

УДК 628.385

ОПТИМІЗАЦІЯ ЕНЕРГОВИТРАТ РУЧНОЇ ПРАЦІ В ТВАРИННИЦТВІ

А. І. Чміль, доктор технічних наук

e-mail: a.chmil@mail.ru

Анотація. *Розроблено модель розрахунку та оптимізації енерговитрат ручної праці при обслуговуванні тварин.*

Ключові слова: *енерговитрати, машинно-ручні операції, проектування машин.*

Серед заходів з подальшого підвищення економічної ефективності виробництва тваринницької продукції важливе місце займають питання вдосконалення організації ручної праці обслуговуючого персоналу. Відомо, наприклад, що в середньому по Україні затрати праці на 1 ц приросту молодняка ВРХ складають 54 люд.-год, в той час як в передових тваринницьких комплексах вони складають 7-10 люд.-год [1].

У більшості випадків основним критерієм оцінки живої і оречевленої праці є час. Проте при цьому не враховуються такі важливі властивості як тяжкість праці, інтенсивність праці, монотонність праці тощо. В то же час будь-який вид трудової діяльності пов'язаний з витратами фізичної і розумової енергії, а також психичним і емоційним напруженням. Але можливості м'язової сили, швидкість руху, реакція на ті чи інші явища, швидкість і точність сприйняття і переробки необхідної інформації в процесі трудової діяльності мають свої межі, за якими працездатність суб'єкта праці знижується і можуть відбутися функціональні зміни в організмі (втомлення, професійні захворювання і передчасне старіння). Ця обставина спонукала вчених виявити гранично допустиму величину витрат енергії при котрій може бути допущена щоденно повторювана робота в таких умовах праці і з такою інтенсивністю виконання, яка не викличе у працівника явища зносу чи пошкодження.

Мета досліджень – розробка моделі розрахунку енерговитрат машинно-ручного технологічного процесу в тваринництві.

Матеріали та методика досліджень. Енерговитрати людини на виконання продуктивної роботи визначають експериментально методом непрямой калориметрії (газообміну). Згідно ГОСТ 12.2.049-80 нормативні енерговитрати організму протягом робочої зміни не повинні перевищувати 1046,7 кДж/год (250 ккал/год).

Відсутність врахування при проектуванні машини зв'язаних з нею компонентів, перш за все людини, предмету праці і джерела енергії, викликає невідповідність між нормативними і фактичними значеннями експлуатаційних показників створеного обладнання, що призводить до зміни його технічного рівня, якості і економічної ефективності, а в деяких випадках причиною виробничого травматизму і профзахворювань. Так, наприклад, при оцінці продуктивності машини не враховуються енергетичні можливості людини, що взаємодіє з нею, а при оцінці енергоемкості продукції, що виробляється за допомогою машини, не враховуються енерговитрати людини, яка приймає участь у виконанні ручних і машино-ручних операцій.

Для попередження таких явищ необхідно здійснити перехід від проектування машин до проектування технічних систем, під якими розуміється сукупність засобів технологічного оснащення, предметів виробництва і виконавців для виконання в регламентованих умовах виробництва заданих технологічних процесів чи операцій. Якщо при проектуванні машини її енергетичні властивості не будуть у повній мірі погоджені з енергетичними властивостями предмету праці, людини і джерела енергії, то енергетичні процеси в технічних системах і її підсистемах не будуть відповідати оптимальним. Звідси випливає, що енергетичний підхід повинен застосовуватись до усіх компонентів технічної системи - людини, предметів праці, засобів праці і джерела енергії.

Важливість енергетичного підходу до технічних систем полягає в тому, що лише завдяки енергетичним перетворенням стають можливими і матеріальні перетворення, які є сутністю будь-якого технологічного процесу.

Оскільки в енергетичних перетвореннях приймають участь всі компоненти технологічного процесу, то в цьому проявляється їх енергетична єдність.

При дослідженні енергетичних процесів, що протікають в технічних системах, введемо наступні допущення:

- людина розглядається в сукупності з їжею, що робить її джерелом, перетворювачем і передавачем енергії;
- фізична природа руйнування предмета праці від дії на нього енергії не розглядається;
- втрати енергії всередині джерела не розглядаються;
- енерговитрати людини на управління машиною не враховуються;
- в цьому дослідженні приймаються до уваги лише витрати людської енергії, що пов'язані з виконанням фізичної трудової діяльності.

Розглянемо процес енергетичної взаємодії на прикладі ручного технологічного процесу, структурно-енергетична модель якого представлена на рис.1.

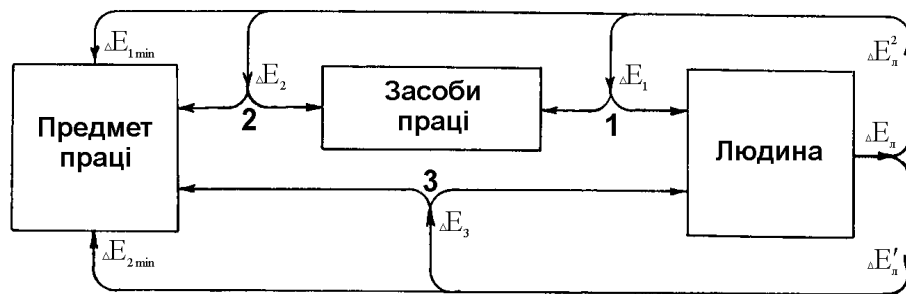


Рис.1. Структурно-енергетична модель ручного технологічного процесу

В цьому процесі є три зони взаємодії: людина взаємодіє з засобами праці (зона 1); засоби праці взаємодіють з предметом праці (зона 2); людина взаємодіє з предметом праці (зона 3).

На здійснення цих взаємодій витрачається енергія людини, розподіляючись на два потоки і утворюючи два кінематичні ланцюги. Потоки енергії, що поступають від людини кінематичним ланцюгом 1 розтрачуються в

1 та 2 зонах і витрачаються на зміну предмета праці. Баланс енергії для кінематичного ланцюга 1 буде

$$\Delta E_{л}^1 = \Delta E_1 + \Delta E_2 + \Delta E_{1min}, \quad (1)$$

де $\Delta E_{л}^1$ - енергія людини, що потрапляє від неї кінематичним ланцюгом 1; ΔE_1 - енергія людини, що витрачається на руйнування речових елементів зони 1; ΔE_2 - енергія людини, що витрачається на руйнування речових елементів зони 2; ΔE_{1min} - енергія людини, що потрапляє від неї кінематичним ланцюгом 1 для зміни предмету праці.

Аналогічним чином запишемо баланс енергії для кінематичного ланцюга 2

$$\Delta E_{л}^2 = \Delta E_3 + \Delta E_{2min}, \quad (2)$$

де $\Delta E_{л}^2$ - енергія людини, що потрапляє від неї кінематичним ланцюгом 2; ΔE_3 - енергія людини, що витрачається на руйнування речових елементів зони 3; ΔE_{2min} - енергія людини, що потрапляє від неї кінематичним ланцюгом 1 для зміни предмета праці.

Тоді баланс енергії для ручного технологічного процесу, представленого на рис.1, буде мати вигляд:

$$\begin{aligned} \Delta E_{л} &= \Delta E_{л}^1 + \Delta E_{л}^2 = \Delta E_1 + \Delta E_2 + \Delta E_3 + \Delta E_{1min} + \Delta E_{2min} = \\ &= \Delta E_1 + \Delta E_2 + \Delta E_3 + \Delta E_{min} \end{aligned} \quad (3)$$

Руйнування речових елементів технологічного процесу є наслідком роботи сил, прикладених в зонах взаємодії і викликаних зміною енергетичного потенціалу людини, тобто перетворення витраченої людиною енергії в роботу. Тоді рівняння, що відображає перетворення енергії в роботу буде мати вигляд:

$$\Delta E_{л} = A_1 + A_2 + A_3 + A_{min}, \quad (4)$$

де A_1 , A_2 , A_3 - робота руйнування речових елементів відповідно в зонах взаємодії 1, 2, 3; A_{min} - мінімальна робота, яка необхідна для зміни предмету праці.

Якісно новий етап в розвитку виробничих сил пов'язаний із заміною ручних засобів праці на машини і передачею машинам частини енергетичних функцій.

Розглянемо машино-ручний технологічний процес (рис.2), в якому містяться всі елементи, які є в попередніх процесах, і введемо новий елемент - машину, що використовує енергію неживої природи. В цьому процесі з'явився кінематичний ланцюг 3, що передає енергію неживої природи до предмету праці. Рівняння енергетичного балансу для цього ланцюга буде:

$$\Delta E_{3np} = \Delta E_4 + \Delta E_5 + \Delta E_m + \Delta E_{3min}, \quad (5)$$

де ΔE_{3np} - енергія неживої природи, витраченої на вдосконалення процесу; ΔE_4 , ΔE_5 , ΔE_m - енергія неживої природи, витраченої на руйнування речових елементів відповідно 4 і 5 зон взаємодії і машини; ΔE_{3min} - енергія неживої природи, що надходить кінематичним ланцюгом 3 на зміну предмета праці.

Відомо, що в процесі взаємодії елементів технологічного процесу змінюється предмет праці за характерними ознаками, які складають основу поділу технологічного процесу на технологічні операції, а ті в свою чергу на технологічні переходи (закінчення частини технологічної операції).

3 енергетичної точки зору найбільший інтерес викликають технологічні переходи і технологічні операції. Рівняння енергетичного балансу для ручної технологічної операції має вигляд:

$$\Delta E_{\pi} = \sum_{i=1}^n \Delta E_{1i} + \sum_{i=1}^n \Delta E_{2i} + \sum_{i=1}^n \Delta E_{min i}, \quad (6)$$

де ΔE_{1i} , ΔE_{2i} - енергія людини, яка витрачається на руйнування речових елементів і які взаємодіють відповідно в 1 і 2 зонах при виконанні i -го переходу; $\Delta E_{min i}$ - мінімальна енергія, яка необхідна для обробки предмету праці при виконанні i -го переходу.

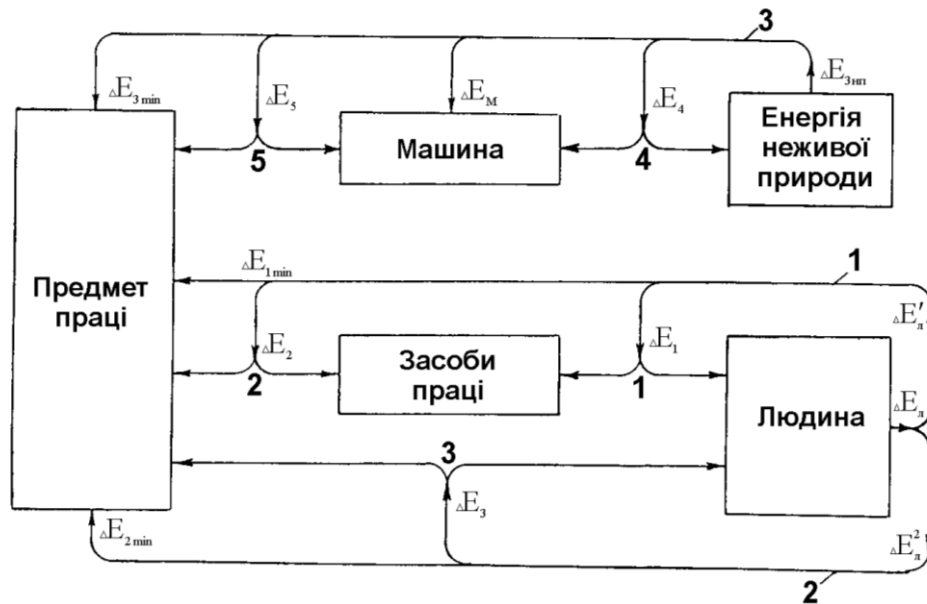


Рис. 2. Структурно-енергетична модель машинно-ручного технологічного процесу

Із структурно-енергетичних моделей (рис.1, 2) видно, що не вся енергія джерел іде на виконання корисної роботи, а тільки частина - мінімальна енергія. Тому ступінь корисного використання енергії в технологічному процесі виразим як

$$\eta_{\text{тп}}^{\text{р}} = \Delta E_{\text{мін}} / \Delta E_{\text{л}} , \quad (7)$$

де $\eta_{\text{тп}}^{\text{р}}$ - енергетичний ККД ручного технологічного процесу. Оптимізація енерговитрат в системі "людина-машина" (СЛМ) розпочинається з визначення мінімальної енергії, необхідної для обробки предмету праці переходами технологічної операції, яка називається корисною енергією. Її величина складається із мінімальної енергії та втрат енергії в зоні обробки і для ручної технологічної операції може бути представлена виразом

$$\sum_{i=1}^n \Delta E_{\text{під } i} = \Delta E_{\text{СЛМ}}^{\text{у}} = \sum_{i=1}^n \Delta E_{\text{л } i} + \sum_{i=1}^n \Delta E_{\text{мін } i} , \quad (8)$$

де $\Delta E_{\text{під } i}$ - підведена енергія в зоні обробки предмета праці; $\Delta E_{\text{СЛМ}}^{\text{у}}$ - корисна енергія СЛМ за цикл технологічної операції.

Корисні енерговитрати людини можна визначити за формулою

$$\Delta E_{\text{л } i} = P_{\text{л } i} t_{\text{л } i} , \quad (9)$$

де $P_{л\ i}$ - корисна потужність людини при виконанні i - го переходу; $t_{л\ i}$ - час виконання людиною i - го переходу.

Корисна потужність людини залежить від категорії тяжкості робіт (легка робота I, середньої тяжкості IIа, IIб, важкі роботи III) і визначається за ГОСТ 12.1.005-76.

Корисні енерговитрати машини, що приймає участь в технологічному процесі дорівнюють:

$$\Delta E_{mj} = P_{mj} t_{mj} \quad (10)$$

де P_{mj} - корисна потужність при виконанні j - го переходу; t_{mj} - час виконання машиною j - го переходу.

Фактичні значення корисної потужності машини P_{mj}^{Φ} при виконанні j - го переходу можуть бути розраховані на основі даних вимірювань в режимі навантаження і холостого ходу:

$$P_{mj}^{\Phi} = \sum_{j=1}^k P_{dj}^H - \sum_{j=1}^k P_{dj}^{xx}, \quad (11)$$

де P_{dj}^H - потужність i - го привода машини в режимі навантаження при виконанні j - го переходу. P_{dj}^{xx} - потужність i - го привода машини в режимі холостого ходу при виконанні j - го переходу.

При одночасному виконанні переходу людиною і машиною корисні енерговитрати СЛМ визначаються за формулою:

$$\Delta E_{СЛМ} = \Delta E_{л\ i} + \Delta E_{mj}. \quad (12)$$

Тоді за цикл технологічної операції корисні енерговитрати СЛМ будуть:

$$\Delta E_{СЛМ}^{\Pi} = \Delta E_{л}^{\Pi} + \Delta E_{м}^{\Pi}. \quad (13)$$

Розділивши рівняння (13) на кількість, наприклад, одночасно обслуговуваних тварин отримаємо питомі енерговитрати:

$$\Delta E_{СЛМ}^{пт} = \frac{\Delta E_{л}^{\Pi} + \Delta E_{м}^{\Pi}}{m_m} = \Delta E_{л}^{пт} + \Delta E_{м}^{пт}, \quad (14)$$

де m_m - кількість одночасно обслуговуваних тварин.

Після формування вихідних енергетичних характеристик СЛМ і її компонентів можна визначити вихідні енергетичні характеристики.

Корисні енерговитрати машини на виконання машинного переходу будуть:

$$\Delta E_{mj}^1 = \Delta E_{mj} / \eta_{mj} , \quad (15)$$

де η_{mj} - к.к.д. машини при виконанні j -го переходу. Аналогічним чином можуть бути розраховані повні енерговитрати людини:

$$\Delta E_{li}^1 = \Delta E_{li} / \eta_{li} , \quad (16)$$

де η_{li} - к.к.д. людини при виконанні i -го переходу.

Тоді питомі повні енерговитрати СЛМ будуть:

$$\Delta E_{\text{СЛМ}}^{\text{1пт}} = \frac{\Delta E_{\text{лп}}}{\eta_{\text{л}}} + \frac{\Delta E_{\text{мп}}}{\eta_{\text{м}}} . \quad (17)$$

З підвищенням рівня механізації процесу відбувається перерозподіл корисних енерговитрат між людиною і машиною, а загальна сума залишиться при цьому постійною. Але оскільки ККД машини значно вищий ККД людини, то за рахунок цього корисні енерговитрати підсистеми (операції) будуть більш низькі, ніж до її вдосконалення. Звідси випливає, що підвищення рівня механізації і автоматизації операцій призведуть до зниження енергоємності продукції і підвищенню рівня енергетичної досконалості СЛМ.

На базі встановлених корисних і повних енерговитрат системи і її компонентів можна розрахувати їх ККД за цикл технологічної операції:

$$\eta_{\text{СЛМ}}^{\text{ц}} = \frac{\Delta E_{\text{СЛМц}}}{\Delta E_{\text{СЛМлц}}} = \frac{\Delta E_{\text{лц}} + \Delta E_{\text{мц}}}{\Delta E_{\text{ллц}} + \Delta E_{\text{млц}}} . \quad (18)$$

Не менш важливим показником при оптимізації енерговитрат СЛМ є визначення питомої продуктивності технологічної операції:

$$B_{\text{СЛМ}} = \frac{m_{\text{ц}}}{T_{\text{ц}}} , \quad (19)$$

де $B_{\text{СЛМ}}$ - питома продуктивність системи за одиницю часу; $T_{\text{ц}}$ - цикл технологічної операції.

Оскільки енергетичні і загальноприйняті результати розрахунку ефективності взаємозв'язані, тому поряд з визначенням питомої продуктивності необхідно розрахувати енергетичну продуктивність системи за формулою:

$$\Delta E_{\text{СЛМ}}^t = B_{\text{СЛМ}}^t \Delta E_{\text{СЛМ}}^{\text{пт}} = B_{\text{СЛМ}}^t (\Delta E_{\text{Л}}^{\text{пт}} + \Delta E_{\text{М}}^{\text{пт}}), \quad (20)$$

де $\Delta E_{\text{СЛМ}}^t$ - енергетична продуктивність (корисні енерговитрати) системи за t - й проміжок часу; $B_{\text{СЛМ}}^t$ - питома продуктивність операції за t - й проміжок часу.

Вираз (20) можна звести до вигляду:

$$\Delta E_{\text{СЛМ}}^t = \Delta E_{\text{Л}}^t + \Delta E_{\text{М}}^t. \quad (21)$$

По аналогії і повні енерговитрати можна виразити як

$$\Delta E_{\text{СЛМ}}^{1t} = \Delta E_{\text{Л}}^{1t} + \Delta E_{\text{М}}^{1t} \quad (22)$$

Складову $\Delta E_{\text{Л}}^{1t}$ у формулі (22) можна використати для контролю тяжкості праці людини, що функціонує в СЛМ

$$\Delta E_{\text{Л}}^{1t} \leq [\Delta E_{\text{Л}}]^t, \quad (23)$$

де $[\Delta E_{\text{Л}}]^t$ - рівень гранично допустимих енерговитрат людини за t - й проміжок часу.

Виходячи з рівня гранично допустимих енерговитрат людини і необхідних на виробництво одиниці продукції витрат енергії людини, можна розрахувати граничну штучну продуктивність системи:

$$[B_{\text{СЛМ}}]^t = [\Delta E_{\text{Л}}]^t n_p / \Delta E_{\text{Л}}^{\text{пт}}, \quad (24)$$

де n_p - кількість працюючих, що приймають участь у виконанні операції.

Механізація і електрифікація технологічного процесу за суттю означає заміну використання фізичної (мускульної), а автоматизація - фізичної і розумової енергії людини використанням енергії машинних компонентів системи. Для опису стану механізації та електрифікації живої праці можуть бути використані почасовий і енергетичний рівні механізації живої праці.

Почасовий рівень механізації живої праці в системі дорівнює:

$$d_{\text{СЛМ}} = t_{\text{М}}^{\text{пт}} / T^{\text{пт}}, \quad (25)$$

де $t_{\text{М}}^{\text{пт}}$ - повний машинний час обробки предмета праці; $T^{\text{пт}}$ - зведений час.

Енергетичний рівень механізації живої праці виразимо як

$$\Omega_{\text{СЛМ}} = \Delta E_{\text{М}}^{\text{пт}} / (\Delta E_{\text{Л}}^{\text{пт}} + \Delta E_{\text{М}}^{\text{пт}}). \quad (26)$$

На основі запропонованої моделі проведено оцінку енерговитрат ручної праці на прикладі найбільш трудоміємкої операції при відгодівлі молодняка ВРХ

– роздачі телятам замінника цільного молока (ЗЦМ). Вихідними даними для вивчення технологічного процесу використані технологічні карти і технологічні схеми установок для роздачі ЗЦМ [2,3]. У табл.1 наведені технологічні переходи і час виконання переходів при роздачі ЗЦМ установкою КПП-10.

Для кожного технологічного переходу технологічної операції роздачі ЗЦМ зформуємо головну енергетичну функцію оператора і установки.

Для опису енергетичних функцій оператора виберемо такі показники: категорія робіт, потужність, час, повні енерговитрати, а для опису енергетичних функцій установки - потужність, час, корисні енерговитрати, ККД і повні енерговитрати.

Для наглядності і зручності зберігання інформації про енергетичні властивості системи роздачі ЗЦМ побудуємо матрицю зв'язків енергетичних функцій та енергетичних показників її компонентів (оператора і установки) (таблиця).

Процес роздачі ЗЦМ установкою КПП-10

№ п/п	Технологічний перехід	Витрата часу, с
1	Засипання сухого порошку в бак	300
2	Заливання гарячої води в бак	420
3	Заливання холодної води в бак	420
4	Змішування	780
5	Перекачування ЗЦМ в лінію роздачі	240
6	Дозування з допомогою пістолета у відра і їх розставляння	4680
7	Випоювання ЗЦМ	3900
8	Мийка обладнання дезінфікуючим розчином	1800

Оперативний час

12540

Висновки

На основі запропонованої моделі розраблено алгоритм розрахунку енергетичних показників процесу роздачі ЗЦМ, реалізований на ЕОМ. Аналіз отриманих результатів показує, що питомі енерговитрати при використанні установки КПП-10 складають 21,84 кДж/гол, що на 22,6 % менше, ніж при використанні установки УВТ-20, що дозволяє збільшити навантаження на оператора з 120 до 180 голів. Повні енерговитрати оператора при цьому складають 912,1 кДж/год., що менше гранично допустимих енерговитрат.

Список літератури

1. Технологія виробництва продукції тваринництва / За ред. О.Т. Бусенка.- К.: Вища освіта, 2005. – 496 с.
2. Ревенко І.І. Машиновикористання у тваринництві : / І. І. Ревенко, В. М. Манько, В. І. Кравчук. - К. : Урожай, 1999. – 207 с.
3. Шабельник Б.П. Теорія та розрахунок машин для тваринництва / Б. П. Шабельник, М. М. Троянов, І. Г. Бойко, О. В. Нанка, А. І. Дзюба. - Х., 2002. - 212 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ РУЧНОГО ТРУДА В ЖИВОТНОВОДСТВЕ

А.И. Чмил, доктор технических наук

Аннотация. *Разработана модель расчета и оптимизации энергозатрат ручного труда при обслуживании животных.*

Ключевые слова: *энергозатраты, машинно-ручные операции, проектирование машин.*

ENERGY OPTIMIZATION MANUAL LABOR IN CATTLE BREEDING

A. Cimil, doctor of technical science

Annotation. *The model of calculation and optimization of energy equipment manual labor in the service of animals.*

Key words: *energy, machine and manual operations, engineering machines.*