

УДК 621.327.539

**ВИЗНАЧЕННЯ ЗБИТКІВ ВІД ВІДХИЛЕНЬ ПОКАЗНИКІВ
ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРОПРИВОДАХ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН**

О. Ю. Синявський, В. В. Савченко, кандидати технічних наук

e-mail: vit1986@ua.fm

Анотація. *Проведено аналіз збитків, які виникають в електроприводах сільськогосподарських машин від відхилень напруги і частоти струму. Наведено методикку визначення збитків за відхилення показників якості електроенергії від номінального значення.*

Ключові слова: *показники якості електроенергії, збитки, напруга, частота струму*

Відхилення показників якості електроенергії від нормованих значень призводить до негативних наслідків – наносяться збитки від порушення нормального ходу технологічних процесів, скорочується строк служби електрообладнання, зростають витрати і втрати електроенергії, виникають аварійні ситуації [1].

Найширше застосовуються вартісні оцінки рівня якості електропостачання. В літературі і методичних рекомендаціях розглядаються різні підходи до розрахунку збитків. Нормативні документи встановлюють компенсацію втрат у вигляді знижок-надбавок до тарифу за зниження показників надійності електропостачання та якості електроенергії. Проте така компенсація втрат не є адекватною реальним втратам і не враховує різноманіття виробництв, продукції, що випускається, та інших чинників, які впливають на величину втрат.

Найбільшу складність представляє розрахунок збитку споживача, оскільки в цьому випадку необхідно враховувати технологічні особливості

виробництва продукції. Збиток споживача складається з двох частин: електротехнічної і технологічної складової. Електротехнічна складова заснована на функціональному описі показників системи і піддається розрахунку. Показники технологічної складової встановлюються апроксимацією залежностей на основі емпіричних даних.

Мета досліджень – розроблення методики визначення збитків за відхилення показників якості електроенергії від номінальних значень в електроприводах сільськогосподарських машин.

Матеріали та методика досліджень. У загальній величині збитку сільського споживача 96 – 100 % складає збиток від втрат продукції і менше 4 % – витрати на оплату праці при виконанні технологічних операцій вручну [2]. Причому частка ручної праці скорочується [3], відповідно, зменшуються витрати від виконання операцій вручну при перервах в електропостачанні і збільшується збиток від втрат продукції. Тому найважливіше визначати збиток саме від втрат продукції.

На думку А.П. Коршунова неприпустимо оцінювати збитки споживачів у вигляді питомого показника на одиницю недовідпущеної електроенергії. [4]. У методичних рекомендаціях для визначення збитку сільськогосподарському виробництву від перерв у подачі електроенергії, виданих ВІЕСГ (1974 р.) також наголошується, що збиток від перерв в електропостачанні необхідно визначати для конкретних умов кожного господарства. Збиток формується з двох складових: основний, обумовлений тим, що недовикористані основні фонди підприємства, а також зниженням продуктивності тварин і додатковий, викликаний псуванням сировини, готової продукції і устаткування, за вирахуванням вартості недовідпущеної електроенергії [5].

У роботі [6] збиток від перерв електропостачання споживачів сільських районів оцінюється у вигляді недоотриманої продукції. При цьому відзначається, що об'єм недоотриманої продукції при розрахунку збитків

споживача від перерви в електропостачанні необхідно приводити до витрат за термін використання тварини.

Результати фізіологічних досліджень, дані про зміну параметрів мікроклімату дозволили визначити реакцію тварин і рослин на зміни навколишнього середовища при перервах в електропостачанні. Вони знайшли відображення в методичних рекомендаціях оцінки збитку при відмовах електроустаткування [7], де приведені питомі втрати продукції за перерв в електропостачанні на окремих технологічних процесах сільськогосподарського виробництва. Питомі показники виражаються у вигляді частки від середньодобового об'єму продукції і можуть бути використані при будь-якій моделі розрахунку втрат продукції від тривалості перерви в електропостачанні.

Розрахунок збитків від зниження якості електроенергії ще більш утруднений. В інструктивних матеріалах Главгосэнергонадзора [8] запропоновані методичні рекомендації для оцінки збитку від зниження якості електроенергії для промислового споживача і не враховують специфіки сільськогосподарського виробництва.

Найретельніше особливості розрахунку збитків сільськогосподарських споживачів від відхилень напруги розглянуті в роботах С.П. Кучера [9]. Збиток, що виникає на тваринницьких комплексах при нарузі, яка відрізняється від номінальної, розглядається у вигляді сум прямого і додаткового збитку. Пряма складова визначається як сума збитків від перевитрати активної і реактивної потужності, а також збитку, пов'язаного зі скороченням терміну служби електроустановок. Додаткова складова виражається через зниження продуктивності тварин і втрати продукції, обумовлені зміною продуктивності окремих технологічних ліній і установок.

Результати досліджень С.П. Кучера знайшли відображення в методичних рекомендаціях ВІЕСГ [10], де приведені залежності технологічних показників від технічних характеристик електроустановок. Ця інформація дозволяє отримати залежності зміни технологічних показників за відхилень напруги.

Наведені в рекомендаціях ВІЕСГ моделі розраховані для установок і електрообладнання, які випускалися у 70-х роках минулого століття і нині практично не застосовуються. Вони визначені тільки для великих тваринницьких і птахівничих ферм та комплексів. Проводилися дослідження збитку тільки від впливу відхилення напруги. Окрім того, деякі наведені залежності адекватно не відображають реальні процеси, які відбуваються в електроприводах сільськогосподарських машин. Тому користуватися даною методикою нині не можна.

У зв'язку з цим виникає необхідність у розробці нової методики визначення збитку від відхилення показників якості електроенергії, яка б, враховуючи всі цінні надбання попередніх досліджень, відповідала реаліям сучасного сільськогосподарського виробництва, сучасної системи машин і результатів наукових досліджень, виконаних в останні роки.

При цьому необхідно враховувати, що фактичне відхилення напруги може істотно перевищувати 5 %, тому викликає інтерес дослідження впливу відхилення напруги на роботу електроустановок в межах 15 – 20 % [10].

Складовими збитку споживача є складні моделі, які залежать від багатьох факторів. Кожна із складових збитку може бути виражена у вигляді простішої моделі, що описується невеликим числом показників.

Результати досліджень. Розміри збитків, що заподіюються сільськогосподарському виробництву раптовими перервами в подачі електроенергії, визначаються часом і тривалістю відключення, фазою виробничого циклу, кліматичними умовами і залежать від прийнятої технології і продуктивності тварин та врожайності рослин.

Технологічна складова збитків, обумовлена живленням електроприводів електроенергією низької якості, містить збитки:

- від зниження продуктивності робочих машин;
- від зниження продуктивності тварин і птиці ;

- від захворювань, загибелі тварин і птиці та їх передчасного вибраковування;

- від зниження врожайності і загибелі культур закритого ґрунту;

- від зростання втрат при зберіганні продукції;

- із-за псування сировини і готової продукції;

- внаслідок виходу продукції зниженої якості.

Значення фактичних збитків від живлення електроприводів сільськогосподарських машин електроенергією низькою якості $Z_{ел.пост}$, грн може бути визначене за формулою:

$$Z_{ел.пост} = Z_{прод.маш} + Z_{с.г.прод} + Z_{втр} + Z_{загиб} + Z_{хвор} + Z_{акт} + Z_{реак} + Z_{служ} + Z_{робіт} - Z_w \quad (1)$$

де $Z_{прод.маш}$ – збитки, обумовлені зниженням продуктивності робочої машини;

$Z_{с.г.прод}$ – збитки, обумовлені недовипуском продукції;

$Z_{втр}$ – збитки, що виникають внаслідок псування і безповоротних втрат сировини, напівфабрикати, готової продукції і виходу продукції зниженої якості;

$Z_{загиб}$ – збитки від загибелі тварин або рослин;

$Z_{хвар}$ – збитки від захворювань і передчасного вибраковування тварин;

$Z_{акт}$ – втрати від зміни споживання активної потужності;

$Z_{реак}$ – втрати від зміни споживання реактивної потужності;

$Z_{служ}$ – втрати від зміни терміну служби електродвигуна;

$Z_{робіт}$ – витрати на додаткову оплату основних і тимчасово залучених робітників;

Z_w – зниження збитків на величину вартості невитраченої за час перерви в електропостачанні електричної енергії.

Збитки, обумовлені зниженням продуктивності робочої машини $Z_{прод.маш}$, розраховуються за формулою:

$$Z_{прод.маш} = Q_n(1 - Q_*) C \cdot t, \quad (2)$$

де Q_n – номінальна продуктивність робочої машини;

Q_* – продуктивність робочої машини при відхиленні показника якості електроенергії у відносних одиницях;

C - ціна одиниці продукції, яка випускається даним механізмом;

t – час, за який визначаються збитки.

Збитки, обумовлені недовипуском продукції $Z_{с.г.прод}$, розраховуються за об'ємом фактично недоотриманої продукції

$$Z_{с.г.прод} = C \cdot \Delta П, \quad (3)$$

де C - закупівельна ціна одиниці продукції (м'яса, молока, овочів тощо);

$\Delta П$ - об'єм фактично недоотриманої продукції.

При отриманні продукції зниженої якості $Z_{втр}$, яка може бути реалізована за нижчою ціною, збитки виникають із-за зниження закупівельних цін:

$$Z_{втр} = П_3 (C - C_3), \quad (4)$$

де $П_3$ - об'єм випущеної неповноцінної продукції, натуральних одиниць;

C_3 - закупівельна ціна продукції зниженої якості.

Збитки при вибракуванні тварин $Z_{втвар}$ включають недоотриманий прибуток від реалізації продукції майбутніх періодів

$$Z_{втвар} = \Sigma (C - C) \cdot П_{ні2}, \quad (5)$$

а у разі їх загибелі збитки складаються з вартості фактично втраченої продукції і недоотриманої продукції майбутніх періодів

$$Z_{загиб\ тв} = \Sigma C_i П_{ні1} + (C - C) П_{ні2}, \quad (6)$$

де $П_{ні1}$ - об'єм продукції, отриманої до моменту загибелі тварин i -ї вікової групи (вага тварини на відгодівлі), натуральних одиниць;

$П_{ні2}$ - об'єм недоотриманої продукції майбутніх періодів від загиблих або вибракованих тварин i -ї вікової групи, натуральних одиниць.;

C_i - ціна продукції, отриманої від тварин i -ї вікової групи, грн;

C – собівартість виробництва повноцінної продукції, грн.

Збитки із-за загибелі рослин $Z_{загиб\ росл}$ дорівнюють вартості недоотриманої продукції

$$Z_{загиб\ росл} = \Sigma C_k \cdot П_{нк} \cdot S_k, \quad (7)$$

де C_k – ціна повноцінної k -ї культури, грн.;

$P_{нк}$ – об'єм недоотриманої продукції з 1 м² із-за загибелі k -ї культури, натуральних одиниць.;

S_k – площа, що стала вільною із-за загибелі k -ї культури, м².

Втрати від зміни споживання електроприводом активної потужності $Z_{акт}$ визначають за формулою:

$$Z_{акт} = (\Delta P - \Delta P_n) b_e \cdot t, \quad (8)$$

де ΔP – втрати активної потужності в електродвигуні при відхиленні показника якості електроенергії від номінального значення, кВт;

ΔP - втрати активної потужності в електродвигуні при номінальному значенні показника якості електроенергії, кВт;

b_e – тариф на електроенергію, грн./кВт.год.

Формули для визначення втрат активної потужності в електродвигунах наведені в розділі .

Додаткові втрати потужності від вищих гармонічних складових струмів I_v визначаються за формулою:

$$\Delta P_v = 3I_v^2 (R_1 + R_2'), \quad (9)$$

де R_1 – активний опір обмотки статора, Ом; R_2' – активний опір обмотки ротора, приведений до обмотки статора при $f_2 \approx nf_1$, Ом.

Додатковий струм, створений гармонічною складовою, складе:

$$I_v = \frac{U_v}{U_{1н}} \frac{I_{1кз}}{v}, \quad (10)$$

де U_v – v -я гармоніка напруги, В; $I_{1кз}$ – струм короткого замикання, А:

$$I_{1кз} \approx \frac{U_{1н}}{x_k}, \quad (11)$$

де $x_k = x_l + x_2'$.

Загальні додаткові електричні втрати в обмотках машини отримаємо, підсумувавши втрати ΔP_v від всіх гармонік струму

Втрати від зміни споживання електроприводом реактивної потужності $Z_{реак}$

$$Z_{реак} = (Q - Q_n) b_e \cdot t \cdot k_{зв}, \quad (12)$$

де Q – споживана реактивна потужність електродвигуном при відхиленні показника якості електроенергії від номінального значення, кВАр;

Q_n – споживана реактивна потужність електродвигуном при номінальному значенні показника якості електроенергії, кВАр;

b_e – тариф на електроенергію, грн./кВт.год;

$k_{зв}$ – коефіцієнт зміни втрат, кВт/кВАр.

При розрахунках можна вважати, що кожен відсоток збільшення напруги споживання електроенергії супроводжується збільшенням реактивної потужності двигуна на 3% [11].

Втрати від зміни строку служби електродвигуна $Z_{служ}$ визначають за формулою:

$$Z_{служ} = 1,2 \cdot k_n \cdot C_0 (R - 1), \quad (13)$$

де $1,2$ – коефіцієнт, який враховує додаткові затрати на монтаж і демонтаж обладнання;

k_n – коефіцієнт перерахунку преїскурантних цін в ціни сьогодення;

C_0 – ціна електродвигуна за преїскурантом;

R – коефіцієнт, який залежить від величини і знака відхилення напруги, а також коефіцієнта завантаження електродвигуна:

$$R = (1 + 47\delta U^2 - 7,55 \delta U) m^2 \quad \text{при } -0,2 \leq \delta U < 0, \quad (14)$$

$$R = m^2 \quad \text{при } 0 < \delta U \leq 0,2, \quad (15)$$

де m – коефіцієнт завантаження двигуна.

Вартість невитраченої за час перерви електроенергії Z_w , грн

$$Z_w = b_e W \tau, \quad (16)$$

де W – середньогодинне споживання електроенергії, кВт год;

τ – тривалість перерви в електропостачанні, годин.

Зміни технічних характеристик електроустановок за відхилення показників якості електроенергії від номінальних значень викликають варіацію факторів зовнішнього середовища, що формуються електрообладнанням. Такими факторами зовнішнього середовища, що мають безпосередню дію на тварини і рослини, є освітленість, температура і вологість повітря в тваринницьких приміщеннях і теплицях, температура питної води, доза ультрафіолетового і інфрачервоного опромінювання та електрообігрівання. Біологічні дослідження, проведені різними авторами, показали, що від зовнішніх факторів залежать зміни фізіологічного стану тварин і рослин. Погіршення зоотехнічних та агротехнічних показників виробництва, сформульоване у вартісному вираженні, складає технологічну складову збитку.

Технологічна складова збитку при відхиленні показників якості електроенергії містить дві компоненти: від зниження продуктивності тварин і від перевитрати кормів:

$$Z_{с.г.прод} = Z_{прод} + Z_{корм}. \quad (17)$$

де $Z_{прод}$ - збиток від зниження продуктивності тварин або врожайності рослин;

$Z_{корм}$ - збиток від зміни витрати кормів тваринами при відхиленні показників якості електроенергії на затисках технологічного устаткування.

Обидві компоненти технологічної складової збитку визначаються за величиною недоотриманої продукції, зміною коефіцієнта збереження і зміною витрати кормів тваринами. Збиток від зниження продуктивності тварин або урожайності рослин при відхиленні показників якості електроенергії на затискачах технологічного устаткування визначаються за формулою (3), а збиток від перевитрати кормів при порушенні технологічного режиму визначається аналогічним чином:

$$Z_{корм} = C_k \cdot \Delta K, \quad (18)$$

де C_k – ціна 1 ц кормової одиниці, грн/ц;

ΔK - перевитрата кормів тваринами при порушенні технологічного процесу вирощування і відгодівлі тварин при відхиленні показника якості електроенергії, ц к.о.

При визначенні технологічної складової збитку необхідно знати для конкретних технологічних виробництв аналітичний вираз залежностей продуктивності тварин або урожайності сільськогосподарських культур від показників якості електроенергії. З цією метою у ВІЕСГ С.П. Кучером були проаналізовані і узагальнені результати біологічних досліджень, а також отримані усереднені криві, що характеризують зміну зоотехнічних показників виробництва від зовнішніх факторів, які апроксимовані поліномами вигляду [10]:

$$П(\Phi) = a_0 \Phi^2 + a_1 \Phi + a_2, \quad (19)$$

де Φ – зовнішній фактор, залежний від якості роботи електрифікованого технологічного устаткування.

Зміна зоотехнічного показника або урожайності сільськогосподарських культур пов'язана із зміною зовнішніх факторів залежністю:

$$\Delta П(\Phi) = a_0 (\Delta \Phi)^2. \quad (20)$$

Значення коефіцієнта a_0 для деяких технологічних процесів наведено в таблиці.

Встановивши залежність зовнішнього фактору від показника якості електроенергії, можна отримати аналітичні залежності зміни продуктивності тварин і врожайності сільськогосподарських культур при відхиленні відповідного показника якості електроенергії від номінального значення та визначити відповідні технологічні втрати.

Основним чинником, що впливає на продуктивність молодняка тварин, птиці і рослин є мікроклімат в приміщеннях. Для установок штучного мікроклімату при відхилення показників якості електроенергії від номінальних значень має місце співвідношення:

$$\Delta\Phi = b\Delta Q_n = bQ_n(1 - Q_*), \quad (21)$$

де Q – продуктивність установки, м³/год.

Значення коефіцієнтів для розрахунку технологічної складової збитку при відхиленні показників якості електроенергії від номінального значення

Технологічна характеристика виробництва	Коефіцієнт a_0	Виробничий об'єкт з установками штучного мікроклімату	Коефіцієнт b	Коефіцієнт a
Молочна продуктивність корів	-0,03	Корівник на 400 голів	1,4	-50,18
Приріст маси телят	-0,3	Телятник	0,9	-207,5
Приріст маси свиней	-0,3	Свинарник-відгодівельник	1,5	-575,5
Яйценоскість кур	-0,12	Пташник на 10 тис. голів	0,8	-65,7
Споживання кормів свинями	0,7	Свинарник-відгодівельник	1,5	1342,9
Споживання кормів телятами	0,7	Телятник	0,9	484,2
Урожайність овочевих культур	-1,17	Зимова телиця площею 1 га	1,05	-46286,6
Збереженість овочів у овочесховищі	-0,89	Картоплесховище на 5 тис. т	4,72	-107,6

Значення коефіцієнта b для деяких сільськогосподарських приміщень, обладнаних установками для створення штучного мікроклімату, наведено в таблиці.

Залежність зміни продуктивності тварин або врожайності сільськогосподарських культур з урахуванням (20) прийме вигляд:

$$\Delta\Pi = a_0 b^2 Q_n^2 (1 - Q_*)^2, \quad (22)$$

або

$$\Delta\Pi = a(1 - Q_*)^2. \quad (23)$$

Значення коефіцієнта a для визначення технологічної складової збитку при відхиленні показників якості електроенергії від номінального значення наведено в таблиці.

Висновки

Встановлено, що при зниженні напруги на 20 % приріст маси свиней зменшується на 5,8 %, телят – на 2,1 %, молочна продуктивність корів – на 0,5 %, яйценосність курей – на 0,65 % при зростанні споживання кормів телятами на 4,8 %, а свинями – на 13,4 %. Урожайність овочевих культур у зимових теплицях зменшується при цьому на 4,6 %, а збереженість картоплі у картоплесховищах – на 1,1 %. При підвищенні напруги технологічні збитки менші, ніж при її зниженні. Існуюче відхилення частоти струму в мережі не спричиняє істотних технологічних збитків (вони не перевищують 0,2 %).

Список літератури

1. Вплив якості електроенергії на функціонування споживачів у сільському господарстві / Д.Г. Войтюк, В.П. Лисенко, І.І. Мартиненко [та ін.] // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. – 2004. – №1(6). – С. 3–12.
2. Островский В.А. Методы выбора оптимальной надежности электроснабжения крупных сельскохозяйственных предприятий на примере

комплекса по производству молока / В.А. Островский // Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. к.т.н.. – М.: МИИСП, 1973.

3. Перова М.Б. Качество сельского электроснабжения: комплексный подход / М.Б. Перова. – Вологда: ВоГТУ, 1999. – 73 с.

4. Коршунов А.П. Методика расчета ущербов и штрафов при перерывах электроснабжения потребителей / А.П. Коршунов // Техника в сельском хозяйстве. – 1992. – №5-6. – С. 8-10.

5. Методические рекомендации по определению ущерба сельскохозяйственному производству от перерывов в подаче электроэнергии. – М.: ВИЭСХ, 1974. – 26 с.

6. Будзко И.А. Ущерб от перерывов электроснабжения потребителей сельских районов / И.А. Будзко, Н.М. Зуль и др. // Механизация и электрификация. сельского хозяйства. – 1984. – №12. – С. 39-40.

7. Рекомендации по экономической оценке ущербов, наносимых сельскохозяйственному производству отказами электрооборудования. – М.: ВИЭСХ, 1987. – 33 с.

8. Инструктивные материалы Главэнергонадзора // Минэнерго СССР. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 352 с.

9. Кучер С.П. Определение ущербов на животноводческих комплексах от отклонений напряжения у электроприемников / С.П. Кучер // Научно-технический бюллетень по электрификации с.-х. – М.: ВИЭСХ. – Вып.3(33). – 1977. – С.53-57.

10. Методические рекомендации по определению ущербов от отклонений напряжения на животноводческих предприятиях. – М.: ВИЭСХ, 1985. – 99 с.

11. Гусейнов Г.Ф. Экономичность режимов электрических сетей / Гусейнов Г.Ф., Мамедяров О.С. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 119 с.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ УЩЕРБА ОТ ОТКЛОНЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН**

А. Ю. Синявский, В. В. Савченко

Аннотация. Проведен анализ убытков, возникающих в электроприводах сельскохозяйственных машин, от отклонений напряжения и частоты тока. Приведена методика определения убытков при отклонении показателей качества электроэнергии от номинального значения.

Ключевые слова: *показатели качества электроэнергии, убытки, напряжение, частота тока*

**DETERMINATION OF LOSS FROM DEVIATION OF THE POWER
QUALITY IN THE ELECTRIC DRIVE OF AGRICULTURAL MACHINERY**

A. Sinyavsky, V. Savchenko

Annotation. The analysis of the losses resulting in the electric drives of agricultural machinery from the voltage and frequency deviations. The methods of determining losses rejecting power quality from the nominal value are shown.

Keywords: *power quality performance, losses, voltage, current, frequency*