

ЕНЕРГЕТИЧНА ОЦІНКА МЕХАНІЗОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА КОРМІВ З СОЇ

Водяницький Г. П., к.т.н., Соколовський Ю. В., асистент

Постановка проблеми. Інтенсивні ресурсозберігаючі технологічні процеси виробництва сільськогосподарської продукції є одним із шляхів підвищення ефективності агропромислового виробництва. Значну долю у собівартість продукції вносять енергетичні ресурси, ціни на які мають зростаючу світову тенденцію. Зниження енергозатрат є умовою ресурсозберігаючих технологій, які забезпечують виробництво дешевої продукції. Затрати прямої і уречевленої енергії, завдяки енергетичній оцінці механізованих технологічних процесів, в дольовому виді перераховуються на отриману продукцію [4]. Таким чином, енергетична оцінка забезпечує об'єктивний енергетичний аналіз, при якому різні властивості продукції оцінюють через узагальнений параметр – енергію. Важливим є проведення оцінки не проміжних, а кінцевих результатів виробництва. Зокрема при виробництві сої, кінцевим продуктом є не зерно, а корм із зерна сої. Натуральне зерно сої має ряд токсичних речовин, які погіршують поживність корму та пригнічують ріст тварин і птиці [7, 8]. При виробництві кормів, зерно сої необхідно піддавати додатковій енергомісткій переробці, що знижує ефективність підготовленого корму. Таким чином, енергетичний аналіз механізованого виробництва зерна сої не дає об'єктивної оцінки енергозбереження, оцінка повинна охоплювати і операції переробки сої в корм.

Аналіз останніх досліджень та постановка завдання. В структурі собівартості тваринницької продукції вартість кормів складає 50...80%. Рівень собівартості тваринницької продукції визначає її конкурентоздатність та ефективність сільськогосподарського виробництва в цілому.

Низька продуктивність та висока собівартість продукції тваринництва в нашій країні обумовлені насамперед незбалансованістю раціонів тварин і птиці за білковими складовими. Дефіцит кормового білка у вітчизняному тваринництві оцінюється в 1,5 ...2 рази [7]. Основним напрямком у ліквідації цього дефіциту є виробництво сої. Зерно сої – високоефективний кормовий продукт, багатий білками, незамінними амінокислотами та енергією, які забезпечують високу продуктивність тварин і птиці. Для кормів використовують як ціле зерно, так і борошно, шрот, макуху та інші продукти переробки сої. При цьому, рівень протеїнового живлення тварин визначається кількістю перетравного протеїну на 1 к.о. раціону і співвідношенням протеїну та інших поживних речовин. Важливим для використання сої як корму є, її оптимальна збалансованість за поживними речовинами та вітамінами, що забезпечує раціону високу біологічну цінність. Проте зерно сої має і антипоживні речовини – інгібітори, таніни, глікозиди, алкалоїди, які понижують його поїдання та біологічну доступність протеїну. Так, ефективність необробленого соєвого борошна складає лише 50%, а обробленого теплом – 80% [8].

В світовій практиці для оцінки економічної ефективності виробництва кормів, використовують вартісні показники та трудові затрати, що не є об'єктивним із-за кон'юнктури ринку ресурсів виробництва. До ресурсів відносять людські, часу, енергетичні та матеріалів. Більш об'єктивною є енергетична оцінка, яка забезпечує порівняння затрат прямої і уречевленої енергії та акумульованої в урожаї, оцінюваного технологічного процесу [4, 6, 9]. Технологічний регламент та оптимальний комплекс машин для виробництва сої в достатній мірі розроблено в працях Медведського О.К., Іваненко П.І., Ківа А.А., Рабштини В.М., Кулика М.Ф., Головашича О.П., Білоткача М.П., Півень А.С., Тимченко В.Н. тощо. Питання енергетичної оцінки механізованого виробництва зерна сої опрацьовано, в світовій практиці, в достатній мірі в працях [1 - 10]. Для нейтралізації антипоживних речовин у сої застосовують механізовані операції екструзії, експандування, флакування, мікронізації, варіння та жаріння і надвисокочастотного обробітку зерна. Слід відзначити, що даний процес здійснюють

однією операцією, найбільш доцільною для даного виду корму. Енергетичний аналіз виробництва корму з зерна сої до даного часу не проведено, отже, енергетична доцільність переробки зерна сої на корм не доказана.

Об’єкти та методика досліджень. Об’єктом дослідження є енергетичний аналіз технологічної системи виробництва кормів із зерна сої. Основою енергетичного аналізу є співвідношення між енергією урожаю культури, накопиченої в результаті фотосинтезу, та антропогенною енергією, затраченою на виробництво урожаю, а в даному випадку і на виробництво кормів. Антропогенні енергозатрати (невідновлювальна енергія) поділяються на прямі та опосередковані (уречевлені). До прямих затрат відносять витрати: електроенергії, паливо-мастильних матеріалів, твердих та газоподібних енергоносіїв, пари, тепла тощо. Тобто енергоносії, які використовують у процесі виробництва кормів. До опосередкованих енергозатрат відносять: енергозатрати, які використали для виготовлення, зберігання та транспортування машин і технологічного та енергетичного обладнання (робочі машини, електродвигуни, трактори тощо), мінеральних та органічних добрив, насіння, будматеріалів тощо. Сюди ж відносять і енергію, витрачену на добування та виробництво і транспортування енергоносіїв (бензин, дизпаливо, вугілля тощо), сировини, яка пішла на виготовлення машин, будівництво споруд тощо.

Опосередковані енергозатрати, в той же час поділяють на основні та оборотні. Основні енергозатрати використовують щороку почастино, значення яких рівне долі амортизаційних відрахувань (машини, обладнання і споруди). Основні енергозатрати на них використовують протягом всього терміну служби. Оборотні опосередковані затрати використовують одномоментно, які на продукцію переносяться за один рік (насіння, добрива, ремонтні матеріали тощо).

Енергетичний аналіз виконуємо за типовою технологічною картою з виробництва зерна сої. На підставі технологічної карти та нормативних даних складаємо таблицю 1 оцінки енергоємності технологічних процесів, де вказані якісні та об’ємні показники, склад агрегату, витрати складових енергозатрат на 1 га посіву та розраховуємо енергоємність кожної з операцій процесу, в МДж/га.

При цьому сукупні енергозатрати на весь технологічний процес виробництва кормів на основі зерна сої розраховуємо за формулою:

$$E_{ТП} = \sum_{i=1}^n E_{oi}, \quad (1)$$

де $E_{ТП}$ – сукупні енергозатрати на технологічний процес, МДж/га; E_{oi} – затрати енергії на i -ту операцію технологічного процесу МДж/га.

Енергозатрати на кожну технологічну операцію розраховуємо за формулою:

$$E_{oi} = \sum_{i=1}^n (E_{oi}^{\Pi} + E_{oi}^{\circ}), \quad (2)$$

де E_{oi}^{Π} – прямі затрати енергії на виконання i – тої операції МДж/га; E_{oi}° – опосередковані затрати енергії на виконання i – тої операції, МДж/га; n – кількість операцій технологічного процесу.

Прямі затрати розраховуємо за формулою:

$$E_{oi}^{\Pi} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (Z_{oij} \cdot K_j), \quad (3)$$

де Z_{oij} – затрати j – тих енергоресурсів (ПММ, електроенергія, пари, затрати живої праці тощо) в натуральних одиницях виміру, кг, кВт·год, люд·год; K_j – енергетичний еквівалент j – того енергоресурсу при виконанні i -тої операції, МДж/кг, МДж/кВт·год; МДж/люд·год.

Опосередковані основні затрати енергії на матеріально-технічні ресурси при виконанні i -тої операції, розраховуємо за формулою:

$$E_{oi}^{oa} = \sum_{i=1}^n (t_i^e K_i^e + t_i^M K_i^M), \quad (4),$$

де K_i^e, K_i^M – амортизаційний енергетичний еквівалент енергетичного засобу і машини з розрахунку на одиницю часу роботи на i – *тій* операції, МДж/год; t_i^e, t_i^M – тривалість роботи енергетичного засобу і машин на i – *тій* операції, год.

Амортизаційні енергетичні еквіваленти опосередкованих затрат на i – *ті* матеріально-технічні засоби при виконанні i – *тої* операції з розрахунку на одиницю роботи, МДж/год, розраховуємо за формулою:

$$K_{ij} = \frac{3_{\Pi} + 3_{кр}}{T_{aj} \cdot t_j}, \quad (5),$$

де $3_{\Pi}, 3_{кр}$ – затрати енергоресурсів на виготовлення і капітальний ремонт j – *тих* матеріально-технічних засобів, МДж; T_{aj} – амортизаційний термін служби j – *того* матеріально-технічного засобу, рік; t_j – річне завантаження j – *того* засобу, год/рік.

Опосередковані оборотні енергетичні затрати на процес розраховуємо за формулою:

$$E_{oi}^{oo} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n G_{oi} \cdot K_j, \quad (6),$$

де G_{oi} – маса витрачених оборотних засобів на i – *ту* операцію технологічного процесу, кг, м³; K_j – енергетичний еквівалент одиниці маси j – *тих* оборотних засобів, МДж/кг.

Енергетичні затрати на ремонт та обслуговування техніки, яка приймає участь у технологічному процесі, розраховуємо за амортизаційними витратами з врахуванням маси техніки та її річного завантаження, норми річних відрахувань на ремонт і обслуговування від балансової вартості машин. При цьому співвідношення затрат на ремонт і технічне обслуговування складає 1:2 (33,3:66,7%):

$$E_{pTo} = 0,667 \cdot \left(\frac{M_m \cdot K_{pToM} \cdot K_{mM}}{W_m \cdot T_{pm}} + \frac{M_T \cdot K_{pToT} \cdot K_{TM}}{W_T \cdot T_{pT}} \right), \quad (7),$$

де M_m, M_T – маса робочої машини, трактора, кг; K_{pToM}, K_{pToT} – енергетичний еквівалент машини, трактора, МДж/кг; K_{mM}, K_{TM} – енергетичний еквівалент деталей та матеріалів для ремонту і технічного обслуговування, МДж/кг; W_m, W_T – продуктивність машини, трактора, га/год; T_{pm}, T_{pT} – річне навантаження на машину, трактор, год.

Таким чином, сукупні енергозатрати на виробництво кормів з зерна сої розраховуємо за формулою:

$$E_{III}^1 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (3_{oij} \cdot K_j) + \sum_{i=1}^n (t_i^e K_i^e + t_i^M \cdot K_i^M) + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (G_{oi} \cdot K_j) + 0,667 \left(\frac{G_m \cdot K_{pToM} \cdot K_{mM}}{W_m \cdot T_{pm}} + \frac{G_T \cdot K_{pToT} \cdot K_{TM}}{W_T \cdot T_{pT}} \right) \quad (8),$$

Енергетичну ефективність процесу оцінюємо за коефіцієнтом:

$$K_{ee} = \frac{E_u}{E_{III}^1}, \quad (9),$$

де E_u – енергетична ємність урожаю зерна сої, МДж/га;

$$E_u = U \cdot K_j, \quad (10),$$

де U – урожайність сої, ц/га; K_j – енергетичний еквівалент зерна сої, МДж/ц.

Результати досліджень. Енергетичну оцінку виробництва кормів із зерна сої здійснюємо на основі типової технологічної карти (табл.1), яка включає повний перелік комплексу операцій вирощування, збирання та переробки сої у корм. Карта включає технологічні умови, нормативи та терміни виконання робіт, раціональний склад машин і обладнання та обслуговуючий персонал, норми виробітку та витрату паливо-мастильних

матеріалів, кількість необхідних агрегатів на 100 га посівів і необхідні техніко-економічні показники.

Таблиця 1.

Енергоємність механізованого технологічного процесу виробництва кормів з зерна сої, площа посіву 100 га, урожайність 18 ц/га

Види робіт	Якісні та об'ємні показники	Склад агрегату			Витрати на 1 га		Енергоємність, МДж/га						
		Трактори, автомобілі, комбайни	Сільськогосподарські машини	Виробіток за 1 год	Енергоносії	Праці, люд. - год	Трактори, автомобілі	Сільськогосподарські машини	Енергоносії	Добрива, пестициди	Праці, люд. - год	Разом	
Лущення стерні	100 га	Case P-195	УДА-4,5	3	8,50	0,381	52,16	101,3	442,00		0,48	595,94	
Навант. мін. добр.	25 т	Вручну	-	1,14	-	1,00	-	-	-		1,86	1,86	
Гр. мін. добрива	25 т	ГАЗ-53	-		0,23	0,176	2,39	-	11,96		2,22	16,57	
Внесення м.д.	100 га	МТЗ-80	РМГ-4	6	1,70	0,190	13,65	17,3	88,40	8942,88	0,24	9062,47	
Оранка	100 га	T-150	ПЛН-5-35	0,84	19,3	1,356	201,78	34,5	1003,60		2,52	1242,40	
Весн. борон.	100 га	T-150	C-18 + БЗСС-1	12,17	1,30	0,094	13,92	9,92	67,60		0,12	91,56	
Гр. води і отрут.	40 т	ГАЗ-53	-		0,25	0,136	1,92	-	13,00	263	0,17	278,09	
Внесення гербіцидів	100 га	ЮМЗ-6Л	ОП-2000	6,28	1,00	0,272	12,18	59,65	52,00	1049	0,51	1173,34	
Передпосівна культура	100 га	T-150	2КПС-4	4,31	4,50	0,265	39,33	23,04	234,00		0,33	296,7	
Навант. насіння	10 т	Вручну	-	0,57	-	0,64	-	-	-		0,81	0,81	
Гранс. насіння	10 т	ГАЗ-53	-		0,19	0,32	0,96	436,57	9,88		0,40	11,24	
Сівба	100 га	Case P-195	Planter 2	3,57	7,60	0,96	43,84	24,65	395,20	3360	1,21	3824,9	
Коткування посівів	100 га	МТЗ-80	ЗККШ-6	7,14	1,90	0,32	10,76	26,22	98,80		0,40	136,18	
Міжрядний обробіток	100 га	ЮМЗ-6Л	УМСК-5,4	2,37	3,30	0,482	32,28	38,73	171,60		0,33	242,94	
Збирання врожаю	100 га		Джон Дір	1,21	15,40	1,882	-	235,41	800,80		3,50	1039,74	
Транспортування зерна	180 т	ГАЗ-53	-		1,13	0,941	17,24	-	58,76		1,18	77,18	
Транспортування соломи	180 т	ЮМЗ-6Л	2ПТС-4	7,88	2,88	0,261	9,71	60,83	149,76		0,33	220,63	
Очищення зерна	180 т		ОВП-20А	4,28	4,80	2,40	-	50,7	17,28	3707,46	3,02	3778,47	
Всього							12,08	452,18	682,26	3614,62	17322,34	19,63	22091,02
Екструзія	-		Е-150	150 кг/год	228 кВт/год	12	-	1,05	2738,28	-	15,2	6253,4	
Приготування соєвого молока	-		УСК-1000	1000	11766,8	25,7	-	11,01	11766,8	-	11,01	1178,82	
Мікронізація	-		УТЗ-4	300	165	6	-	0,87	165	-	7,56	173,43	
Флакування	-		ВПК-150	150	26,4	12	-	0,26	26,4	-	15,24	41,90	
Варіння	-		ВК-1	1000	820,1	1,8	-	0,61	820,1	-	2,27	822,98	
Жаріння	-		АВМ-0,65	650	2599,48	10,8	-	5,715	2599,48	-	13,61	2618,80	
Подрібнення, змішування	-		УМК-Ф-2	3000	15,0	0,6	-	9,0	180	-	0,756	189,756	

За даними технологічної карти та за вищевикладеною методикою, залежності (1...10), виконуємо розрахунок затрат антропогенної (непоновлюваної) енергії. Сумарні витрати антропогенної енергії на вирощування 18 ц/га зерна сої, вищезазначеним комплексом машин, складають 22091 МДж/га. Визначаємо коефіцієнт енергетичної ефективності процесу виробництва зерна сої за залежністю (9), яка складатиме $K_{ee} = 1,44$. За вимогами методики [4], при $K_{ee} > 1,0$ можна вважати, що технологічний процес виробництва зерна сої є енергозберігаючим. Виробництво зерна сої в Україні із року в рік нарощується і в 2015 році складатиме 4 млн т із 2 млн га посівів [1]. Значна частина зерна буде використана на корм тваринам та птиці.

Для нейтралізації токсичних речовин у нативному зерні сої, при приготуванні відповідного корму, зерно обробляємо одним із зазначених у таблиці 1 способів.

Першим із способів є екструзія за допомогою екструдера Е-150 продуктивністю 150 кг/год. Зерно піддається обробці тиском до 5МПа та температурою $t=120...160^{\circ}\text{C}$.

Досить ефективним способом є приготування соєвого молока агрегатом УСК-1000

продуктивністю 1000кг/год, при $t=105^{\circ}\text{C}$ і атмосферному тиску та безперервному емульгуванні.

Процес мікронізації здійснюємо на установці УТЗ–4 продуктивністю 300кг/год при $t=160^{\circ}\text{C}$ та експозиції 10...60с.

Окрім цього, можна використовувати флакування, що передбачає запарювання протягом 1,5...2,0 годин парою при $t=110^{\circ}\text{C}$ та тискові 0,1атм із наступним пресуванням на машині ВПК–150 продуктивністю 150кг/год.

Варіння у котлі ВК–1 продуктивністю 1000кг/год при $t=105^{\circ}\text{C}$ протягом 40...60хв та попереднім замочуванням у підсоленій воді протягом $T \geq 1$ год, забезпечує нейтралізацію та поліпшення смакових якостей корму.

Термообробку прожарюванням здійснюємо на агрегаті АВМ–0,65 продуктивністю 650кг/год при температурі теплоносія $t=450...600^{\circ}\text{C}$ з нагрівом зерна не більше $t \leq 130^{\circ}\text{C}$.

Аналіз енергетичної структури виробництва зерна сої при інтенсивному технологічному процесі (табл. 2) показує, що 78,41% затрат енергії складають добрива та пестициди, енергоносії 16,36%, а машини та обладнання 5,13%. Тобто, основним резервом підвищення енергетичної ефективності виробництва сої є раціональне використання оборотних засобів, зокрема добрив і пестицидів.

Таблиця 2.

Енергетична структура врожаю сої з розрахунку на 1 га

Показники	Енергоємність	
	МДж	%
Машини	1134	5,13
Добриво, пестициди	17322	78,41
Енергоносії	3615	16,36
Праця	20	0,10
Разом	22091	100

Заключною операцією приготування корму є подрібнення зерна, після обробки чи до неї, та змішування при приготуванні кормосумішок. Ці операції виконує малогабаритний кормоцех вітчизняного виробництва УМК–Ф–2 продуктивністю 3т/год.

Енергетична ефективність приготування кормів із зерна сої складатиме: способом екструзії $K_{ee}^{екстр} = 1,11$; термообробка (прожарювання) $K_{ee}^{термо} = 1,28$; соєве молоко $K_{ee}^{соєв} = 1,36$; варіння $K_{ee}^{варін} = 1,38$; мікронізація $K_{ee}^{мікро} = 1,42$;

Отже, найбільш енергетично ефективним є приготування корму способом флакування, а найменш ефективним способом екструзії. Всі інші способи зайняли проміжне положення. Проте всі варіанти технологічного процесу показали, що вони є енергозберігаючими та доцільними у використанні.

Висновки та перспективи дослідження. Таким чином, виходячи із рекомендації [4], виробництво зерна сої є енергозберігаючим $K_{ee} = 1,44$, а переробка отриманого зерна у корм тваринам та птиці понижує енергетичну ефективність технологічного процесу до 23% в залежності від виду переробки.

Має місце потреба в подальшому вивченні та уточненні енергетичних еквівалентів процесу переробки, що є необхідними при енергетичному аналізі, який є об'єктивним в умовах ринку.

Використані джерела інформації

1. В этом году украинские агрегаты соберут около 2,3 млн тонн сои [Електронний ресурс]. Режим доступу: vchasnik.ua/ekonomika/84148v.
2. Каленська С.М., Новицька Н.В., Гарбар Л.А., Стрихар А.Є. Біоенергетична оцінка елементів технології вирощування сої // Наукові доповіді НУБіП. – 2011. – №6(28) [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Nd/2011_6/

11ksm.pdf.

3. Крайняк О.К. Оцінка енергетичної та економічної ефективності виробництва фуражного зерна // Іноваційна економіка – 2007. - №6. – С.84 – 87.

4. Медведський О.К., Іваненко П.І. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві. – К.: Урожай, 1988. – 2008 с.

5. Методология и методика энергетической оценки агротехнологий в агроландшафтах [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://vadyra.ru>.

6. Оцінка ресурсозбереження та екологічності технологічних систем (ТС) на підприємствах АПК // Г.П. Водяницький, С.М. Герук, С.Й. Корсак, та інші. – Житомир. – 2006. – 27 с.

7. Соя в животноводстве [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.agroinform.ru/2009/09/soya.htm>

8. Соя плюсы и минусы [Електронний ресурс]. Режим доступу: Webpticeprom.ru/ru/articles-birdseed.htm?badeID=1194935616.

9. Смалиус В.М. Енергетична та біоенергетична оцінка кормів, технологій їх виробництва і підготовки їх до згодовування. Автореферат. – Вінниця, 1998. – 15 с.

10. Энергетический подход в оценке эффективности технологических процессов. [Електронний ресурс]. Режим доступа: http://symposium.forest.ru/article/2010/2_tehnology/Gazeeva.htm.