

Особливості організації роботи фронтальних навантажувачів на будівельному майданчику

Розглянуто питання організації ефективної роботи фронтальних навантажувачів з точки зору забезпечення їх готовності до виконання термінових робіт на будівельному майданчику.
модуль, експлуатація, будівельний майданчик, будівельні машини

Одним із перспективних шляхів подальшого удосконалення будівельної техніки є використання машин модульного типу. Прикладом такого типу агрегатів може служити розроблена на кафедрі будівельних та дорожніх машин Харківського національного автомобільно-дорожнього університету малогабаритна машина на базі комплектуючих колісного самохідного шасі Т-16МГ. Машина складається з двох модулів: енергетичного і технологічного. Обидва модулі одноосьові. Енергетичний модуль містить у собі двигун, трансмісію, ходове обладнання, систему керування, кабіну оператора. Технологічний модуль призначений для виконання визначеного типу робіт і складається з металоконструкції, ходового обладнання, робочого обладнання й окремих елементів системи керування.

Конструктивна концепція двомодульної машини припускає періодичну зміну технологічних модулів при постійному енергетичному модулі. Це дозволяє більш ефективно використовувати машини, обладнані робочими органами для виконання великої кількості різноманітних робіт невеликого обсягу на будівельному майданчику, що забезпечує більш ефективну роботу машин.

Експлуатація двомодульних машин приводить до формування своєрідного режиму навантаження окремих її елементів:

- технологічні модулі під час експлуатації сприймають вплив характерних, властивих тільки їм, режимів зовнішнього навантаження, або знаходяться на зберіганні;
- енергетичні модулі під час експлуатації сприймають різні режими зовнішнього навантаження, що відповідають типу технологічного модуля, що приєднаний. Зміна режимів навантаження відбувається довільно, у залежності від черговості замовлень, що надходять, на виконання робіт.

У практиці експлуатації техніки, зокрема в будівництві, почасти виникають ситуації, коли виконання заданих обсягів робіт є обмеженим за часом. У цьому випадку стає актуальною проблема вибору мінімально необхідної кількості модулів, що повинна мати будівельна організація.

Мінімальна кількість технологічних модулів даного типу визначається такою залежністю:

$$n_{TMi} = \frac{V_i}{\Pi_i t_i}, \quad (1)$$

де V_i - середньостатистичний обсяг i -го виду робіт;

Π_i - експлуатаційна продуктивність технологічного модуля відповідної конструктивної конфігурації;

t_i - резерв часу, протягом якого повинна бути виконана робота i -го виду.

часу не всі 100 % енергетичних модулів зможуть приступити до *i*-го виду роботи, а тільки їхня частина. У загальному випадку, для забезпечення виконання даного обсягу робіт у жорстко встановлений термін необхідно мати кількість енергетичних модулів, що перевищує число технологічних.

Задачу визначення потреби енергетичних модулів в остаточному підсумку можна сформулювати в такий спосіб: скільки необхідно мати таких агрегатів для того, щоб гарантовано виконати роботу обсягом V_i у заданий інтервал часу t_i ? Очевидно, для рішення поставленої задачі необхідно залучити апарат теорії надійності механічних систем.

Розглянемо спрощену модель функціонування малого (за обсягом виконуваних робіт) будівельного господарства. Будемо вважати, що у випадку надходження замовлення на термінове виконання роботи всі інші робочі операції припиняються і машини знімаються для виконання даного термінового замовлення.

Мінімально необхідна кількість енергетичних модулів може бути визначена за залежністю:

$$m = \frac{V_i}{\prod_i t_i} . \quad (2)$$

Оскільки завжди існує імовірність того, що частина енергетичних модулів у даний момент часу будуть перебувати в непрацездатному стані, то, мабуть, їхня кількість в організації повинна бути більшою, ніж потрібно для виконання найбільш ймовірної термінової роботи:

$$n \geq m . \quad (3)$$

Призначимо нормативний рівень ймовірності $[p]$, що визначає ступінь упевненості того, що в будь-який момент часу господарство зможе надати не менш m працездатних машин. У цьому випадку для реального парку машин повинна виконуватися умова:

$$p_{m,n}(t) \geq [p] , \quad (4)$$

де $p_{m,n}(t)$ - імовірність того, що m з n енергетичних модулів, що перебувають в господарстві, у даний момент часу будуть працездатні.

Розрахункова задача ускладнюється через те, що всі n модульних агрегатів можуть працювати в різних умовах, обумовлених, принаймі, типом приєднаного технологічного обладнання. Це значить, що через розходження зовнішніх режимів навантаження кожний із них буде мати свій рівень працездатності. Позначимо через $K_j(t)$ ймовірність перебування в працездатному стані *j*-го енергетичного модуля. З огляду на те, що для всіх машин ці ймовірності є незалежними величинами, у цілому для парку з n енергетичних агрегатів справедлива рівність

$$\begin{aligned} p_{m,n}(t) = & K_1(t)K_2(t)\dots K_m(t)[1 - K_{m+1}(t)]\dots[1 - K_n(t)] + \\ & + K_1(t)[1 - K_2(t)]K_3(t)\dots[1 - K_{n-1}(t)]K_n(t) + \dots + \\ & + [1 - K_1(t)][1 - K_2(t)]\dots[1 - K_m(t)]K_{m+1}(t)\dots K_n(t) \end{aligned} \quad (5)$$

де t - час.

Відзначимо, що як число n є та шукана необхідна кількість енергетичних модулів, що повинна знаходитися в господарстві.

Для визначення ймовірності працездатного стану кожного з енергетичних модулів зручно скористатися теорією Марківських процесів. У цьому випадку процес експлуатації енергетичного модуля з позиції надійності полягає в тому, що об'єкт стрибком переходить із працездатного стану в непрацездатний в результаті відмови у випадковий момент часу, потім об'єкт стрибком переходить з непрацездатного стану в працездатний у результаті

відновлення у випадковий момент часу і т.д. /1/. Даний підхід є досить розповсюдженим у теорії надійності. Відповідно до теоретичних положень, енергетичний модуль може знаходитися тільки в двох станах: працездатному чи непрацездатному. Періоди перебування в технічному обслуговуванні і перерви в роботі з організаційних причин з розгляду виключаються.

Математична модель експлуатації модульного агрегату представляється при цьому як сукупність двох елементарних потоків: потоку відмовлень і потоку відновлень. Для того, щоб одержати рішення задачі в замкнутому аналітичному виді, будемо вважати, що потоки подій для кожної машини мають властивості стаціонарності, відсутності післядії й ординарності. Будемо також вважати, що всі модульні агрегати машинного парку організації працюють у період нормальної експлуатації. Характерною рисою цього періоду є практично постійне значення інтенсивності потоку відмовлень при незмінних умовах експлуатації.

Для розміченого графа станів n енергетичних модулів справедлива така система диференціальних рівнянь:

$$\begin{aligned} \frac{dK_1(t)}{dt} &= \mu_1 k_1(t) - \lambda_1 K_1(t); \\ \frac{dK_2(t)}{dt} &= \mu_2 k_2(t) - \lambda_2 K_2(t); \\ &\vdots \\ \frac{dK_n(t)}{dt} &= \mu_n k_n(t) - \lambda_n K_n(t). \end{aligned} \quad (6)$$

де $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ - інтенсивності потоку відмовлень при експлуатації енергетичних модулів. Якщо енергетичні модулі працюють з однаковими технологічними модулями в однакових умовах, то їх інтенсивності потоку відмовлень збігаються;

$\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$ - інтенсивності потоку відновлень.

Неоднорідні рівняння (6) мають загальне рішення у виді /1,2/

$$\begin{aligned} K_1(t) &= C_1 e^{-(\lambda_1 + \mu_1)t} + \frac{\mu_1}{\lambda_1 + \mu_1}; \\ K_2(t) &= C_2 e^{-(\lambda_2 + \mu_2)t} + \frac{\mu_2}{\lambda_2 + \mu_2}; \\ &\vdots \\ K_n(t) &= C_n e^{-(\lambda_n + \mu_n)t} + \frac{\mu_n}{\lambda_n + \mu_n}, \end{aligned} \quad (7)$$

де C_1, C_2, \dots, C_n - постійні інтегрування.

Інтенсивність потоку відновлень доцільно визначати експериментальним шляхом.

Інтенсивність потоку відмов може бути виражена в аналітичному виді в залежності від імовірності безвідмовної роботи енергетичного модуля $p(t)$

$$\lambda_j = \frac{1}{p_j(t)} \cdot \frac{dp_j(t)}{dt}. \quad (8)$$

В конструкції енергетичного модуля можна виділити кілька окремих структурних одиниць, що під час експлуатації машини сприймають свої характерні режими навантаження. До таких належать:

- двигун внутрішнього згорання;

- трансмісія і ходове обладнання;
- металоконструкція енергетичного модуля;
- привод керування робочим обладнанням.

Оскільки структурна схема представляє собою ряд послідовно з'єднаних структурних елементів, кожний із яких має свою імовірність безвідмовної роботи, то повна імовірність безвідмовної роботи машини буде визначатися за допомогою залежності

$$p_i(t) = p_{i_{\text{дв}}}(t) \cdot p_{i_{\text{тп}}}(t) \cdot p_{i_{\text{м}}}(t) \cdot p_{i_{\text{п}}}(t), \quad (8)$$

де $p_i(t)$ - імовірність безвідмовної роботи двигуна;

$p_{i_{\text{тп}}}(t)$ - імовірність безвідмовної роботи трансмісії і ходового обладнання;

$p_{i_{\text{м}}}(t)$ - імовірність безвідмовної роботи металоконструкції модуля;

$p_{i_{\text{п}}}(t)$ - імовірність безвідмовної роботи привода робочого органа.

Кожен структурний елемент є складальною одиницею, що складається з кінцевого числа деталей. Імовірність безвідмовної роботи такої системи може бути визначена за відомою методикою.

Детальний аналіз структури складального елемента приводить до громіздких розрахункових залежностей. Разом з цим, фахівцями з області надійності [3] показано, що при звичайних значеннях коефіцієнтів варіації ресурсів елементів $v=0,2\dots0,8$ немає необхідності враховувати ті елементи, середній ресурс яких у шість і більше разів перевищує середній ресурс найменш довговічного елемента. Більш того, виявилось, що в багатоелементних системах навіть якщо середні ресурси елементів близькі один до одного, немає необхідності враховувати всі елементи. Зокрема, при коефіцієнтах варіації ресурсу елементів $v \leq 0,4$ можна враховувати не більше п'яти елементів. На практиці це дозволяє виконувати розрахунки тільки для найменш надійних деталей структурного елемента. Такі деталі можуть бути виявлені в результаті проведення випробувань на надійність або розрахунковим шляхом.

Для будівельних машин характерним є складний режим роботи окремих деталей, коли вони сприймають одночасний вплив разових динамічних навантажень, змінних у часі дія робочого навантаження і знос, або різні комбінації зазначених факторів. У загальному випадку для найменш надійних деталей кожного структурного елемента енергетичного модуля справедливі залежності виду

$$p_{i_{\text{д}}}(t) = p_{i_{\text{д}}}^{(1)}(t) \cdot p_{i_{\text{д}}}^{(2)}(t) \cdot p_{i_{\text{д}}}^{(3)}(t) \cdot p_{i_{\text{д}}}^{(4)}(t), \quad (9)$$

де $p_{i_{\text{д}}}^{(1)}(t)$ - імовірність безвідмовної роботи деталі (елемента) за критерієм статичної міцності;

$p_{i_{\text{д}}}^{(2)}(t)$ - імовірність безвідмовної роботи деталі (елемента) за критерієм міцності втомленості;

$p_{i_{\text{д}}}^{(3)}(t)$ - імовірність безвідмовної роботи деталі (елемента) за критерієм зносу;

$p_{i_{\text{д}}}^{(4)}(t)$ - імовірність безвідмовної роботи деталі (елемента) за критеріями впливу причин організаційного характеру.

На сьогодні розроблені досить надійні математичні моделі, що дозволяють розрахувати перераховані імовірності.

На підставі представленої інформації можна запропонувати таку методику розрахунку необхідної кількості енергетичних модулів:

а) на базі експериментальних досліджень і аналізу літературних джерел визначити режими навантаження основних систем енергетичного модуля при роботі з наявними в організації технологічними модулями;

б) розрахувати імовірність безвідмовної роботи енергетичного модуля в сполученні з кожним технологічним модулем;

в) визначити інтенсивності потоку відмов при роботі енергетичного модуля з кожним г) визначити інтенсивності потоку відновлень при роботі енергетичного модуля з кожним з технологічних модулів;

д) задати мінімально можливу кількість енергетичних модулів і скласти план-графік їхньої експлуатації;

е) оцінити за допомогою рівнянь Колмогорова імовірності працездатного стану для кожного енергетичного модуля в заданий момент часу (найбільш ймовірний момент надходження замовлення на термінову роботу);

є) розрахувати імовірність того, що в заданий момент часу організація зможе надати не менш m працездатних машин, і порівняти її з нормативною імовірністю;

ж) якщо розрахункова імовірність нижче нормативної, число енергетичних модулів необхідно збільшити і розрахунки повторити.

Список літератури

1. Брауде В.И., Семенов Л.Н. Надежность подъемно-транспортных машин. - Л.: Машиностроение, 1986. - 183 с.
2. Вентцель А.Д. Курс теории случайных процессов. - М.: Наука, 1975. - 319 с.
3. Решетов Д.Н., Иванов А.С., Фадеев В.З. Надежность машин. - М.: Высшая школа, 1988. - 238 с.

Одержано 01.09.10