

## Обоснование оптимальной системы технического обслуживания систем гидроманипулятора по критерию минимальных затрат и потерь в период эксплуатации

Мазуркевич М.А.<sup>1</sup>

Кильпелайнен С.А.

*Петрозаводский государственный университет*

Раскрываются проблемы обоснования системы технического обслуживания и ремонта путем оптимизации вероятности безотказной работы систем манипулятора по критерию минимальных затрат на техническое обслуживание и текущий ремонт.

**Ключевые слова:** *вероятность безотказной работы, затраты, потери, подсистема, металлоконструкция, гидросистема.*

Вопросы оценки показателей надежности интересовали многих ученых и конструкторов, работающих в области проектирования манипуляторов. В работах В.С.Кралина оптимизируется вероятность безотказной работы металлоконструкций манипулятора по критерию металлоемкости. В работах Ю.Ю.Герасимова рассматриваются показатели долговечности металлоконструкций в процессе зарождения и развития трещин в них. В своих исследованиях В.М.Костюкевич использует в качестве показателей надежности как показатели безотказности, так и показатели долговечности применительно к опорно-поворотному устройству манипулятора. В основном вопросы надежности рассматриваются в процессе проектирования и производства. В то же время в процессе эксплуатации каждый из элементов гидроманипулятора и их соединения подвергаются ряду технических воздействий - обслуживанию и текущему ремонту. Без выполнения этих операций даже сверхнадежные элементы функционировать не могут. Ослабление болтовых соединений, отсутствие смазки в шарнирах приводят к превышению расчетных нагрузок, изменению точек их приложения и направления. Происходит замена шарнирных соединений жесткой связью, возникают нерасчетные изгибающие моменты, что приводит к отказу надежного элемента. Таким образом, реализовать заложенную в процессе проектирования и производства надежность возможно только при обосновании соответствующей системы технического обслуживания и ремонта.

Анализ работы лесозаготовительной гидроманипуляторной техники показывает, что в существующей системе технического обслуживания надежность ее ниже, чем планировалось при проектировании.

Основным назначением системы технического обслуживания и ремонта является обеспечение надежного функционирования техники при минимальных материальных и трудовых затратах. Существующая периодичность и трудоемкость технического обслуживания и ремонта, заложенная заводом-изготовителем, обосновывается на усредненных условиях эксплуатации, однако и эти материальные и трудовые затраты зачастую являются эмпирическими (установленными без достаточного научного обоснования), что приводит к снижению наработки на отказ, сокращению наработки до капитального ремонта и, как следствие снижению вероятности безотказной работы. Следует отметить, что периодичность технического обслуживания (ТО) и текущего ремонта (ТР) технологического оборудования задается по базе машины, хотя нагрузочный режим технологического оборудования намного выше, чем базовой машины. Обоснуем периодичность ТО и ТР технологического оборудования (в частности гидроманипулятора). В качестве показателя надежности примем вероятность безотказной работы (ВБР), а оптимизирующего параметра - затраты на ТО и ТР.

Рассмотрим гидроманипулятор как систему, состоящую из последовательно соединенных независимых подсистем (металлоконструкции захвата, рукояти, стрелы и опорно-поворотной части, а также гидросистемы). Учитывая характер работы гидроманипулятора, примем соединение подсистем последовательным, каждая из которых должна обслуживаться самостоятельно. Существующая в настоящее время система ТО и ТР гидроманипуляторов обеспечивает определенную его начальную вероятность безотказной работы (ВБР). Изменение периодичности ТО приводит к изменению затрат, изменяет наработку на отказ и как следствие - ВБР.

Для каждой подсистемы определим вероятность безотказной работы, при которой достигаются минимальные затраты на систему технического обслуживания и потери в связи с простоем при ТО и ТР. На достижение требуемой вероятности  $R^*$  при изменении периодичности технического обслуживания, текущего ремонта, на внедрение более новой совершенной технологии и средств технической диагностики и т.д. потребуются определенные затраты. Введем функции затрат  $G(R_i, R_i^*)$ ,  $i = 1...5$ , определяющие затраты, связанные с повышением показателя надежности  $i$ -й подсистемы от уровня  $R_i$  до уровня  $R_i^*$ .

Сформулируем задачу оптимизации: минимизировать

$$\sum_{i=1}^5 G(R_i, R_i^*) \rightarrow \min, \quad (1)$$

при ограничении

$$\begin{aligned} & \prod_{i=1}^5 R_i^* \geq R^*; \\ & 0 < R_i \leq R_i^* \leq 1, \quad i = 1...5. \end{aligned}$$

<sup>1</sup> Авторы, соответственно, заведующий и старший преподаватель кафедры тяговых машин.

Дадим определение следующих величин:

$R^*$  - требуемое значение вероятности безотказной работы гидроманипулятора,  $0 < R^* < 1$ ;

$R_i$  - существующее (начальное) значение вероятности безотказной работы  $i$ -й подсистемы манипулятора при настоящем состоянии разработки,  $0 < R_i < 1$ ;

$\bar{R}_i$  - текущее (изменяемое) значение вероятности безотказной работы  $i$ -подсистемы гидроманипулятора,  $R_i \leq \bar{R}_i \leq 1$ ;

$R_i^*$  - оптимальное значение вероятности безотказной работы  $i$ -подсистемы, получаемое при  $\min G(R_i, R_i^*)$ .

Каждая из подсистем определяет этап решения задачи о распределении требований к надежности. Решение принимается последовательно на каждом этапе. Определим множество  $S_k$  всех возможных значений вероятности безотказной работы  $S_k$  на этапе  $K$  (схематический алгоритм, см. рис.)

Важную роль в определении вероятности безотказной работы играет распределение требований надежности  $R^*$  по элементам системы  $R_i$ . Безотказность системы, состоящей из  $n$  статистически независимых, последовательно соединенных элементов, на некоторые элементы  $T$  определяется зависимостью:

$$P(T) = P_1(T) P_2(T) \dots P_n(T) = \prod_{k=1}^n P_k(T). \quad (2)$$

При равномерном распределении требований к безотказности элементов получим:

$$P_k = \sqrt[n]{P(T)}. \quad (3)$$

где  $P(T)$  - задаваемая в техническом задании установленная безотказность системы.

Однако из-за сложности обеспечения равнопрочности элементов систем гидроманипулятора использование вышеприведенной формулы ограничено.

По результатам исследования отказов гидроманипулятора трактора ТБ-1М было выявлено, что подсистемы имеют различную постоянную интенсивность отказов  $\lambda_i$  (интенсивность отказов гидросистемы выше, чем металлоконструкции манипулятора  $\lambda_1 > \{\lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 \lambda_5\}$ , а металлоконструкции захвата выше, чем металлоконструкций других подсистем  $\lambda_5 > \lambda_2 > \lambda_4 > \lambda_3$ ). Используя метод разработанный фирмой "Aeronotecal research" [1] задаемся весовыми множителями  $\omega_i$   $i=1...5$  для каждой подсистемы в соответствии с интенсивностью отказов:

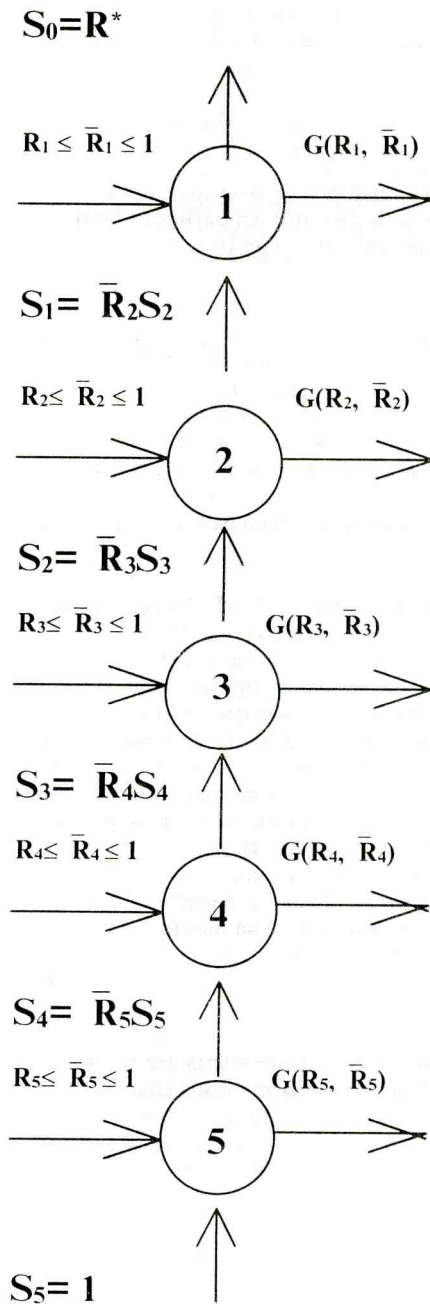


Рис. Схематический алгоритм

- 1- гидросистема,
- 2- металлоконструкция опорно-поворотной части,
- 3- металлоконструкция стрелы,
- 4- металлоконструкция рукоятки,
- 5- металлоконструкция захвата.



$$\omega_i = \frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^5 \lambda_i}, \quad i=1, \dots, 5. \quad (4)$$

Таким образом,  $\omega_i$  показывает относительную уязвимость  $i$ -го элемента. Вычислим вероятности безотказной работы подсистем по заданному  $R^*$  с использованием соотношений

$$\begin{aligned} R^* &= \exp(-\lambda^* t); \\ \lambda_i^* &= \omega_i \lambda^*; \\ \bar{R}_i &= \exp(-\lambda_i^* t), \quad i=1, \dots, 5. \end{aligned}$$

где

$\lambda^*$  - интенсивность отказов гидроманипулятора в целом;

$\lambda_i^*$  - интенсивность отказов  $i$ -подсистемы гидроманипулятора.

В качестве функции затрат  $G(R_i, R_i^*)$  предлагается использовать сумму трудозатрат на проведение технического обслуживания и текущего ремонта систем гидроманипулятора и величину простоя при ТО и ТР, как потерянную прибыль от работы машины. Целесообразно определять не абсолютную величину затрат, а относительную. За начальное значение относительной величины затрат можно принять какое-то число, которое соответствует принятой в настоящее время системе ТО и ТР, и сравнение затрат при изменении системы технического обслуживания проводить относительно принятого начального значения. Считаем, что затраты при существующем варианте ТО и ТР

$$G(R_i, R_i) = 1, \quad (5)$$

где

$R_i$  - существующая в настоящее время вероятность безотказной работы  $i$ -подсистемы гидроманипулятора.

Величина затрат при текущем значении вероятности безотказной работы  $\bar{R}_i$

$$G(R_i, \bar{R}_i) = f^*(\bar{R}_i) + f^{**}(\bar{R}_i), \quad (6)$$

где

$f^*(\bar{R}_i)$  - функция затрат на ТО и ТР при вероятности безотказной работы  $i$ -подсистемы манипулятора  $\bar{R}_i$ ;

$f^{**}(\bar{R}_i)$  - функция потерь прибыли при вероятности безотказной работы  $i$ -подсистемы манипулятора  $\bar{R}_i$  (время простоя при ТО и ТР).

Следовательно, значение затрат в целом по гидроманипулятору

$$\sum_{i=1}^5 G(R_i, R_i^*) \rightarrow \min, \quad (7)$$

при оптимальном значении вероятности безотказной работы всего манипулятора

$$R^* = \prod_{i=1}^5 R_i^*.$$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный метод обоснования системы технического обслуживания является попыткой связать надежность, заложенную при проектировании, с ее реализацией в процессе эксплуатации. Статья носит чисто теоретический характер, раскрывая направление исследований. В дальнейшем на основе экспериментальных данных по гидроманипулятору трактора ТБ-1М планируется построение расчетной оптимизационной модели.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Капур К., Ламберсон Л. Надежность и проектирование систем. М.: Мир, 1980. 604 с.