

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
Представництво Польської академії наук в Києві
Польська академія наук Відділення в Любліні
Академія інженерних наук України
Українська асоціація аграрних інженерів

Міністерство
освіти і науки
України



121 річниці НУБіП України присвячується

ЗБІРНИК
ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ
XV МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
«РАЦІОНАЛЬНЕ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ В ТЕХНІЦІ»
з нагоди 88-ї річниці від дня народження
МОМОТЕНКА
Миколи Петровича
(1931-1981)

TechEnergy 2019



TECH 2018
ENERGY

19-22 травня 2019 року
м. Київ

УДК 631.3.077

МЕТОДИКА МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА

Ю. О. Черник, аспірант

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна*

При виборі зернозбирального комбайна серед альтернативних варіантів для конкретних умов потрібно знати їх техніко-економічні показники. Для визначення економічних показників необхідно об'єктивно визначати продуктивність і витрачання палива для конкретних господарчих умов збирання. Визначати такі показники шляхом господарчих випробувань неможливо, тому що для цього потрібно придбати техніку. Тому доцільно методом моделювання роботи комбайна в конкретних умовах визначити його ефективність застосування, потім приймати рішення.

Математичне моделювання роботи зернозбирального комбайна є досить складним процесом, і дослідженню його присвячено багато робіт. Суть

сучасних методів визначення продуктивності і витрачання палива полягає в тому, що показники комбайна і показники умов збирання використовували як середні протягом доби. В роботі досліджено зміну протягом доби тільки вологості хлібної маси, яка впливає на пропускну здатність комбайна. Проте сучасні комбайни мають такі технічні параметри, які значною мірою впливають на експлуатаційні показники: об'єм зернового бункера, об'єм паливного бака, які змінюють масу комбайна протягом роботи на 20-30 %, що значно впливає на витрати потужності, отже і на витрати палива. Так, комбайн моделі 6350 фірми "Fendt" має об'єм зернового бункера 10500 л, комбайн Dominator-128 VX фірми "Claas" – 8000 л. Об'єм паливного бака сучасних вітчизняних і зарубіжних комбайнів складає 500...900 л. На витрати палива впливає і кут схилу поля, тому що коефіцієнт буксування і коефіцієнт кочення мають різні значення при русі похилу вверх чи вниз. А такий вплив для комбайнів досліджено недостатньо. Такі обставини потрібно враховувати при моделюванні роботи комбайнів. Математичне моделювання роботи зернозбирального комбайна виконувалось на основі методів імітаційного моделювання, дослідження операцій і статистичної ідентифікації.

Нами розроблена методика моделювання роботи зернозбирального комбайна, суть якої полягає в визначенні техніко-експлуатаційних показників протягом доби з врахуванням зміни умов збирання (культура, технологія, урожайність, солоність, забур'яненість, довжина гону, кут схилу) і технічних показників комбайна (пропускну здатність, маса, потужність двигуна, об'єм зернового бункера, об'єм візка для соломи чи копнувача, об'єм паливного бака).

Суть методики полягає в моделюванні роботи комбайна в просторі, мірилом якого взято довжину ділянки поля, яку проходить агрегат. Таким мірилом прийнято ділянку довжиною 100 м. Зроблено припущення, що зміна параметрів комбайна і умов збирання не буде суттєвою у часі на такій ділянці: виробіток комбайна і витрачання палива протягом збирання ділянки будуть незначно змінюватись, а показники роботи фіксуватись. Визначаючи показники роботи комбайна на таких ділянках протягом робочого дня і інтегруючи їх, можна одержати узагальнені техніко-експлуатаційні показники за добу. Для інтегрування застосовували відомий метод трапецій, тобто сумували середні показники роботи на ділянках.

Модель складається з двох блоків: 1) витрачання потужності і 2) визначення продуктивності. В данній статті викладено метод першого блоку.

Для визначення витрат палива при роботі зернозбирального комбайна використовують рівняння тягового балансу, яке складають для різних режимів роботи. Потім за регуляторною характеристикою двигуна визначають для цих режимів витрати палива (в кг за годину).

Розглянемо рівняння тягового балансу самохідного зернозбирального комбайна. Потужність N_e , що затрачується двигуном комбайна, витрачається так:

$$N_e = N_{kr} + N_m + N_o + N_v + N_f \pm N_a + N_w + N_j, \text{ кВт} \quad (1)$$

де N_{kt} - потужність на тягу візка з соломою;

N_m - втрати потужності в трансмісії;

N_o - потужність на привод робочих органів і агрегатів комбайна;

N_v – потужність на буксування;

N_f - потужність на перекочування;

N_a - потужність на подолання підйому;

N_w - потужність на подолання опору повітря;

N_j - потужність на подолання опору інерції.

Потужність на привод робочих органів і агрегатів комбайна складається:

$$N_o = N_{жх} + N_{жр} + N_{молх} + N_{молр} + N_{подх} + N_{подр} + N_{копх} + N_{копр}, \text{ кВт} \quad (2)$$

де $N_{жх}$ - потужність холостого ходу жатки;

$N_{жр}$ - потужність робочого ходу жатки;

$N_{молх}$ - потужність холостого ходу молотарки;

$N_{молр}$ - потужність робочого ходу молотарки;

$N_{подх}$ - потужність холостого ходу подрібнювача соломи;

$N_{подр}$ - потужність робочого ходу подрібнювача соломи;

$N_{копх}$ - потужність холостого ходу копнувача;

$N_{копр}$ - потужність робочого ходу копнувача.

Потужність на подолання опору повітря при лобовій площі машини менше 10 м^2 і швидкості руху менше 20 км/год можна знехтувати, тому що для сучасних комбайнів такі умови виконуються.

При комплектуванні МТА в розрахунки включають потужність на подолання опору сил інерції тільки при торканні агрегата з місця. Для наших досліджень зростання потужності, а тому і зростання витрат палива, в момент торкання агрегата з місця триває досить мало часу, і такими розрахунками також можна знехтувати.

Кут схилу поля впливає на потужність на подолання підйому: при русі комбайна вгору вона додається до ефективної потужності, а при русі вниз – віднімається. Тому цей член рівняння (1) можна виключити. Проте буксування агрегату при русі вниз і вгору схилу буде різним, і при вирахуванні потужності на буксування кут схилу потрібно враховувати.

Відповідно досліджень для пневматичних рушіїв при русі по схилу вгору коефіцієнт буксування зростає на $0,96 \dots 1,12 \%$, а опору кочення – на $2,0 \%$ на 1 градус підйому по відношенню до руху по рівнині. При русі агрегату вниз ці коефіцієнти зменшуються на $0,2 \%$. Ці залежності і враховані в моделі рівняння тягового балансу комбайна.

Тоді в рівнянні (1) три останні члени зправа еліміновані, і залишаються з восьми тільки п'ять членів.

Наведемо методику визначення складових рівняння (1).

Потужність на привод жатки:

$$N_{ж} = N_{жх} + N_{жр}, \text{ кВт} \quad (3)$$

$$N_{жх} = 0,368 \cdot B, \text{ кВт} \quad (4)$$

де B – ширина жатки, м.

$$N_{жр} = 1,472 \cdot q_f, \text{ кВт} \quad (5)$$

де q_f – фактична пропускна здатність молотарки, кг/с, яка визначається за відомою формулою В.Г.Антіпіна (цей результат одержуємо у блоці 2 методики).

Потужність на привод молотарки:

$$N_{\text{мол}} = N_{\text{молх}} + N_{\text{молр}}; \quad (6)$$

$$N_{\text{молх}} = 0,9 \cdot q_f; \quad (7)$$

$$N_{\text{молр}} = 18,4 \cdot \exp(0,15 \cdot q_f), \text{ кВт}. \quad (8)$$

Потужність на привод подрібнювача соломи:

$$N_{\text{под}} = N_{\text{подх}} + N_{\text{подр}}, \text{ кВт}. \quad (9)$$

Приймаємо, що $N_{\text{подх}} = 2,2$ кВт, а

$$N_{\text{подр}} = 11,04 \cdot \exp [0,20 \cdot q_f \cdot SL / (SL-1)], \text{ кВт}. \quad (10)$$

де SL – соломистість хлібної маси.

Потужність на привод копнувача:

$$N_{\text{коп}} = N_{\text{копх}} + N_{\text{копр}}. \quad (11)$$

Приймаємо, що $N_{\text{копх}} = 1,5$ кВт, а

$$N_{\text{копр}} = 11,04 \cdot \exp [0,04 \cdot q_f \cdot SL / (SL-1)], \text{ кВт}. \quad (12)$$

Потужність на переміщення візка з подрібненою соломою:

$$N_{\text{кр}} = P_{\text{кр}} \cdot V / 3,6, \text{ кВт}, \quad (13)$$

де $P_{\text{кр}}$ – сила опору кочення візка, кН;

V – швидкість руху агрегату, км/г.

$$P_{\text{кр}} = [(M_{\text{віз}} + M_{\text{сол}}) \cdot g \cdot f_{\text{коч}}] / 1000, \text{ кН}, \quad (14)$$

де $M_{\text{віз}}$ – маса візка, кг;

$M_{\text{сол}}$ – маса соломи у візку, кг;

g – прискорення земного тяжіння, $9,81 \text{ м/с}^2$;

$f_{\text{коч}}$ – коефіцієнт опору кочення:

- на рівнині прийнято $f_{\text{коч}} = 0,09$;

- при русі вверх $f_{\text{коч}} = 0,09 + 0,018 \cdot \alpha$;

- при русі вниз схилу $f_{\text{коч}} = 0,09 - 0,0018 \cdot \alpha$.

Масу соломи можна визначити так:

$$M_{\text{сол}} = W_{\text{віз}} \cdot K_{\text{віз}} \cdot \mu_c / 2, \text{ кг}, \quad (15)$$

де $W_{\text{віз}}$ – об'єм візка, м^3 ;

$K_{\text{віз}}$ – коефіцієнт використання об'єму візка ($K_{\text{віз}} = 0,90$);

μ_c – питома об'ємна маса соломи ($\mu_c = 30 \dots 35 \text{ кг/м}^3$).

Потужність на переміщення комбайна без візка:

$$N_f = P_f \cdot V / 3,6, \text{ кВт}, \quad (16)$$

де P_f – сила опору кочення комбайна, кН:

$$P_f = (M_k \cdot g \cdot f_k) / 1000, \text{ кН}, \quad (17)$$

де M_k – маса комбайна без візка з паливом і зерном в бункері, кг:

$$M_k = M_{\text{ке}} + M_z + M_{\text{п}}, \text{ кг}, \quad (18)$$

де $M_{\text{ке}}$ – маса комбайна експлуатаційна, кг;

M_z – маса зерна в бункері, кг;

$M_{\text{п}}$ – маса палива в паливному баку, кг.

f_k – коефіцієнт опору кочення комбайна:

- на рівнині прийнято $f_{\text{коч}} = 0,09$;

- при русі вверх $f_{\text{коч}} = 0,09 + 0,018 \cdot \alpha$;
- при русі вниз схилу $f_{\text{коч}} = 0,09 - 0,0018 \cdot \alpha$.

Потужність на буксування:

$$N_v = [(P_{\text{кр}} + P_f) \cdot V \cdot \delta] / [(1 - \delta) \cdot 3,6], \text{ кВт}, \quad (19)$$

де δ – коефіцієнт буксування:

- при русі на рівнині $\delta = 0,06$;
- при русі вверх схилу $\delta = 0,06 + 0,06 \cdot \alpha$;
- при русі вниз $\delta = 0,06 - 0,0012 \cdot \alpha$.

Потужність на подолання втрат в трансмісії:

$$N_m = (1 - \eta_{\text{тр}}) \cdot N_e, \text{ кВт}, \quad (20)$$

де $\eta_{\text{тр}}$ – ККД трансмісії ($\eta_{\text{тр}} = 0,85 \dots 0,90$).

Виходячи з того, що $N_e = N_{\text{кр}} + (1 - \eta_{\text{тр}}) \cdot N_e + N_o + N_v + N_f$, після перетворень знаходимо:

$$N_e = (N_{\text{кр}} + N_o + N_v + N_f) / \eta_{\text{тр}}. \quad (21)$$

Моделювання виконують так.

1. Для ділянки довжиною 100 м визначимо продуктивність і можливу швидкість комбайна, кількість зібраного зерна і соломи, час на збирання ділянки. Ці величини визначаємо у блоці 2. Якщо бункер зерна наповнений, проводимо вивантаження зерна.

2. Використовуючи рівняння (1)-(21) визначимо ефективну потужність N_e комбайна.

3. За регуляторною характеристикою двигуна визначимо кількість витраченого палива на ділянці.

4. Уточнимо масу комбайна з урахуванням зібраного зерна і соломи (якщо використовують копнувач чи візок для соломи).

5. Якщо робоча зміна закінчилась, перейдемо до п. 6, інакше до п. 1 (до наступної ділянки).

6. Кінець.

Висновки.

Використовування методики покажемо на прикладі збирання озимої пшениці комбайном. Умови збирання: урожайність – 40 ц/га, солонистість – 1,6, забур'яненість – 0 %, довжина гону – 800 м. Для таких умов типовими нормами визначено витрати палива $q = 3,43$ л/тонну зерна, за даними випробувань (протокол УкрЦВТ) $q = 4,04$, а за результатами моделювання - $q = 3,94$ л/т. З цих даних видно, що різниця між даними випробування і моделювання складає менше 3 %, що можна пояснити деяким не співпаданням погодних умов моделювання і випробування. Величина нормативів значно занижена від реальних результатів.