



УДК 621.313

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВИТРАТ РЕСУРСУ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

Мірошник О.В., к.т.н.,

Котляр О.А.,

Пазій В.Г.

Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка

Тел. (057) 712-34-32

Анотація – розглядаються математичні моделі оцінки зміни спрацьованого ресурсу електрообладнання на основі даних діагностики щодо відхилення експлуатаційних факторів від номінальних значень з урахуванням ступеня впливу експлуатаційних факторів на ресурс електрообладнання для прогнозування залишкового ресурсу електрообладнання.

Ключові слова – система електропостачання, експлуатаційні фактори, ресурс електрообладнання, діагностика.

Постановка проблеми. Системи електропостачання сільськогосподарських споживачів, як і будь-які технічні системи, зазнають впливів експлуатаційних факторів, що з часом призводить до відмов. Тому зростає актуальність впровадження засобів збору і обробки діагностичної інформації та розробки математичних моделей, які дозволяють максимально враховувати всі фактори, що впливають на технічний стан електрообладнання.

Аналіз останніх досліджень. Для того щоб об'єднати різносторонню діагностичну інформацію і на цій базі розрахувати інтегральну кількісну характеристику рівня технічного стану електрообладнання, потрібна розробка комплексного методу. В якості такої інтегральної характеристики приймають значення спрацьованого ресурсу [1, 2]. Порівнюючи отриману величину з допустимими границями її зміни, можна дати рекомендації щодо необхідності виводу електрообладнання в ремонт або про продовження терміну його експлуатації, зокрема понаднормативної.

Формулювання мети статті. Метою статті є розробка математичних моделей оцінки технічного стану електрообладнання системи електропостачання сільськогосподарських об'єктів на основі даних діагностики технічного стану електрообладнання та моніторингу ре-

жимів роботи для визначення величини спрацьованого ресурсу, залишкового ресурсу електрообладнання, для обґрунтування рішення щодо дострокового виводу електрообладнання з експлуатації чи щодо понаднормативного терміну його експлуатації.

Основна частина. Один з методів статистичного прогнозування базується на визначенні середнього наробітку до відмови досліджуваного електрообладнання, якщо відомі інтенсивності відмов елементів, що входять до його складу, та закон зміни ймовірності безвідмовної роботи. Зміна надійності системи з однаковою інтенсивністю відмов λ в процесі експлуатації описується експоненціальним законом

$$P(t) = e^{-\lambda t}. \quad (1)$$

В процесі експлуатації електрообладнання піддається дії впливу n -різних експлуатаційних факторів, що характеризуються величиною X_i . Якщо визначити таку величину $\Delta X_i = \text{const}$, при збільшенні нормативного значення фактора X_{0i} на яку, фактичний спрацьований ресурс електрообладнання збільшується, наприклад, в $e = 2,718$ раз в порівнянні з витратами ресурсу в режимі нормативних значень експлуатаційного фактора X_{0i} , а при зменшенні – зменшується в e раз, то можна записати вираз для розрахунку фактичного спрацьованого ресурсу електрообладнання в залежності від зміни величини X_i

$$R_{\phi} = R_0 e^{\frac{(X_i - X_{0i})}{\Delta X_i}}, \quad (2)$$

де $R_0 = R_0(X_{0i})$ – спрацьований ресурс електрообладнання за нормативних умов експлуатації;

X_{0i} – нормативне значення експлуатаційного фактора X_i ;

$\Delta X_i = X_i - X_{0i} = \text{const}$ – таке значення відхилення фактора X_i від нормативного, при якому фактичний спрацьований ресурс електрообладнання збільшується (при $\Delta X_i > 0$) в e раз, $R_{\phi}/R_0 = e$.

Якщо застосовуються часові одиниці вимірювання ресурсу, то нормативний ресурс відповідає встановленому терміну служби, а фактичний ресурс – фактичному терміну служби. За нормативних умов експлуатації фактичний ресурс електрообладнання приймається рівним нормативному, установленому в його паспортних даних.

Розділивши обидві частини виразу (2) на величину R_0 , а чисельник і знаменник показника ступеня в цьому ж виразі – на X_{0i} , отримаємо вираз для визначення фактичного спрацьованого ресурсу електрообладнання у відносних одиницях (в.о.), що зручно для аналізу можливого впливу умов експлуатації на ресурс електрообладнання за даними моніторингу режимів роботи

$$R^* = R_0^* e^{\frac{(X_i^* - 1)}{\Delta X_i^*}}, \quad (3)$$

де R^* – фактичний ресурс електрообладнання у в.о. при постійній величині фактора X_i^* ;

$$X_i^* = \frac{X_i}{X_{0i}} \text{ – відносне значення } i\text{-го фактора};$$

$$\Delta X_i^* = \frac{X_k - X_{0i}}{X_{0i}} \text{ – відносне відхилення } i\text{-го фактора}.$$

Оскільки $R_0^* = 1$ в.о., вираз (3) матиме вигляд

$$R^* = e^{\frac{(X_i^* - 1)}{\Delta X_i^*}}. \quad (4)$$

Якщо за даними системи діагностики на інтервалі $[R_1^*, R_2^*]$ нескінченно малого наробітку досліджуваний фактор прийняв певне значення X_i , то фактичний спрацьований ресурс на цьому інтервалі наробітку розраховується як

$$\Delta R^* = \int_{R_1^*}^{R_2^*} e^{\frac{(X_i^* - 1)}{\Delta X_i^*}} dr. \quad (5)$$

В процесі експлуатації інтенсивність впливу різних експлуатаційних факторів на електрообладнання на деяких з інтервалів наробітку є відмінною від номінальної ($X_i^* > X_{0i}^*$ або $X_i^* < X_{0i}^*$), тому сумарний фактичний спрацьований на цих інтервалах наробітку ресурс ΔR_Σ^* розраховується як

$$\Delta R_\Sigma^* = \sum_{j=1}^K \int_0^{R_j^*} e^{\frac{(X_i^* - 1)}{\Delta X_i^*}} dr, \quad (6)$$

де $j = 1 \dots K$ – інтервали з ненормативними умовами експлуатації електрообладнання;

R_j^* – величина наробітку на j -му інтервалі;

X_{ij}^* – значення i -го фактора на j -му інтервалі наробітку.

На рис. 1 показана зміна фактичного спрацьованого ресурсу електрообладнання в залежності від величини відхилення експлуатаційних факторів від номінальних значень та від ступеня впливу експлуатаційних факторів на ресурс електрообладнання.

В системі діагностики електрообладнання для аналізу ступеня впливу експлуатаційних факторів на надійність електрообладнання

доцільно розділити їх за фізичною природою на чотири основні групи: теплові (пов'язані з нагрівом); електричні (пов'язані зі зміною напру- ги живлення); механічні (пов'язані з механічним зносом); хімічні (пов'язані з хімічними процесами, що протікають в матеріалах, з яких виготовлене електрообладнання), хоча найчастіше ці фактори ще і впливають один на одного. З врахуванням цього вираз (4) можна представити у вигляді

$$R^* = \exp \left(\sum_{i_T=1}^{N_T} \frac{(X_{i_T}^* - 1)}{\Delta X_{i_T}^*} + \sum_{i_E=1}^{N_E} \frac{(X_{i_E}^* - 1)}{\Delta X_{i_E}^*} + \sum_{i_M=1}^{N_M} \frac{(X_{i_M}^* - 1)}{\Delta X_{i_M}^*} + \sum_{i_X=1}^{N_X} \frac{(X_{i_X}^* - 1)}{\Delta X_{i_X}^*} \right), \quad (7)$$

де $i_T=1...N_T, i_E=1...N_E, i_M=1...N_M, i_X=1...N_X$ – відповідно кількість теплових, електричних, механічних та хімічних факторів, що діють на електрообладнання;

$X_{i_T}^*$ та $\Delta X_{i_T}^*$, $X_{i_E}^*$ та $\Delta X_{i_E}^*$, $X_{i_M}^*$ та $\Delta X_{i_M}^*$, $X_{i_X}^*$ та $\Delta X_{i_X}^*$ – відповідно кратність та відносне відхилення i_T -го теплового, i_E -го електричного, i_M -го механічного та i_X -го хімічного факторів.

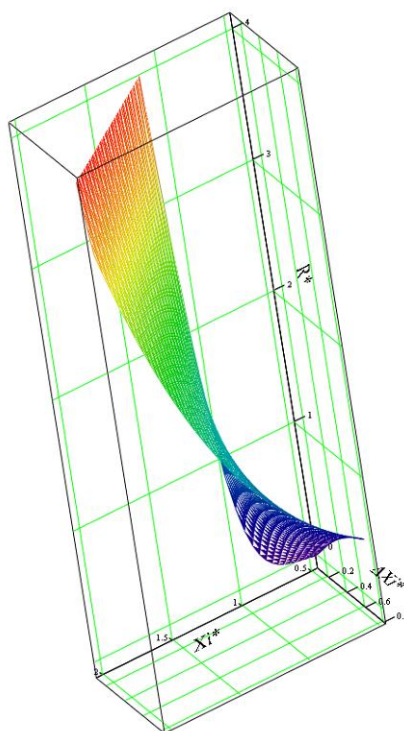


Рис.1. Залежність фактичного спрацьованого ресурсу електрообладнання від значення факторів впливу.

Фактичний спрацьований ресурс електрообладнання за наробіток в обсязі нормативного ресурсу R_0^* з урахуванням впливу експлуа-

таційних факторів визначається як сума наробітку при нормативних ΔR_0^* і при ненормативних ΔR_{Σ}^* умовах експлуатації

$$R_{\phi}^* = \Delta R_0^* + \Delta R_{\Sigma}^*. (8)$$

Задача системи діагностики полягає у визначенні інтервалів часу роботи електрообладнання в нормативних (номінальних) та ненормативних (відмінних від номінальних як в бік перевищення, так і в бік зниження у порівнянні з номінальними значеннями параметрів режиму) умовах експлуатації та у визначенні значень відповідних факторів X_i , які характеризують ці умови.

З урахуванням (7) і (8), отримаємо вираз для визначення фактичного спрацьованого ресурсу електрообладнання за наробіток в межах нормативного ресурсу R_0^*

$$R_{\phi}^* = \Delta R_0^* + \sum_{j=1}^k \int_0^{R_j^*} e^{\sum_{i_T=1}^{N_T} \frac{(X_{i_T j}^* - 1)}{\Delta X_{i_T}^*} + \sum_{i_E=1}^{N_E} \frac{(X_{i_E j}^* - 1)}{\Delta X_{i_E}^*} + \sum_{i_M=1}^{N_M} \frac{(X_{i_M j}^* - 1)}{\Delta X_{i_M}^*} + \sum_{i_X=1}^{N_X} \frac{(X_{i_X j}^* - 1)}{\Delta X_{i_X}^*}} dr. (9)$$

З виразу (9) видно, що можливий варіант, коли перевищення нормативного значення одного з параметрів X_i може одночасно компенсуватись зниженням значення іншого параметра на цьому ж або на іншому інтервалі наробітку j таким чином, що показник ступеня у виразі буде дорівнювати нулю $e=0$. Це означатиме, що в сумі два (чи кілька) ненормативних режими (на одному чи на кількох інтервалах наробітку) призведуть до такого ж спрацьовання ресурсу електрообладнання, як і робота в нормативному режимі. Прикладом такого випадку може слугувати дозвіл на перевантаження силових трансформаторів в години максимуму навантажень з урахуванням їхнього недовантаження в інші періоди [3].

Знайдемо відношення значень величин фактичного спрацьованого R_{ϕ}^* і нормативного R_0^* ресурсів

$$c = \frac{R_{\phi}^*}{R_0^*} = \frac{\Delta R_0^*}{R_0^*} + \frac{1}{R_0^*} \sum_{j=1}^k \int_0^{R_j^*} e^{\sum_{i_T=1}^{N_T} \frac{(X_{i_T j}^* - 1)}{\Delta X_{i_T}^*} + \sum_{i_E=1}^{N_E} \frac{(X_{i_E j}^* - 1)}{\Delta X_{i_E}^*} + \sum_{i_M=1}^{N_M} \frac{(X_{i_M j}^* - 1)}{\Delta X_{i_M}^*} + \sum_{i_X=1}^{N_X} \frac{(X_{i_X j}^* - 1)}{\Delta X_{i_X}^*}} dr. (10)$$

Величина c – це характеристика оптимальності експлуатації електрообладнання. Якщо $c > 1$, то це означає, що обладнання працює не в оптимальних для нього – тяжких умовах.

Якщо величина $c < 1$, то електрообладнання експлуатується в полегшеному режимі. Це говорить про запас ресурсу, який може бути використаний для понаднормативного продовження експлуатації да-

ного електрообладнання.

Якщо електрообладнання вже спрацювало деякий ресурс $R_{сп}^* = R_{\phi}^*$, тоді можна визначити нормативний залишковий ресурс за умови подальшої роботи електрообладнання в нормативних умовах.

Очікуване значення фактичного залишкового ресурсу $R_{0,зал}^*$ (у разі подальшої експлуатації з нормативними значеннями параметрів) з урахуванням (7)

$$R_{0,зал}^* = R_0^* - R_{\phi}^* = R_0^* - \Delta R_0^* - \Delta R_{\Sigma}^* \quad , \quad (11)$$

а оскільки $R_0^* = 1$ – нормативний ресурс електрообладнання у відносних одиницях, то

$$R_{0,зал}^* = 1 - \Delta R_0^* - \Delta R_{\Sigma}^* \quad . \quad (12)$$

У разі ненормативних умов подальшої роботи електрообладнання величина фактичного залишкового ресурсу електрообладнання $R_{зал}^*$ повинна бути скоригована з врахуванням очікуваного впливу експлуатаційних факторів

$$R_{зал}^* = \frac{1}{c} (1 - \Delta R_0^* - \Delta R_{\Sigma}^*) \quad . \quad (13)$$

Знаючи величину нормативного залишкового ресурсу $R_{0,зал}^*$, можна розрахувати режим експлуатації електрообладнання для досягнення потрібної величини наробітку $R_{зал}^* > R_{0,зал}^*$ за рахунок полегшення режиму роботи за декількома факторами X_i на окремих j -х інтервалах наробітку. Для цього у виразі (9) замінюються величини фактично спрацьованого ресурсу на потрібне значення наробітку $R_{\phi}^* = R_{зал}^*$, а сума наробітку при нормативних умовах експлуатації – на величину фактичного залишкового ресурсу за умов нормативних значень експлуатаційних факторів $\Delta R_0^* = R_{0,зал}^*$

$$R_{зал}^* = R_{0,зал}^* + \sum_{j=1}^k \int_0^{R_j} e^{\sum_{i_T=1}^{N_T} \frac{(X_{i_T j}^* - 1)}{\Delta X_{i_T}^*} + \sum_{i_E=1}^{N_E} \frac{(X_{i_E j}^* - 1)}{\Delta X_{i_E}^*} + \sum_{i_M=1}^{N_M} \frac{(X_{i_M j}^* - 1)}{\Delta X_{i_M}^*} + \sum_{i_X=1}^{N_X} \frac{(X_{i_X j}^* - 1)}{\Delta X_{i_X}^*}} dr \quad (14)$$

За рахунок варіювання значень експлуатаційних факторів X_i на j -х інтервалах, досягається виконання тотожності (14). Значення отриманих при цьому факторів X_{ij} є шуканими величинами експлуатаційних факторів, підтримка яких дозволить експлуатацію електрообладнання на заданому інтервалі наробітку в обсязі $R_{зал}^*$.

Висновки. Розроблені математичні моделі дають змогу на основі даних діагностики технічного стану електрообладнання та моніторингу режимів роботи здійснювати оцінку величин спрацьованого ресурсу, залишкового ресурсу електрообладнання, приймати рішення щодо дострокового виводу електрообладнання з експлуатації чи щодо понаднормативної його експлуатації.

Література

1. Назарычев А. Н. Методика оценки фактического ресурса электрооборудования с учетом воздействия эксплуатационных факторов / А.Н. Назарычев, Д. А. Андреев // Повышение эффективности работы энергосистем: Тр. ИГЭУ. Вып. 6. – М.: Энергоатомиздат, 2003. – С. 288 – 306.
2. Назарычев А. Н. Методы и модели оптимизации ремонта электрооборудования объектов энергетики с учетом технического состояния / А. Н. Назарычев. – Иваново: Иван. гос. энерг. ун-т, 2002. – 168 с.
3. Федосенко Р.Я. Эксплуатационная надежность электросетей сельскохозяйственного назначения / Р. Я. Федосенко, А. Я. Мельников. – М.: Энергия, 1977. – 320 с.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСХОДА РЕСУРСА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Мирошик А. В., Котляр А. А., Пазий В. Г.

Аннотация – рассматриваются математические модели оценки изменения сработанного ресурса электрооборудования на основе данных диагностики об отклонении эксплуатационных факторов от номинальных значений с учетом степени влияния эксплуатационных факторов на ресурс электрооборудования для прогнозирования остаточного ресурса электрооборудования.

MATHEMATICAL MODEL OF OVERHEAD ELECTRICAL

O. Miroshnyk, O. Kotlyar, V. Pazyu

Summary

The mathematical model considers changes in Harmony resource estimates based on data from electrical diagnostics with respect to operational factors of deviation from the nominal values to the extent that the influence of operational factors on the life of electrical equipment to predict remaining life of electrical equipment.