

УДК 669.019.02/09

К.В. Таратута, доцент, к.т.н.

О.Ю. Шанько, аспірант

ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ НОМЕНКЛАТУРИ ПОКАЗНИКІВ ТЕОРЕТИЧНОЇ НАДІЙНОСТІ МЕТАЛУРГІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ

Запорожская государственная инженерная академия

Стаття посвящена изучению оценки надежности металлургического оборудования на стадии его проектирования с целью выбора и обоснования основных показателей теоретической надежности с последующим назначением ее оптимальных норм.

Ключевые слова: металлургическое оборудование, оценка надежности, выбор и обоснование

Стаття присвячена вивченню оцінки надійності металургійного обладнання на стадії його проектування з метою вибирання та обґрунтування головних показників теоретичної надійності з подальшим призначенням її оптимальних норм.

Ключові слова: металургійне обладнання, оцінка надійності, вибір та обґрунтування

The publication relates to questions of metallurgical equipment definition reliability at the stage of its construction with purpose of choice and justification of the main factors for theoretical reliability and following assignment of its optimal standards.

Keywords: metallurgical equipment, definition reliability, choice and justification

Вступ. Теорія надійності вивчає закономірності виникнення відмов і відновлення працездатності обладнання, вплив зовнішніх та внутрішніх факторів на його надійність, методи кількісного визначення та забезпечення заданого рівня надійності під час проектування, виготовлення й експлуатації.

Розрізняють теоретичну, технічну та експлуатаційну надійність обладнання. Показники теоретичної надійності визначають розрахунковим або експериментальним шляхом під час проектування, показники технічної надійності – за стендових або заводських випробувань дослідних зразків, а показники експлуатаційної надійності – умовами експлуатації, режимом та якістю технічного обслуговування.

Багаторічні дослідження, щодо надійності об'єктів у різних сферах діяльності людини призвели до створення у кінці ХХ століття вітчизняних ГОСТів з надійності, а пізніше міждержавної системи стандартів «Надійність в техніці» [1-3], яка підписана шістьма країнами СНД, в тому числі Україною. Слід зазначити, що міждержавні стандарти, які регламентують вимоги щодо надійності є обов'язковими для застосування лише для військової (оборонної) продукції та носять рекомендаційний характер для об'єктів у інших сферах життєдіяльності. На сьогодні зазначену систему стандартів не застосовують у повній мірі під час проектування металургійного обладнання. Однією з причин такого

стану є слабкий зв'язок між науковими дослідженнями надійності з їх подальшим інженерним використанням.

Питання надійності також висвітлюються у міжнародних стандартах, де найбільшу увагу їй приділяє Міжнародна електротехнічна комісія МЕК - ІЕС [4], що є однією з трьох глобальних організацій [МЕК (IEC), ІСО (ISO), МСЕ (ITU)], які розробляють міжнародні стандарти щодо надійності для всіх технологічних галузей. Вимоги до системної надійності відображено у стандартах нормування відмов на етапі проектування [5]. Показники надійності формують залежно від вимог до безпеки, етапу життєвого циклу обладнання та режимів роботи.

Питання оцінки металургійного обладнання на етапі проектування висвітлено у роботах вітчизняних вчених [6-10], де їх поділено на п'ять груп:

- загальні питання, пов'язані з правилами та методами встановлення вимог щодо надійності, а також класифікація відмов та граничних станів об'єктів;

- питання організації роботи щодо забезпечення надійності на різних стадіях життєвого циклу; планування робіт та програм забезпечення надійності; а також інформаційне забезпечення надійності;

- питання експериментального визначення надійності; конструктивні та технологічні методи її визначення надійності та моделювання зростання; методи контролю якості та безвідмовної роботи потенційно ненадійних об'єктів; збіль-

шення терміну служби та ресурсу; забезпечення надійності за експлуатації;

– питання аналізу та розрахунку надійності, тобто методи розрахунку її показників, вплив «людського фактору» на надійність; аналіз можливих видів та наслідків відмов;

– питання випробувань, контролю та оцінки надійності.

Таким чином, на першому етапі, під час проектування металургійного обладнання, слід виконувати низку заходів щодо забезпечення надійності, а саме: вибір та обґрунтування принципів технічного обслуговування; вибір головного показника надійності; призначення норм надійності та розподіл норм надійності ТЗ за елементами.

Серед чисельних питань першочергове значення набувають питання, які присвячені визначенню правил і методів встановлення вимог щодо надійності, тобто вибору та обґрунтуванню переліку його показників і призначенню оптимальних норм надійності.

Відомо, що трудомісткість на різних етапах створення металургійного обладнання багаторазово зростає від етапу проектування до випробувань та експлуатації. Тому достовірна оцінка надійності на етапі проектування дозволить скоротити витрати на етапі випробувань та експлуатації, тим паче, що під час розробки унікального металургійного обладнання, яке створюють за індивідуальним замовленням, вкрай рідко виконують експериментальні випробування зразків, котрі дозволяють оцінити експлуатаційну надійність.

Звичайний метод проектування, коли застосовують лише коефіцієнт запасу міцності не дозволяє оцінити ймовірність відмови. За однако-вим коефіцієнтом запасу ймовірність відмови обладнання може змінюватися у досить широкому діапазоні. Застосування коефіцієнту запасу виправдано лише у разі, коли його задають на основі великого досвіду застосування аналогічних деталей та конструкцій.

Показники надійності об'єктів поділяють на п'ять груп: безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність, збереженість, а також комплексні показники.

Показники безвідмовності: ймовірність безвідмовної роботи $p(t)$; гамма-відсоткове напруження до відмови T ; середнє напруження до відмови $t_{сер}$; середнє напруження на відмову $T_{сер}$; інтенсивність відмов $\lambda(t)$; параметр потоку відмов $\omega(t)$, середній параметр потоку

відмов $\omega_{сер}$ – характеризують спроможність об'єкта безперервно зберігати працездатний стан протягом заданого часу чи напруження.

Показники довговічності: гамма-відсотковий ресурс $T_{p,\gamma}$, середній ресурс $T_{с.р}$, гамма-відсотковий термін служби $T_{сл,\gamma}$, середній термін служби $T_{сл}$ – характеризують спроможність обладнання зберігати працездатність до настання граничного стану за виконання умов системи технічного обслуговування та ремонтів (ТО і Р).

Показники ремонтпридатності: імовірність відновлення $P(t_e)$, гамма-відсотковий час відновлення $T_{e,\gamma}$, середній час відновлення T_e , інтенсивність і середня трудомісткість відновлення, – характеризують пристосованість обладнання до підтримання та відновлення працездатного стану з використанням системи ТО і Р.

Показники збереженості: гамма-відсотковий термін зберігання $T_{з,\gamma}$, середній термін зберігання, – характеризують спроможність обладнання виконувати задані функції після зберігання та транспортування.

Комплексні показники мають у своєму складі коефіцієнт готовності K_z , коефіцієнт оперативної готовності $K_{o.z}$, коефіцієнт технічного використання $K_{т.в}$ та коефіцієнт збереження ефективності $K_{з.е}$.

Слід зазначити, що існують показники, які в повній мірі відображають безвідмовну роботу, надійність конкретного виду обладнання, а решту показників використовують для більш детальної її оцінки. Визначення базових показників надійності під час проектування певного виду металургійного обладнання значно здешевлює подальші розрахунки та дозволяє оптимізувати параметри обладнання за певними критеріями. Вибір та нормування показників надійності виконують після класифікації обладнання за певними критеріями.

Найбільш розгорнута система класифікацій об'єктів для оцінки їх надійності у всіх галузях має такі ознаки [2]: призначення; можливий стан за працездатністю в умовах експлуатації; режим функціонування; наслідки відмови; можливість відновлення; характер процесів, що визначають перехід до граничного стану; можливість відновлення технічного ресурсу; можливість технічного обслуговування та контролю перед застосуванням; наявність у складі об'єкта обчислювальної техніки.

Досить розгалужений перелік ознак за якими потрібно виконувати класифікацію обладнання призводить до ускладнення вибору базових показників надійності.

Для визначення домінуючих показників надійності у роботі [8] пропонують здійснювати зарахування машини та обладнання до однієї з трьох груп за типом, циклічністю та режимом роботи, а також за економічними факторами. Номенклатуру показників надійності вибирають

після аналізу впливу на ефективність функціонування об'єкту економічних втрат від простоїв.

Класифікацію металургійного обладнання для вибору номенклатури параметрів надійності здійснюють за чотирма ознаками (табл. 1). Перша ознака класифікує об'єкти за ремонтпридатністю, друга ознака – за критерієм обмеження тривалості експлуатації; третя ознака – за режимом використання; четверта – за домінуючим фактором під час оцінки наслідків відмови [11].

Таблиця 1 – Визначення шифру об'єктів за спільністю чинників, що впливають на вибір номенклатури показників надійності

Визначення класу об'єкту	Ознака розподілу на підкласи	Номер та визначення підкласу об'єкту	Ознака розподілу на групи	Номер та визначення підгрупи
Фактори конструктивного вирішення	Ремонтпридатність	1 - неремонтовні; 2 - ремонтні		
Неремонтовні об'єкти				
Фактори характеру та режиму використання за призначенням	Обмеження тривалості експлуатації	1 - до відмови; 2 - до відмови або досягнення граничного стану; 3 - до відмови або закінчення виконання необхідних функцій.	Часовий режим використання за призначенням	1 - безперервний; 2 - циклічно регулярний; 3 - циклічно нерегулярний
Ремонтовні об'єкти				
		1 - до першої відмови; 2 - до першої відмови або до досягнення граничного стану; 3 - до відмови або закінчення виконання необхідних функцій; 4 - до досягнення граничного стану; 5 - до граничного стану в «режимі очікування» або відмови або закінчення виконання необхідних функцій у «режимі роботи»		
Неремонтовні об'єкти				
Фактори наслідків відмови	Домінуючий фактор за оцінки наслідків відмов	1 - факт відмови; 2 - факт виконання та невиконання об'єктів заданих йому функцій у заданому обсязі		
Ремонтовні об'єкти				
		1 - наявність відмови незалежно від тривалості простою; 2 - факт виконання або невиконання об'єктом заданих функцій у заданому обсязі; 3 - факт вимушеного простою; 4 - наявність відмови та вимушений простій; 5 - факт виконання або невиконання об'єктом заданих функцій у заданому обсязі за довільного моменту початку «режиму роботи»		

Згідно з вибраними ознаками складають шифр об'єкту, який слугує для остаточного ви-

значення базових показників надійності обладнання (табл. 2).

Таблиця 2 – Вибір показника надійності за шифром об'єкта

Шифр об'єкту	Базовий показник надійності
1111; 1121; 1131; 2111; 2121; 2131	$t_{сер}$
1211; 2211	$t_{сер}$
1221; 1231; 2221; 2231	T_p (або $T_p; T_{cl}$)
1222; 1232; 2222; 2232; 2422; 2432	$p(t), T_p$ (або $T_p; T_{cl}$)
1312; 2312	$p(t)$
2411	$\omega(t)$ (або T)
2421; 2431	T_p (або $T_p; T_{cl}$)
2413; 2423	$K_{м.в}, T_p$ (або $T_p; T_{cl}$)
2433	K_z, T_p (або $T_p; T_{cl}$)
2414; 2424	$K_{м.в}, \omega(t)$ (або T); T_p (або $T_p; T_{cl}$)
2434; 2415; 2515	$K_z, \omega(t)$ (або T); T_p (або $T_p; T_{cl}$)
2425; 2435; 2525; 2535	$K_{о.з}, T_p$ (або $T_p; T_{cl}$)

Наведені вище методики створили основу наукового підходу до нормування показників надійності. Подальші дослідження призвели до створення низки методик, які використовують в окремих галузях [11-13].

Найбільш поширеною є узагальнена методика вибору показників надійності, що наведена у роботі [12], де дослідження виконують за наступними етапами:

- збирання відомостей про систему, до якої входить об'єкт, що досліджують, послідовний аналіз чинників, які впливають на вибирання показників надійності;
- встановлення призначення об'єкту, при цьому всі об'єкти поділять на три групи:
 - об'єкти, що призначено для роботи у системах, ефективність яких має бути оціненою економічними показниками;
 - об'єкти, функціонування яких має бути пов'язаним із забезпеченням безпеки;
 - об'єкти, для яких не можливо зазначити призначення систем, де їх будуть використовувати.

Для об'єктів першого типу всі показники економічної ефективності є функціями від математичного сподівання ξ і η , де ξ – вихідний корисний ефект, а η – витрати на технічне обслуговування й експлуатацію. Значення ξ і η залежать від випадкових величин: напрацювання до відмови T , часу (напрацювання) між від-

мовами $T_{м.в}$, часу відновлення $T_{в}$. Для відновлюваних об'єктів, коли перерви у роботі є допустимими, головними показниками надійності слугують середній час напрацювання на відмову $T_{сер}$ та середній час відновлення $T_{сер.в}$ або комплексний показник – коефіцієнт готовності K_z , що залежить від двох попередніх показників.

За призначенням показників надійності систем другого типу (виходячи з умов безпеки) слід виділити головні чинники, які впливають на безпеку. Відповідні математичні моделі повинні враховувати випадкові процеси, які відбуваються за появи відмов.

Для третьої групи об'єктів, де не можливо вказати тип системи, доцільно призначати одну повну характеристику надійності:

- для неремонтовних об'єктів функцію надійності $P(t)$ або щільність розподілу напрацювання до відмови, або інтенсивність відмов $\lambda(t)$;

– для ремонтних об'єктів, яких не відновлюють у процесі застосування, розраховують або ймовірність безвідмовної роботи $P(t_1 t_2)$ на проміжку часу $(t_1 \dots t_2)$, або параметр потоку відмов $\omega(t)$;

– для ремонтних об'єктів, що відновлюють у процесі застосування, показники надійності розраховують за календарним часом.

На практиці, якщо є відомим або передбаче-

ним певний тип закону розподілу часу безвідмовної роботи (напрацювання до відмови), доцільно задавати:

– за експоненціальним законом розподілу напрацювання до відмови один з нижче наведених показників – інтенсивність відмов λ_i ; середнє напрацювання до відмови $T_{сер}$; ймовірність безвідмовної роботи $P(\Delta t)$ на заданому інтервалі часу Δt ;

– за двопараметричним законом розподілу напрацювання до відмови або між відмовами використовують два показники, наприклад, за нормальним розподілом $T_{сер}$ і ΔT , або $P(t_1)$ та $P(t_2)$, тобто значення ймовірностей безвідмов-

ної роботи за двох значень інтервалу часу роботи $(0, t_1)$ та $(0, t_2)$;

– за невідомим типом закону розподілу рекомендують задавати показники $p(t)$ або $\lambda(t)$; параметр потоку відмов (t) ; інші показники надійності не менше ніж за трьох значень заданого напрацювання (часу).

Висновки. Проектування металургійного обладнання доцільно починати з визначення базових показників теоретичної надійності, які визначають за ознаками номенклатури об'єкту проектування та законом розподілу напрацювання до відмови, що передбачають.

Бібліографічний список

1. **ГОСТ 27.001-95.** Надежность в технике. Основные положения [Текст] – М. : Стандартинформ, 2009. – 6 с.
2. **ГОСТ 27.002-89.** Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения [Текст] – М. : Изд-во стандартов, 1990. – 32 с.
3. **ГОСТ 27.003-90.** Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности [Текст] – М. : Стандартинформ, 2007. – 18 с.
4. www.iec.ch IEC 62347:2006. Guidance on system dependability specifications (дата обращения 28.12.2015).
5. **Фатеева, Н. Н.** О распределении нормируемых показателей надежности в системах гидропневмоагрегатов на этапе их синтеза [Текст] / Н. Н. Фатеева, А. Н. Фатеев / Энергетические и теплотехнические процессы и оборудование. – 2010. – № 3. – С.69-74. – Библиогр.: 74.
6. **Севуш, В. Я.** Надежность, ремонт и монтаж металлургических машин [Текст] / В. Я. Севуш. – 3-е изд. перераб. и доп. – Киев : УМК ВО, 1992. – 368 с. – Библиогр.: с 366-368. – 150 экз. – ISBN 5-7763-1336-8.
7. **Плахтин, В. Д.** Надежность, ремонт и монтаж металлургических машин [Текст] : учебник / В. Д. Плахтин. – М. : Металлургия, 1983. – 415 с. – Библиогр.: с 410. – 6700 экз.
8. **Хазов, Б. Ф.** Справочник по расчету надежности машин на стадии проектирования [Текст] / Б. Ф. Хазов, Б. А. Дидусев. – М. : Машиностроение, 1986. – 224 с. – Библиогр.: с 219-221. – 150700 экз.
9. **Винников, Г. В.** Проектирование и надежность [Текст] / Г. В. Винников. – М. : Знание, 1971. – 96 с. – Библиогр. : с. 95. – 150 экз.
10. **Гребенник, В. М.** Надежность металлургического оборудования (оценка эксплуатационной надежности и долговечности) [Текст] : Справочник / В. М. Гребенник, В. К. Цапо. – 2 изд. перераб. и доп. – М. : Металлургия, 1989. – 590 с. – Библиогр. с. 579-587. – 3680 экз.
11. **Болотин, В. В.** Прогнозирование ресурса машин и конструкций [Текст] / В. В. Болотин. – М. : Машиностроение, 1984. – 312 с. – Библиогр. с. 305-310. – 11000 экз.
12. **Васілевський, О. М.** Нормування показників надійності технічних засобів [Текст] / О. М. Васілевський, В. О. Поджаренко. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 129 с. – Библиогр. с. 126-128. – 300 прим.
13. **Притыкин, Д. П.** Надежность, ремонт и монтаж металлургического оборудования [Текст] : учебник / Д. П. Притыкин. – М. : Металлургия, 1985. – 368 с. – Библиогр. с. 365. – 4900 экз.

Стаття надійшла до редакції 26.10.2014 р.
Рецензент Г.П. Малишев

Текст даної статті знаходиться на сайті ЗДІА в розділі Наука
<http://www.zgia.zp.ua>