

ПРАКТИКА

УДК 629.621.018

И. К. Данилов, д-р техн. наук, И. М. Попова, канд. эконом. наук, ФГБОУ ВО Саратовский государственный технический университет имени Ю. А. Гагарина
E-mail: danilov@sstu.ru

ПРИМЕНЕНИЕ СЕТЕВЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ТРУДОЕМКОСТИ РАБОТ

При проведении оперативного планирования ремонта сложно точно определить трудоемкость работ. На примере двигателя внутреннего сгорания рассматривается возможность планирования трудоемкости ремонта на основе теории многоуровневых иерархических систем и сетей Петри. Обоснована экспоненциальная зависимость доли восстановления ДВС различных групп от трудоемкости работ, которая учитывает, что часть работ по восстановлению может идти одновременно.

Ключевые слова: двигатель, система, планирование, диаграмма Ганта, сеть Петри, экспоненциальная зависимость.

When conducting operational planning of repair of the volume of work is difficult to define precisely. On the example of an internal combustion engine is considered able to plan maintenance based on the complexity of the theory of multilevel hierarchical systems and Petri nets. Proved the exponential dependence of the fraction recovery engine different groups of labor work, which takes into account that part of the remediation can take place simultaneously.

Keywords: engine, system planning, Gantt charts, Petri nets, the exponential dependence.

Двигатель внутреннего сгорания (ДВС) можно рассматривать как систему, состоящую из цилиндропоршневой группы, кривошипно-шатунного механизма, системы питания, смазки (компонентов). Взаимодействие компонентов системы можно описывать в непрерывном времени — дифференциальными уравнениями, в дискретном — уравнениями в конечных разностях и нерегулярном (событийном) времени, когда время отсчитывается лишь в моменты происхождения событий, изменяющих состояние. Последний способ характерен для процесса восстановления работоспособности ДВС, как наиболее экономичный, но и непростой с точки зрения аналитического описания.

В процессе восстановления, моделируемая система представляется совокупностью компонентов, обладающих собственными состояниями. Смена состояний может осуществляться заменой деталей, регулировками или другим изменением внутреннего состояния системы. С точки зрения взаимодействия элементов системы не все их состояния равноправны. Целесообразно выделить среди них три класса состояний: системные, сопряженные, внутренние.

Состояния первого класса существенны для планирования ремонтных циклов ДВС. Это некоторая совокупность сопряженных состояний систем и механизмов ДВС, находящихся под воздействием

внешних факторов — производственных условий восстановления работоспособности. Изменение внутренних состояний системы или механизма ДВС отражается непосредственно на функционировании других систем. Эти состояния важны лишь с точки зрения исследования их технического состояния. Исследуемая система представляет собой совокупность процессов, которая в терминах динамического моделирования может быть описана в виде последовательностей взаимодействия с элементами смежных объектов системы.

Для аналитического описания параллельных процессов восстановления систем ДВС и оценки трудоемкости ремонта введем понятие дискретной диаграммы Ганта [1]. Для этого проведем хронометраж времени, в котором рассматривается трудоемкость при обработке j -й детали компонента ДВС, полагая $t^j = 0, \Delta^j, 2\Delta^j, \dots$. Определим шаг Δ^j как наибольший общий делитель (НОД) целых чисел T_i^j , $i = 1, \dots, r_j$, где r — число единиц оборудования, на которых обрабатывается j -я деталь:

$$\Delta_i^j = \text{НОД}(T_1^j, \dots, T_{r_j}^j). \quad (1)$$

Тогда m_i^j — время обработки j -й детали на i -й единице оборудования, выраженное в единицах $\bar{m}_i^j = T_i^j / \Delta_i^j$.

Для связи временных шкал t_j определим шаг дискретизации Δ , общий для всех r деталей:

$$\Delta_i^j = \text{НОД}(\Delta^1, \dots, \Delta^r). \quad (2)$$

Соответственно $m_i^j = T_i^j / \Delta_i^j$ есть длительность обработки j -й детали на i -й единице оборудования, выраженная в реальном времени системы. В каждый момент времени k компонент ДВС по отношению к j -й детали находится в некотором состоянии $x_i^j(n)$. Это состояние для всех компонент ДВС в k -й момент времени всех единиц оборудования системы, участвующих в восстановлении ДВС [2]:

$$x^j(n) = \{x_1^j(n), \dots, x_r^j(n)\}, \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (3)$$

Для моделирования необходимо осуществить "развертку" во времени векторов y_i^j , используя $x_i^j(n)$ в качестве внутренних состояний системы. Используя динамические циклические модели для генерации последовательности состояний, представим состояние элемента системы в момент времени n в виде:

$$x_i^j(n) = \exp(\pi n i / 2), \quad n = 0, 1, 2, \dots, \quad \text{где } i = \sqrt{-1}. \quad (4)$$

С учетом обработки на i -й единице оборудования j -й детали компонента ДВС с помощью введенного выше числа m_i^j и времени ожидания a_i^j состояние $x_i^j(n)$ можно представить в виде [3]:

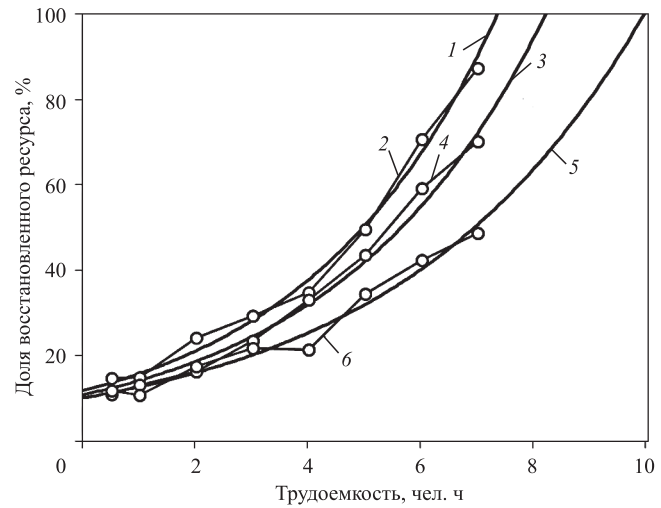
$$x_i^j(n) = c_i^j \exp(2\pi i(n - a_i^j)/m_i^j) + a_i^j, \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (5)$$

Учет параллельности процесса ремонта позволил обосновать экспоненциальный характер зависимости доли восстановления ДВС от трудоемкости технических воздействий:

$$X_i^j(n) = C_i^j e^{\frac{2\pi i(n - a_i^j) + a_i^j}{m_i^j}}, \quad (6)$$

где $X_i^j(n)$ — доля восстановления конкретного ДВС в момент времени n ; C_i^j — остаточный ресурс ДВС перед предупредительным ремонтом (ПР); m_i^j — время восстановления j -й детали на i -й единице оборудования; a_i^j — время ожидания обработки j -й детали на i -й единице оборудования; i — число единиц оборудования для восстановления конкретного ДВС.

Для двигателей трех групп, приведенных на рисунке, определены коэффициенты и параметры



Зависимость доли восстановления ресурса ДВС при ПР от трудоемкости:

1 — новые ДВС — 25 ед. ($X = 11,87e^{0,29a}$, $R^2 = 0,93$); 2, 4, 6 — ломаные линии результатов экспериментальных исследований, по которым аппроксимировали приведенные экспоненциальные зависимости; 3 — ДВС после ПР — 22 ед. ($X = 10,91e^{0,27a}$, $R^2 = 0,91$); 5 — ДВС после КР — 21 ед. ($X = 10,14e^{0,23a}$, $R^2 = 0,96$)

экспоненциальных зависимостей. При ремонте систем ДВС трудоемкость должна определяться не алгебраической суммой трудоемкостей каждой из них, а экспоненциальной зависимостью.

Таким образом, исследование вопросов, связанных с системной аналитической оценкой технических обслуживаний и ремонта является важным шагом в планировании уровня нормо-часов ремонта для станций технического обслуживания (СТО) и автотранспортных предприятий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Виноградов А. Н.** Повышение качества подшипников на основе формирования рациональных физико-механических свойств контактных поверхностных слоев. Дисс. ... д-ра техн. наук. Саратов, 2008.
2. **Денисов А. С., Данилов И. К.** Исследование режима диагностирования кривошипно-шатунной группы дизельных двигателей по толщине масляного слоя. Вестник Саратовского государственного технического университета. 2003. № 1. С. 71—75.
3. **Гребенников А. С.** Диагностирование автотракторных двигателей динамическим методом / Монография. — Саратов: Изд-во СГТУ. 2002. — 196 с.