

технологических процессов и оборудования: Автореф. дис. на соискание уч. степени доктора техн. наук / Е.А. Бойко. – Красноярск, 2008. – 44 с.

3. Гелетуха Г.Г. Перспективи використання відходів сільського господарства для виробництва енергії в Україні / Г.Г. Гелетуха, Т.А. Железна. // Аналітична записка БАУ №7. – К, 2014. – 31 с. [Електронне видання]. – Режим доступу: <http://www.uabio.org/img/files/docs/Position-paper-uabio-7-ru.pdf>

4. Канторович Б.В. Основы теории горения и газификации твердого топлива / Б.В. Канторович. – М.: Metallurgizdat, 1960. – 355 с.

5. Льюис Б. Горение, пламя и взрывы в газах / Б. Льюис., Г. Эльбе. . – М.: Мир, 1968. – 592 с.

6. Математическая теория горения и взрыва / [Зельдович Я.Б., Баренблатт Г.И., Либрович В.Б., Махвиладзе Г.М]. – М.: Наука, 1980. – 478 с.

7. Хзмалян Д..М. Теория горения и топочные устройства / Д..М. Хзмалян, Я.А. Каган. – М.: Энергия, 1976. – 486 с.

Проанализированы характеристики процесса горения соломы в зависимости от ее влажности. Показано, что при увеличении влажности биомассы характеристики процесса горения существенно ухудшаются.

Биомасса, солома, температура горения, теплота сгорания, влажность топлива.

The characteristics of the combustion process of straw depending on its moisture content are analyzed. It is shown that in the case of increasing the fuel moisture characteristics of biomass combustion process become significantly worse.

Biomass, straw, combustion temperature, combustion heat, fuel moisture.

УДК 621.314

ПЛАНУВАННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНІКИ ЗАПАСНИМИ ЧАСТИНАМИ

О.І. Щепотьєв, кандидат технічних наук

А.В. Жильцов, доктор технічних наук

В.В. Васюк, аспірант*

Розроблено методику планування і забезпечення запасними частинами при експлуатації технічних об'єктів.

Надійність, планування, експлуатація, показники ефективності, резервування.

Успішне вирішення задач щодо забезпечення своєчасного відновлення техніки можливе лише за умову своєчасної заміни агрегатів, які відмовили або виробили ресурс у процесі експлуатації.

* Науковий керівник – доктор технічних наук А.В. Жильцов.

© О.І. Щепотьєв, А.В. Жильцов, В.В. Васюк, 2014

Для забезпечення своєчасної заміни на складах різних рівнів створюються комплекси запасних частин (ЗЧ).

Номенклатура ЗЧ повинна відображати характер типових відмов, які виникають в об'єкті, а їх кількість відповідати потребі, виходячи з термінів служби і методів ремонту. У зв'язку з цим конструкція об'єкта повинна відповідати вимогам швидкознімності і швидкозамінності агрегатів. У різних галузях машинобудування створюються спеціалізовані підприємства для виготовлення ЗЧ, причому це виробництво займає звичайно суттєву частину у загальному обсязі продукції.

Планування випуску ЗЧ є дуже складною задачею.

По-перше, встановлення номенклатури ЗЧ на стадії проектування або для нової машини за відсутності досвіду її експлуатації не завжди можливо. Відсутність даних щодо швидкості зношування і термінів служби, недостатня інформація про експлуатацію прототипів, або аналогічних виробів, неточність методів розрахунку термінів служби – все це призводить до того, що конструктор має можливість встановити перелік деталей, що швидко зношуються, лише з грубим наближенням.

По-друге, при визначенні потреб у ЗЧ на весь період експлуатації машини не завжди відомі усі спектри передбачуваних експлуатаційних навантажень і умов роботи та ремонту машин.

Кількість необхідних ЗЧ при експлуатації парку машин можна оцінити двома основними способами:

- на базі статистичних даних із сфери експлуатації прототипів, що дає достатньо точну картину лише для стійких у конструктивному відношенні моделей машин і при постійному аналізі тенденції у потребі ЗЧ;
- методами розрахунку у поєднанні з статистичним моделюванням.

Технічне обслуговування і ремонт техніки вимагають, з одного боку, децентралізації постачання запасних частин, з другого – підтримки на складах експлуатаційних підприємств рівня запасів агрегатів не нижче доцільної норми, що забезпечує потрібну готовність. Таким чином, важливість ЗЧ визначається необхідністю забезпечення готовності техніки, а також можливістю зниження економічних витрат у процесі її експлуатації.

Мета досліджень – розробка методики планування і забезпечення запасними частинами при експлуатації технічних об'єктів.

Матеріали та методика досліджень. Задача забезпечення вирішується достатньо складною ешелонованою системою з взаємопов'язаними ланками і різноманітними функціями. Модель системи забезпечення ЗЧ підприємств, у яких здійснюється експлуатація техніки, може бути подана у вигляді многорівневої, ієрархічної системи з простим підпорядкуванням $\{S\}$.

Під ефективністю функціонування розуміють здатність системи забезпечення задовольняти потреби експлуатаційних підприємств (ЕП), які забезпечують об'єкти техніки запасними частинами. Найчастіше як показники ефективності застосовуються такі:

- допустимий час простою об'єктів постачання в непрацездатному стані через відсутність запасних частин;

- значення комплексних показників надійності у вигляді коефіцієнта оперативної готовності чи коефіцієнта технічного використання техніки та ін.

Основну вимогу ставлять до оцінки якості рішення задачі забезпечення функції ризику $F\{Q, Q^*\}$, яка визначається співвідношенням між дійсною Q і запланованою Q^* вимогами на запчастини. Критерій оптимальності для системи забезпечення можна подати у вигляді мінімуму математичного очікування середнього ризику [2]

$$M[F\{Q, Q^*\}] = \min.$$

Конкретна форма цього критерію може бути визначена, якщо задані штраф за дефіцит $P(q)$ при незадоволенні попиту на q одиниць предметів постачання і штраф $h(q)$ за збереження за плановий період q одиниць, які залишилися після задоволення усіх замовлень.

При цьому функція середнього ризику має вигляд [1]:

$$F(x+z) = \begin{cases} \int_0^{x+z} h(x+z-v)\gamma(v) + \int_{x+z}^{\infty} (v-x-z)\gamma(v)dv, & \text{при } x+z > 0 \\ \int_0^{\infty} P(v-x-z)dv, & \text{при } x+z \leq 0, \end{cases} \quad (1)$$

де x – кількість запчастин, які зберігаються на складі з початку планового періоду; z – кількість запчастин, які надходять на склад за плановий період; $\gamma(v)$ – щільність розподілу ймовірностей v замовлень ЗЧ.

Вплив системи забезпечення ЗЧ на коефіцієнт готовності об'єктів, які обслуговуються, характеризує середній час простою об'єктів, що ремонтуються через відсутність ЗЧ.

Основним показником оцінки ефективності системи забезпечення є ймовірність того, що простоїв N об'єктів через систему забезпечення на інтервалі T не буде:

$$P_0(T) = P\{\tau=0 / N, T\} \quad \{\tau=0 / N, T\}. \quad (2)$$

Методика планування суттєво залежить від структури системи. Розглянемо випадок, коли у системі забезпечення склади є тільки на об'єктах нижнього рівня, тобто при кожному ЕП. В органі верхнього рівня S_0 складу немає, він здійснює тільки функції планування та управління.

Постачання запчастин на склад ЕП здійснюється на початку планового періоду T . Задача зводиться до формування замовлення на потрібну кількість запчастин і організації постачання запчастин зі складу вищестоящої організації чи від промисловості на склади ЕП на початку планового періоду. Відновлення зводиться до заміни елемента (об'єкта), що відмовив, новим, який отримано зі складу. Тому модель ЕП буде подана ланцюгом з N одиночно з'єднаних однакових «робочих» елементів із функцією надійності $P(t)$. Ці елементи знаходяться у робочому режимі, а можливі їх відмови є незалежними.

Відповідно склад при ЕП уявляється у вигляді K таких елементів, які знаходяться у режимі зберігання. Кожен із цих елементів може миттєво замінити будь-який із робочих у випадку його відмови. Відмова цієї системи буде тільки у тому випадку, якщо втрачений запас, і після цього відмовив один із робочих елементів, тобто відмова системи відповідає $K + 1$ і більш відмов елементів. Необхідно, регулюючи запас K , забезпечити ймовірність не появи відмов елементів у плановому періоді T не менше заданої P_3 :

$$P(T) \geq P_3.$$

Неважко бачити, що ця задача аналогічна задачі про оцінку функції надійності системи з ненавантаженим ковзним резервом. Для одержання її рішення достатньо конкретизувати функцію надійності $P(T)$ і будемо вважати її експоненціальною на інтервалі планування T :

$$P(T) = \exp(-\lambda t),$$

де λ – інтенсивність відмов.

$$P(t) = \exp(-N\lambda t) \sum_{i=0}^N \frac{(N\lambda t)^i}{i!}. \quad (3)$$

Тому умова безвідмовності системи забезпечення має вигляд

$$P(t) = \exp(-N\lambda t) \sum_{i=0}^N \frac{(N\lambda t)^i}{i!} \geq P_3(T),$$

де $P(t)$ – ймовірність забезпечення запчастинами на інтервалі T ; $P_3(T)$ – допустимий рівень ймовірності забезпечення, який визначається вищою інстанцією.

Для визначення мінімальної кількості запчастин K^* після перетворень отримуємо

$$\sum_{i=0}^K \frac{(N\lambda t)^i}{i!} \geq P_3 / \exp(-N\lambda t). \quad (4)$$

Підставляючи значення $i = 0, 1, 2, \dots$, знайдемо таке $i = K^*$, при якому рівняння (4) уперше задовольняється. Значення K^* означає оптимальну кількість запчастин, котрі необхідно поставити до ЕП на плановий період.

Наприклад, необхідно визначити кількість запасних елементів N для того, щоб ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$ системи з одного і запасних елементів з інтенсивністю відмов $\lambda = 0,5$ 1/год. була рівною 0,95 при $t = 8$ год.

Рішення. Визначаємо $a = N\lambda t = 1 \cdot 0,5 \cdot 8 = 4$. Зі стопчика табл. 8 [3], який відповідає $a = 4$, підсумовуємо усі ймовірності, починаючи з останньої доти, поки сума не становитиме $1 - 0,95 = 0,05$.

Отримуємо:

$$0,0001 + 0,0002 + 0,0006 + 0,0019 + 0,0053 + 0,0132 = 0,0213 < 0,05.$$

Таким чином, вибираємо кількість запасних частин $N = 6$. При $N = 7$ підсумовування дає число більше, ніж 0,05.

Можна й іншим шляхом спланувати кількість ЗЧ на плановий період за таких умов:

$N = 50$ – кількість об'єктів в ЕП;

$P_3 = 0,9$ – задана припустима ймовірність забезпечення;

$T = 13000$ год – напрацювання ЕП, встановлене на плановий період.

При цьому інтенсивність відмов ЗЧ цього типу за попередній період експлуатації становитиме:

$$\lambda = 1,03 \cdot 10^{-4} \text{ 1/год.}$$

Рішення. Визначимо величину змінної a :

$$a = N\lambda t = 50 \cdot 1,03 \cdot 10^{-4} \cdot 13000 = 66,95 = 67.$$

У цьому разі маємо вираз:

$$\sum_{i=0}^K \frac{67^i}{i!} = \frac{0,9}{\exp(-67)}.$$

Підставляючи у ліву частину цього виразу значення $i = 0, 1, 2, \dots$, отримуємо таке $i = K$, при якому рівняння задовольняється. В результаті одержимо величину $K = 78$.

Для випадку, коли об'єкт складається з r однакових елементів, функція надійності описується виразом:

$$P_0(t) = \exp\{-r\lambda t\},$$

а ймовірність безвідмовної роботи ЕП, що включає N об'єктів, які експлуатуються, і K запасних частин, виразом:

$$P(t) = \exp[-Nr\lambda T] \sum_{i=0}^K \frac{(Nr\lambda t)^i}{i!}. \quad (5)$$

Якщо планування запчастин здійснюється для декількох ЄП $_m$, $\bar{m} = \overline{1, M}$ при заданих для кожного з підприємств вимогах щодо ймовірності забезпечення $P_{3m}, \bar{m} = \overline{1, M}$, то мінімально необхідну кількість K_m^* запчастин для конктерного ЕП $_m$ слід визначати виразом:

$$\exp(-N_m \lambda T) \sum_{i=0}^{K_m} \frac{(N_m \lambda t)^i}{i!} \geq P_{3m}.$$

Якщо підсумувати K_m^* для усіх ЕП, знайдемо потрібну кількість запчастин для всіх ЕП $_m$, $\bar{m} = \overline{1, M}$ на плановий період постачання запчастин

$$K_m^* = \sum_{m=1}^M K_m^*.$$

У випадку, коли відсутні локальні склади для кожного ЕП, постачання запчастин для заміни елементів, які відмовили, здійснюється безпосередньо з єдиного центрального складу, який знаходиться на другому рівні. В цьому випадку можна вважати, що всі M підприємства об'єднуються в загальне підприємство з кількістю робочих елементів

$$N_{\Sigma} = \sum_{m=1}^M N_m.$$

Для об'єднаного ЕП мінімально припустимий рівень ймовірності забезпечення може бути визначений виразом:

$$P_{\partial\Sigma} = \frac{\sum_{m=1}^M N_m P_{zm}}{\sum_{m=1}^M N_m}, \quad (6)$$

де P_{zm} – задана ймовірність забезпечення m -го підприємства, $m = \overline{1, M}$.

Якісне порівняння двох наведених стратегій (рисунок) можна провести на базі аналогії моделей, що розглядаються, з моделями теорії резервування.

У цьому випадку перехід до другої (з центральним складом) структури забезпечення повністю аналогічний збільшенню масштабу (кратності) резервування ненавантаженого ковзного резервування. Тому справедливо співвідношення

$$K_M = \sum_{i=1}^M K_m^* \succ K_{\Sigma}^*,$$

де K_{Σ}^* – потрібна кількість запчастин для об'єднаного ЕП.

Аналіз отриманих залежностей показує, що система забезпечення з центральним складом дає суттєву економію щодо кількості необхідних запчастин, причому ця економія значно зростає з підвищенням вимог щодо ймовірності забезпечення.

У випадку постачань із складів нижчого рівня необхідно забезпечити разову максимальну за обсягом поставку у всі ЕП на весь плановий період. Тому витрати на купівлю запчастин у цьому випадку є максимальними, а на транспортування – мінімальними.

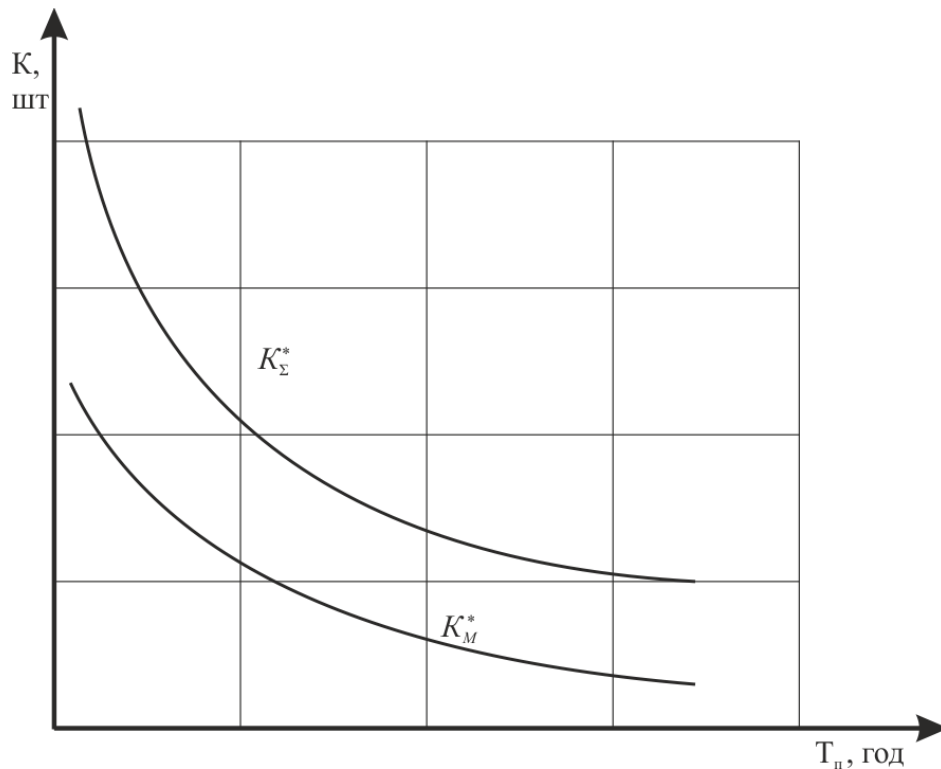
У випадку безпосередніх постачань з центрального складу витрати на купівлю запчастин є мінімальними, але в значній мірі зростають транспортні витрати.

Процес подібних розрахунків є дуже трудомістким. Для спрощення процедури цих розрахунків застосовують заздалегідь розроблені таблиці або номограми. Крім того, використовують спрощений метод визначення кількості запасних частин, при якому середня норма витрат запасних частин на один об'єкт у рік (8760 год.) визначається з виразу:

$$n_{зсп} = \frac{8760 K_{\epsilon}}{t_{псп}}$$

де K_{ϵ} – коефіцієнт використання об'єкта; $t_{псп}$ – середній ресурс агрегату.

Звичайно використовується заплановане сумарне напрацювання протягом року t_{Σ} .



Залежність кількості запчастин від часу простою $T_{п}$.

Тоді

$$n_{зсп} = \frac{t_{\Sigma}}{t_{рсп}}$$

Для підтримання надійності систем кількість запасних частин залежно від терміну експлуатації змінюється і може бути визначена за емпіричною формулою [4]:

$$n_{зм} = \frac{n_{зсп} N}{C} (1 - e^{-Bm}),$$

де m – поточний рік експлуатації об'єкта, $m = 1, 2, 3, \dots$; C – коефіцієнт скорочення ремонтного циклу об'єкта, $c = 0,8 \dots 0,9$; B – емпірична величина, яка залежить від $n_{зсп}$.

Для $n_{зсп} = 0,005 \dots 0,095$: $B = 76,315 n_{зсп}^{3,29}$;

для $n_{зсп} = 0,096 \dots 1,0$: $B = 0,38 n_{зсп}^{1,038}$.

Результати досліджень. Приклад 1. Визначити кількість запасних частин для першого ($m=1$) і третього ($m=3$) років експлуатації $N = 40$ об'єктів при $n_{зсп} = 0,5$; $C = 0,8$.

Рішення. Для першого року експлуатації:

$$n_{з1} = \frac{0,5 \cdot 40}{0,8} (1 - e^{-0,38 \cdot 0,5^{-1,038} \cdot 1}) = 4,2.$$

Необхідно прийняти $n_{з1} = 5$.

Для третього року експлуатації:

$$n_{33} = \frac{0,5 \cdot 40}{0,8} (1 - e^{-0,38 \cdot 0,5^{-1,038} \cdot 3}) = 10,65 \approx 11.$$

Приклад 2. Визначити мінімальну кількість Z_{min} запчастин на складі зворотних клапанів, для яких норма витрат на 100 год роботи об'єктів $N_e = 0,05$. Плановий рік напрацювання $T = 3500$ год, середній час доставки із складів $\tau = 5$ діб, кількість номенклатур $M = 200$, коефіцієнт готовності запасів складу $K = 0,8$.

Рішення. Визначаємо середні витрати зворотних клапанів за рік:

$$a = 0,01 N_e T = 0,01 \cdot 0,05 \cdot 3500 = 1,75 \approx 2 \text{ од/рік.}$$

Зі спеціальної таблиці при $a = 2$ і $\tau = 5$ для $K = 0,8$ визначаємо $Z_{min} = 1$.

Таким чином, використовувати стратегію забезпечення з центральним складом доцільно тільки для важливих об'єктів, що дорого коштують, і об'єктів, у яких рідко виникають відмови, коли витрати на транспортування цілком компенсуються економією на купівлю запчастин.

Висновки

Використання наведених методик дозволяє визначити необхідну кількість запасних частин, що обумовить виключення можливих простоїв технічних об'єктів через відсутність запасних частин. Таким чином, вирішується задача забезпечення заданого рівня технічної готовності об'єктів та мінімізації витрат на їх експлуатацію.

Список літератури

1. Голушко И.М. Основы моделирования и автоматизации управления тылом / И.М. Голушко, Н.В. Варламов. – М.: Воениздат, 1982. – 237 с.
2. Вентцель Е.С. Исследование операций / Е.С. Вентцель. – М.: Советское радио, 1972. – 552 с.
3. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
4. Мушик Э. Методы принятия технических решений / Э. Мушик, П. Мюллер. – М.: Мир, 1990. – 206 с.

Разработана методика планирования и обеспечения запасными частями при эксплуатации технических объектов.

Надежность, планирование, эксплуатация, показатели эффективности, резервирование.

Developed a method of planning and provision of spare parts in the operation of technical facilities.

Reliability, planning, operation, performance, redundancy.