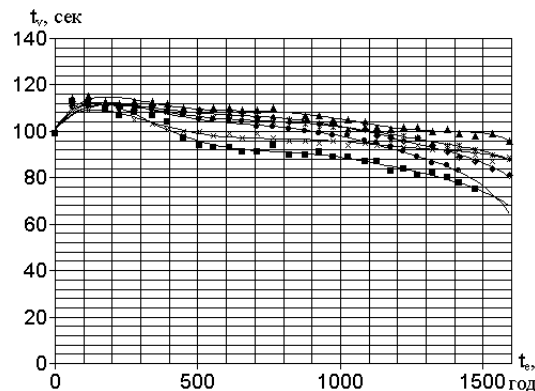


Рис. 6. Залежність функціонального стану оливи ТАп-15В за показниками вибігу ( $t_v$ ) від напрацювання ( $t_e$ ) у редукторах ТСН-3Б (приведено до 20°C).

Аналізуючи характеристик спрацювання ММ за показниками вибігу нами підтверджується висунута професором А.Селівановим загальна теорія старіння, що дає підстави стверджувати, що спрацювання ММ в період його використання (за режиму нормальної експлуатації) відбувається за лінійним законом.

Момент настання граничного стану для ММ практично встановити важко. Якщо деталі та з'єднання в граничному стані та їх робота характеризуються різким падіння характеристик, шумом, стуком, переходом на інший вид тертя, то для ММ настання граничного стану зовнішньо непомітно. Для його визначення доцільно періодично оцінювати стан не тільки самого мастильних ММ, а й деталей змащуваних ними вузлів.

В умовах експлуатації одноступінчатих редукторів використання оливи ТАп-15В з показниками вибігу відносно еталонного значення на рівні 68% та 72% (передграничний стан) показали, що процеси спрацювання ММ і змащуваних ними вузлів прискорюються за рахунок суттєвого накопичення продуктів зношування деталей (швидкість зношування при цьому сягає аварійного рівня).

Після аналізу понад 200 проб ММ нами була побудована узагальнена характеристика процесу спрацювання ММ (рис. 7). Дослідження проб ММ показав, що серед мастил, для яких показники вибігу були на рівні 70% і менше відносно еталонного

значення, біля половини проб знаходились в граничному стані, а з показниками вибігу на рівні 55% майже всі були в граничному стані. Аналіз роботи ММ з показниками вибігу на рівні 60% від еталонного (нового) підтвердив, що інтенсивність зношування знаходиться на рівні аварійного спрацювання і, як слідство, ММ знаходиться в граничному стані та потребує заміни.

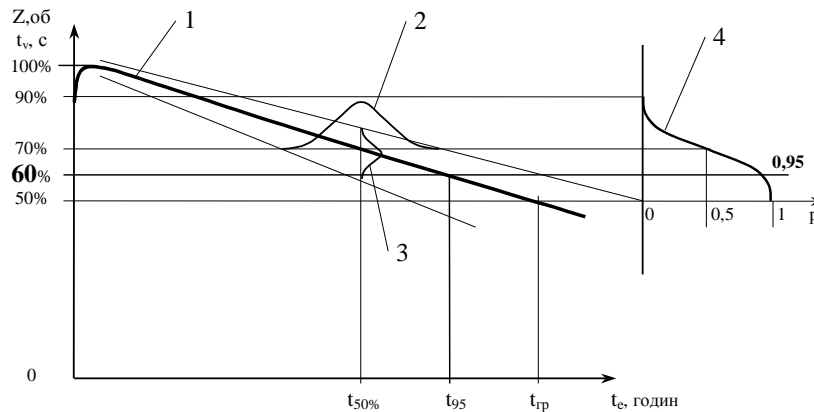


Рис. 7. Узагальнена характеристика процесів спрацювання ММ за показниками вибігу: 1 – крива усередненого рівня; 2 – поле розподілу терміну напрацювання при певному значенні функціонального стану ММ; 3 – поле розподілу показників функціонального стану при визначеному напрацюванні ММ; 4 – імовірність знаходження ММ у граничному стані.

**Висновок.** За результатами проведених досліджень різких змін функціонального стану ММ не зафіксовано. При великих періодах експлуатації та глибокому старінні ММ спостерігалось прискорене зношування деталей, підвищувались витрати енергії, реєструвались високі температури працюючих вузлів, характерна була підвищена шумність роботи. Дослідженнями виявлено, що серед використовуваних ММ найбільший період роботи мають індустріальні оливи, менший – трансмісійні та найменший – моторні, але всі вони дозволяють відпрацювати встановлений у паспортах машин термін і при цьому не досягають свого граничного стану. ММ з присадками при наявності вільної води дуже швидко погіршують свої властивості, тоді як індустріальні несуттєво погіршують свої властивості і задовільно виконують задані функції. Припрацювання ММ у більшості машин відбувається за 4–20 годин роботи, при цьому показники вибігу збільшуються на 7–12% порівняно з новими і досягають максимальних значень. Прискорення погіршення показників вибігу відбувається при їх величині  $60 \pm 5\%$  від еталонних значень. Цей стан ММ слід вважати граничним.

## Список літератури

1. *Дмитриченко М.Ф.* Триботехніка та основи надійності машин / *Дмитриченко М.Ф., Мнацаканов Р.Г., Мікосянчик О.О.* – К.: Інформавтодор, 2006. – 213 с.
2. *Патент* України №46229, МКИ G01N33/30. Спосіб визначення експлуатаційних властивостей мастильних матеріалів / *Ребенко І.М., Ребенко В.І., Ревенко І.І.* (Україна). – №2001031713; Заявл. 14.03.01; Опубл. 15.05.02. Бюл. №5. – 3 с.
3. *Патент* України №52875, МКИ G01N33/30, G01N19/02. Установа для визначення експлуатаційних властивостей мастильних матеріалів / *Ребенко В.І., Ребенко І.М., Ревенко І.І.* (Україна). – №2001042543; Заявл. 17.04.01; Опубл. 15.01.03. Бюл. №1. – 3 с.
4. *Ребенко В.І.* Використання мастильних матеріалів при технічному обслуговуванні фермських машин / *В.І. Ребенко.* Дисс. канд. техн. наук. – К., 2003. – 251 с.
5. *Ревенко І.І.* Оцінка експлуатаційних властивостей мастильних матеріалів / *І.І. Ревенко, В.І. Ребенко* // Вісник Харківського державного університету сільськогосподарства. – Харків, 2003. – Вип. 21. – С. 124–129.
6. *Селиванов А.И.* Основы теории старения машин / *А.И. Селиванов.* – М.: Машиностроение, 1980. – 408 с.
7. *Тарельник В.Б.* Триботехнічне матеріалознавство та триботехнологія в задачах / *В.Б. Тарельник.* – Суми: Університетська книга, 2014. – 192 с.

*Приведено теоретические и экспериментальные результаты определения характера срабатывания смазочных материалов, которые используются в фермской технике, по комплексными показателями выбега.*

***Смазочные материалы, фермские машины, техническое обслуживание, комплексные показатели выбега, срабатывание.***

*The theoretical and experimental results of determining of characteristics of wear of lubricants wich are used in farm machinery by complex indicators of freewheel are described in paper.*

***Lubricants, farm machines, maintenance, complex indicators, wear.***