

Н.В. Сидоренков, Б.Г. Мартынов

**ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ
ДЛЯ РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ УЗЛОВ
И СОПРЯЖЕНИЙ ГИДРОМАНИПУЛЯТОРА**

Введение. Во время эксплуатации гидроманипуляторов (ГМ) возникает задача продления жизненного цикла ГМ. В настоящее время он составляет при полной нагрузке ГМ от 3 до 5 лет или 6000 моточасов до капитального ремонта. В зависимости от условий работы и обслуживания этот ресурс, по данным ПО «Подъемные машины», может быть израсходован за 8 месяцев. Руководством по эксплуатации ГМ определены пять видов ТО: ЕТО и четыре номерных. Причем в гарантийных обязательствах определен период работы ГМ до первого отказа. Он соответствует примерно 120 моточасам. Для продления срока службы ГМ до капитального ремонта необходимо перейти от обычной планово-предупредительной системы ТО и ремонта к проактивной системе. Основой проактивной системы ТО и Р является правильное управление техническим состоянием механизма с целью повышения его эксплуатационной надежности, определения оптимальной периодичности ТО и Р, что в свою очередь требует полной информации о техническом состоянии механизма и надежности его узлов и сопряжений. Цель проактивной системы ТО и Р – предупреждать отказ узлов и сопряжений механизма. Для реализации этой цели необходима разработка модели надежности ГМ и проведение статистических исследований отказов элементов механизма. Поэтому данная задача является актуальной.

Цель исследования. Разработка вероятностной модели надежности узлов и сопряжений ГМ для решения одной из задач управления техническим состоянием механизма с целью обоснования проактивной системы ТО и Р.

Методика и результаты исследований. Для расчета вероятностной модели надежности ГМ рекомендуется использовать схемно-функциональный анализ (СФА), заключающийся в определении вероятности сохранения работоспособности механизма при возникновении различных видов отказов его узлов или сопряжений [Мартынов, 2005; Надежность..., 1985]. Механизм, в данном случае ГМ, расчленяется на отдельные узлы и сопряжения, которые связаны между собой и выполняют свои функции.

В результате образуется структурная схема ГМ, состоящая из последовательных и параллельно соединенных элементов.

При разработке вероятностной модели надежности следует иметь в виду, что при последовательном соединении элементов отказ хотя бы одного элемента влечет за собой отказ всего узла. При параллельном же соединении элементов отказ узла возникает при одновременном отказе всех элементов, входящих в данный узел.

Таким образом, упрощенная структурная схема ГМ может быть в виде последовательно-параллельного соединения элементов механизма, представленная на рис. 1.

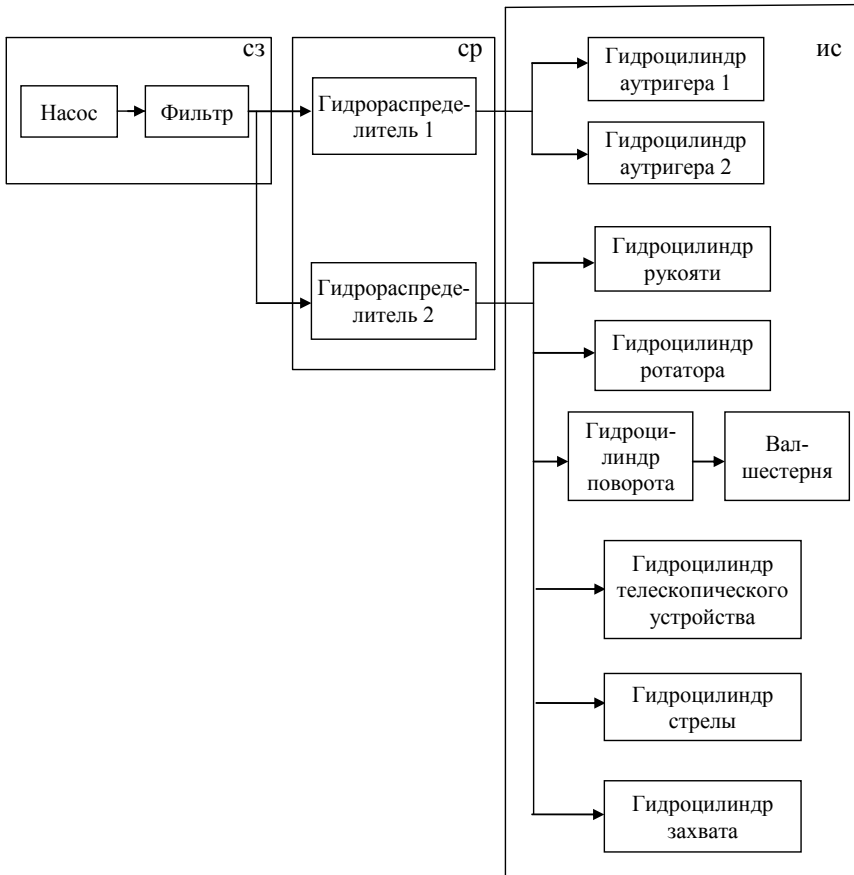


Рис. 1. Упрощенная структурная схема механизма ГМ

ГМ может начинать работу как от электродвигателя, если ГМ стационарного типа, так и от двигателя машины, если он установлен на ней.

Рабочая жидкость (масло) из насоса, проходя через фильтр, поступает либо на вход гидрораспределителя 1 для управления двух аустригеров, либо на вход гидрораспределителя 2, который управляет работой всего механизма. Рабочая жидкость поступает на входы гидроцилиндров, которые включены в схему параллельно. Узлы стойки, от которых зависит надежная ее работа, включены последовательно.

Для определения модели надежности составим уравнения вероятностей событий, которые могут происходить в данной схеме механизма, представленной на рис. 1.

Следует иметь в виду, что для последовательного соединения элементов определяются вероятности безотказной работы, а для параллельного соединения – вероятности отказов.

Условно обозначим последовательно соединенные насос и фильтр – системой запуска, параллельно соединенные гидрораспределители – системой распределения и параллельно соединенные гидроцилиндры – исполнительной системой. Тогда для последовательного соединения систем механизма ГМ имеем

$$P_{ГМ} = P(A_{сз} A_{ср} A_{ис}), \quad (1)$$

где $P_{ГМ}$ – вероятность безотказной работы ГМ; $A_{сз}$, $A_{ср}$, $A_{ис}$ – события, заключающиеся в появлении отказа в системах запуска и распределения, и исполнительной системе соответственно.

Согласно теореме умножения независимых событий, выражение (1) преобразуется к виду

$$P_{ГМ} = P_{сз} P_{ср} P_{ис}. \quad (2)$$

Вероятность безотказной работы системы запуска будет равна

$$P_{сз} = P_n P_f, \quad (3)$$

где P_n , P_f – вероятности безотказной работы насоса и фильтра соответственно.

Вероятность безотказной работы системы распределения равна

$$P_{ср} = (1 - Q_{гр.1}) (1 - Q_{гр.2}), \quad (4)$$

где $Q_{гр.1}$ и $Q_{гр.2}$ – вероятности отказов первого (1) и второго (2) гидрораспределителей.

Вероятность безотказной работы исполнительской системы будет равна

$$P_{ис} = (1 - Q_{гдр})(1 - Q_{гро})(1 - Q_{гдс}) \times \\ \times P_{вш}(1 - Q_{гту})(1 - Q_{гс})(1 - Q_{гз}), \quad (5)$$

где Q – вероятности отказов гидроцилиндров соответствующих элементов, $P_{вш}$ – вероятность безотказной работы вала-шестерни колонны.

Подставляя выражения (5), (4), (3) в (2), получим вероятностную модель определения надежности механизма ГМ

$$P_{ГМ} = P_n P_{ф}(1 - Q_{гр.1})(1 - Q_{гр.2})(1 - Q_{гдр})(1 - Q_{гро})(1 - Q_{гдс}) \times \\ \times P_{пш}(1 - Q_{гту})(1 - Q_{гс})(1 - Q_{гз}). \quad (6)$$

Из теории надежности известно, что основным законом распределения вероятности безотказной работы является экспоненциальный закон.

$$P(t) = e^{-\lambda t}. \quad (7)$$

Тогда, окончательно, модель надежности будет выглядеть следующим образом:

$$P_{ГМ} = e^{-\lambda_{пф}t} e^{-\lambda_{ф}t} \left[1 - (1 - e^{-2\lambda_{гдр}t})\right] \left[1 - (1 - e^{-2\lambda_{гро}t})\right] \left[1 - (1 - e^{-\lambda_{пф}t})\right] \times \\ \times \left[1 - (1 - e^{-\lambda_{пш}t})\right] e^{-\lambda_{вш}t} \left[1 - (1 - e^{-\lambda_{пф}t})\right] \left[1 - (1 - e^{-\lambda_{гт}t})\right] \left[1 - (1 - e^{-\lambda_{с}t})\right] \times \\ \times \left[1 - (1 - e^{-\lambda_{з}t})\right]. \quad (8)$$

Для определения вероятности безотказной работы в численном виде необходимо знать значения интенсивности отказов отдельных элементов ГМ.

На протяжении 5 лет, с 2011 по 2016 гг., компанией «Подъемные машины» проводился анализ неисправностей гидроманипулятора ОМТЛ-70- 02.

В результате были определены интенсивности отказов, приведенные в таблице.

Тогда вероятность безотказной работы системы запуска будет равна

$$P_{сз} = e^{-0,005t} e^{-0,0017t}.$$

На рис. 2 изображены графики вероятностей безотказной работы насоса, фильтра и системы запуска в целом.

Вероятность безотказной работы системы распределения будет равна

$$P_{ср} = e^{-0,0034t}.$$

Значения интенсивности отказов элементов ГМ

№ п/п	Наименование элемента	Значение λ
1	Насос	$5,0 \cdot 10^{-3}$
2	Фильтр	$1,7 \cdot 10^{-3}$
3	Гидрораспределитель аутригеров	$1,7 \cdot 10^{-3}$
4	Гидрораспределитель исполнительных механизмов	$1,7 \cdot 10^{-3}$
5	Гидроцилиндры аутригеров	$5,0 \cdot 10^{-3}$
6	Гидроцилиндр рукояти	$1,7 \cdot 10^{-3}$
7	Гидроцилиндр ротатора	$1,7 \cdot 10^{-3}$
8	Гидроцилиндр поворота	$4,5 \cdot 10^{-3}$
9	Колонна вал-шестерня	$7,1 \cdot 10^{-3}$
10	Гидроцилиндр удлинителя (телескоп. устройства)	$5,0 \cdot 10^{-3}$
11	Гидроцилиндр стрелы	$5,0 \cdot 10^{-3}$
12	Гидроцилиндр захвата	$6,7 \cdot 10^{-3}$

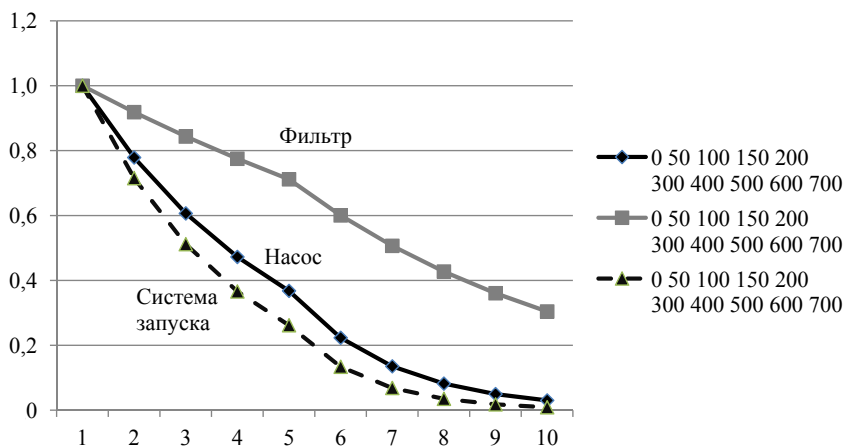


Рис. 2. Вероятность безотказной работы системы запуска

На рис. 3 представлена вероятность безотказной работы системы распределения.

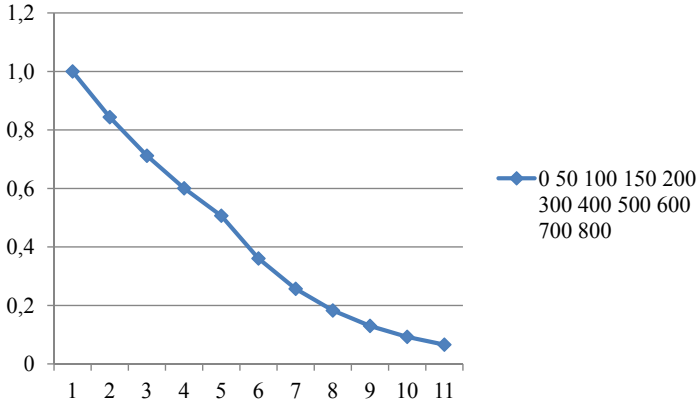


Рис. 3. Вероятность безотказной работы системы распределения

Вероятность безотказной работы исполнительской системы будет равна

$$P_{ИС} = e^{-0,0034t} e^{-0,002t} e^{-0,0045t} e^{-0,0071t} e^{-0,0067t}$$

На рис. 4 представлены зависимости вероятностей безотказной работы элементов и исполнительской системы в целом.

Из рис. 4 следует, что вероятность исполнительской системы будет зависеть от надежной работы гидроцилиндров телескопического устройства, колонны и захвата.

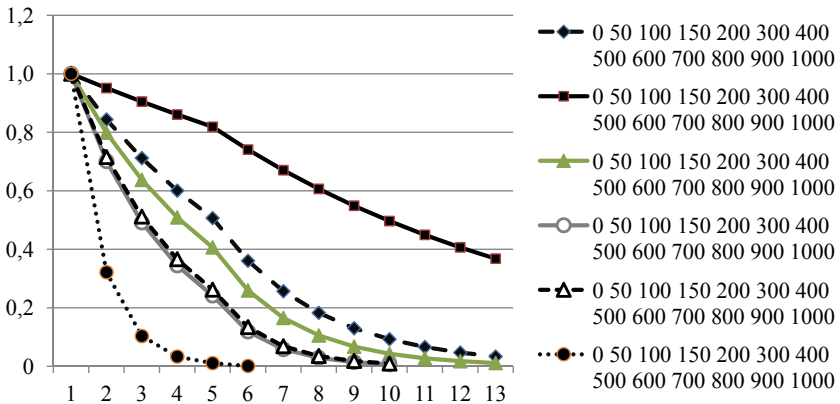


Рис. 4. Вероятность безотказной работы исполнительской системы

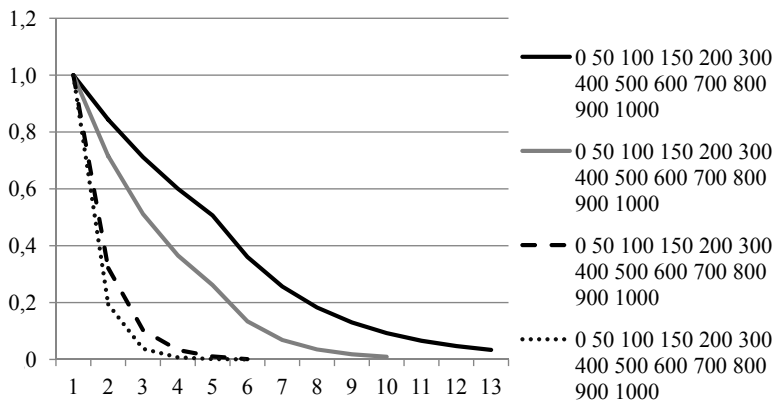


Рис. 5. Вероятность безотказной работы систем и гидроманипулятора в целом

На рис. 5 представлены вероятности безотказной работы систем запуска, распределения, исполнительный и гидроманипулятора в целом.

Из рис. 5 следует, что ресурс ГМ ограничивается ресурсом исполнительной системы.

Приравняв вероятность безотказной работы нулю, получим время работы ГМ до первого отказа, которое равно 120–150 моточасов, что соответствует данным гарантийного обязательства ГМ.

В результате, с учетом значений таблицы, вероятность безотказной работы гидроманипулятора будет определяться из следующего выражения:

$$P_{ГМ} = e^{-0,005t} e^{-0,0017t} [1 - (1 - e^{-0,0034t})] [1 - (1 - e^{-0,0034t})] \times \\ \times [1 - (1 - e^{-0,002t})] [1 - (1 - e^{-0,0045t}) e^{-0,0071t} [1 - (1 - e^{-0,0067t})]].$$

Вывод. Полученное выражение позволит формировать стратегию обслуживания данного типа манипуляторов для продления их срока службы.

Библиографический список

Мартынов Б.Г. Определение надежности тракторов в целях выбора индивидуальной стратегии профилактики // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2005. Вып. 173. С. 75–81.

Надежность технических устройств: справочник / под ред. Н.А. Ушакова. М.: Радио и связь, 1985. 608 с.

References

Martynov B.G. Opredelenie nadezhnosti traktorov v tseliakh vybora individual'noi strategii profilaktiki. *Izvestiia Sankt-Peterburgskoi lesotekhnicheskoi akademii*. 2005. Vyp. 173. S. 75–81. (In Russ.)

Nadezhnost' tekhnicheskikh ustroystv: spravochnik. Pod red. N.A. Ushakova. M.: Radio i sviaz', 1985. 608 s. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 24.01.2017 г.

Сидоренков Н.А., Мартынов Б.Г. Вероятностная модель для расчета надежности узлов и сопряжений гидроманипулятора // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2017. Вып. 219. С. 184–192. DOI: 10.21266/2079-4304.2017.219.184-192

Во время эксплуатации гидроманипуляторов (ГМ) возникает задача продления жизненного цикла ГМ. В настоящее время он составляет при полной нагрузке ГМ от 3 до 5 лет или 6000 моточасов до капитального ремонта. В зависимости от условий работы и обслуживания этот ресурс, по данным ПО «Подъемные машины», может быть израсходован за 8 мес. Руководством по эксплуатации ГМ определены пять видов ТО: ЕТО и четыре номерных. Причем в гарантийных обязательствах определен период работы ГМ до первого отказа. Он соответствует примерно 120 моточасам. Для продления срока службы ГМ до капитального ремонта необходимо перейти от обычной планово-предупредительной системы ТО и ремонта к проактивной системе. Основу проактивной системы ТО и Р составляет правильное управление техническим состоянием механизма с целью повышения его эксплуатационной надежности, определения оптимальной периодичности ТО и Р, что в свою очередь требует полной информации о техническом состоянии механизма и надежности его узлов и сопряжений. Цель проактивной системы ТО и Р – предупреждать отказ узлов и сопряжений механизма. Для реализации этой цели необходима разработка модели надежности ГМ и проведение статистических исследований отказов элементов механизма. Поэтому данная задача является актуальной. В настоящей статье приводится выражение, которое позволит формировать стратегию обслуживания данного типа манипуляторов для продления их срока службы. Цель исследования – разработка вероятностной модели надежности узлов и сопряжений ГМ для решения одной из задач управления техническим состоянием механизма с целью обоснования проактивной системы ТО и Р.

Ключевые слова: гидроманипулятор, надежность, вероятность, работоспособность, отказ.

Sidorenkov N.A., Martynov B.G. And probabilistic model to calculate on-the-dejnosti nodes and interfaces of the manipulator. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoi Akademii*, 2017, is. 219, pp. 184–192 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2017.219.184-192

During operation of hydraulic manipulators (GM), there arises the problem of extending the life cycle of the GM. Currently, it is under full load UM from 3 to 5 years or 6000 hours before overhaul. Depending on the conditions of operation and maintenance of this resource, according to «Lifting machines», can be used for 8 months. The user manual for the GM identifies five kinds: UTB and four plates. And in a warranty period defined by the work of the GM until the first failure. It corresponds to about 120 hours. To extend the service life of the GM overhaul need to move from conventional preventive system of maintenance and repair to a proactive system. The basis for proactive maintenance and R is the correct management of the technical condition of the mechanism with the purpose of increasing its ex-operational reliability, determining the optimal frequency and R, which in turn requires full information about the technical condition of the mechanism and reliability of its components and interfaces. The purpose of proactive maintenance and repair – to prevent failure of the nodes and interfaces of the mechanism. To achieve this goal it is necessary to develop reliability models of the GM and carrying out statistical studies of failures of elements of the mechanism. Therefore, this task is urgent. In this paper, we provide an expression that will form the servicing strategy for this type of manipulators to extend their service life. The purpose of the study: the development of probabilistic reliability models of the nodes and interfaces of GM to address one of the problems of control of technical condition of the mechanism in order to justify the proactive maintenance and R.

Key words: hydraulic crane, reliability, probability, performance, failure.

СИДОРЕНКОВ Николай Владимирович – генеральный директор АО «Подъемные машины».

182112, ул. Корниенко, д. 8, г. Великие Луки, Псковская обл., Россия.

SIDORENKOV Nikolay V. – General Director of JSC «Lifting machines».

182112. Kornienko str. 8. Velikie Luki. Pskov region. Russia.

МАРТЫНОВ Борис Григорьевич – заведующий кафедрой лесного машиностроения, сервиса и ремонта Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, доктор технических наук, профессор.

194021. Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: lesbisnes@mail.ru

MARTYNOV Boris G. – DSc (Technical), Professor, head of Department of forest engineering, service and repair St.Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: lesbisnes@mail.ru