

RELIABILITY INDEXES EVALUATION OF GEAR MOTORS WITH CONSIDERATION OF NONRECOVERABLE FAILURES

Chalabi I.G.¹, Hasanov Sh.H.² (Republic of Azerbaijan)

Email: Chalabi59@scientifictext.ru

¹Chalabi Iftikhar Gurbanali – PhD in Technics, Associate Professor;

²Hasanov Shahmali Hasrat – Junior science Worker,

CHAIR OF MACHINE DESIGN,

AZERBAIJAN TECHNICAL UNIVERSITY,

BAKU, REPUBLIC OF AZERBAIJAN

Abstract: in this article, the reliability of the gear motor system is analyzed on the condition that unrecoverable failures may occur in operation along with recoverable failures. The states of the system are modeled by a Markov chain in continuous time. The resulting system of differential equations can be solved by “MATLAB”. As a result, the reliability index of the system is determined and comparatively analyzed. The performed calculations show that the total non-recoverable failures of the gear motor system have a significant impact on the reliability of the considered system.

Keywords: gear motor, failure, reliability, Markov model, survival probability analysis.

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ МОТОР-РЕДУКТОРОВ С УЧЕТОМ НЕВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ ОТКАЗОВ

Чалаби И.Г.¹, Гасанов Ш.Г.² (Азербайджанская Республика)

¹Чалаби Ифтихар Гурбанали - кандидат технических наук, доцент;

²Гасанов Шахмалы Гасрат – младший научный сотрудник,

кафедра конструирования машин,

Азербайджанский технический университет,

г. Баку, Азербайджанская Республика

Аннотация: в настоящей статье анализируется надежность системы мотор-редуктор при условии, что во время эксплуатации наряду с восстанавливаемыми отказами могут произойти и невосстанавливаемые отказы. Состояния системы моделируются Марковской цепью в непрерывном времени. Полученная система дифференциальных уравнений решается с использованием программы «MATLAB». Таким образом, определяются и сравнительно анализируются показатели надежности системы. Выполненные расчеты показывают, что тотальные невосстанавливаемые отказы системы мотор-редуктор оказывают значительное влияние на надежность рассмотренной системы.

Ключевые слова: мотор-редуктор, отказ, надежность, Марковская модель, вероятность безотказной работы.

Введение. Мотор-редуктор широко применяется во многих отраслях техники благодаря своим положительным свойствам, таким как компактность, высокий КПД и надежность в эксплуатации. Они являются неотъемлемой частью приводов большинства технологических машин, манипуляторов, автоматизированных линий производства и других промышленных оборудований. Поэтому оценка надежности мотор-редукторов имеет большое практическое значение.

Мотор-редуктор относится обычно к восстанавливаемым объектам. Это означает, что после отказа работоспособность мотор-редуктора в большинстве случаев восстанавливается с помощью ремонтных работ. В действительности, однако, большинство восстанавливаемых систем, в том числе и мотор-редукторы не страхованы от полного отказа, в результате которого система в конечном итоге окончательно выводится из эксплуатации. В течение периода эксплуатации любого восстанавливаемого объекта может произойти отказ, который невозможно отремонтировать. Полный отказ может возникнуть в результате проектных, производственных или эксплуатационных ошибок. Влияние таких отказов на показатели надежности иногда могут быть очень значительными. Поэтому анализ надежности мотор-редукторов с учетом невозстанавливаемых отказов является актуальной задачей.

Постановка проблемы. В настоящей статье анализируется надежность сборочной системы, состоящей из двигателя и редуктора (рис. 1, а) с учетом невозстанавливаемых отказов. Принимается во внимание, что отказ редуктора иногда приводит и к сбою двигателя. На практике такой случай происходит часто. Блокировки или вибрации, возникшие из-за отказа (перелом зуба, питтинг, износ и т.д.) зубчатой передачи, также могут впоследствии привести к отказу двигателя. Кроме этого учитываются внезапные отказы всей системы, после которых ее работоспособность не может восстанавливаться.

В простейшем случае, когда интенсивности отказа и восстановлений компонентов постоянны, для оценки надежности системы может применяться Марковская модель [1].

Применение Марковской модели. В рассмотренном случае Марковская модель принимает пять состояний. Эти состояния и соответствующие им вероятности состояния системы показаны в таблице 1. На рисунке 1, в показан графы состояния системы мотор-редуктор с соответствующими переходами. Интенсивность отказов λ_1 и интенсивность восстановлений μ_1 описывают переходные характеристики двигателя, а интенсивности λ_2 и μ_2 редуктора. Интенсивность отказов λ_3 описывает отказы двигателя вследствие отказов редуктора. А

интенсивность отказов λ_4 описывает внезапные отказы всей системы, после которых ее работоспособность не восстанавливается. Интенсивности отказов в основном зависят от точности проектирования и условий эксплуатации, а интенсивности восстановлений от структуры и уровня ремонтных работ.

Для Марковской модели систему дифференциальных уравнений Колмогорова для рассмотренной системы можно написать согласно [2, 3] следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dP_0(t)}{dt} = -(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_4) \cdot P_0(t) + \mu_1 \cdot P_1(t) + \mu_2 \cdot P_2(t) + \mu_3 \cdot P_3(t) \\ \frac{dP_1(t)}{dt} = \lambda_1 \cdot P_0(t) - \mu_1 \cdot P_1(t) \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = \lambda_2 \cdot P_0(t) - (\mu_2 + \lambda_3) \cdot P_2(t) \\ \frac{dP_3(t)}{dt} = \lambda_3 \cdot P_2(t) - \mu_3 \cdot P_3(t) \\ \frac{dP_4(t)}{dt} = \lambda_4 \cdot P_0(t) \end{array} \right. \quad (1)$$

Таблица 1. Описание состояний и вероятности состояния системы мотор-редуктор

| Сос- то- яние | Описание | Вероятн ость состояния |
|---------------------|---|------------------------------|
| C ₀ | Оба компонента исправны | P ₀ (t) |
| C ₁ | Двигатель неисправен, редуктор исправен | P ₁ (t) |
| C ₂ | Двигатель исправен, редуктор неисправен | P ₂ (t) |
| C ₃ | Оба компонента неисправны, работоспособность восстанавливается | P ₃ (t) |
| C ₄ | Оба компонента неисправны, работоспособность не восстанавливается | P ₄ (t) |

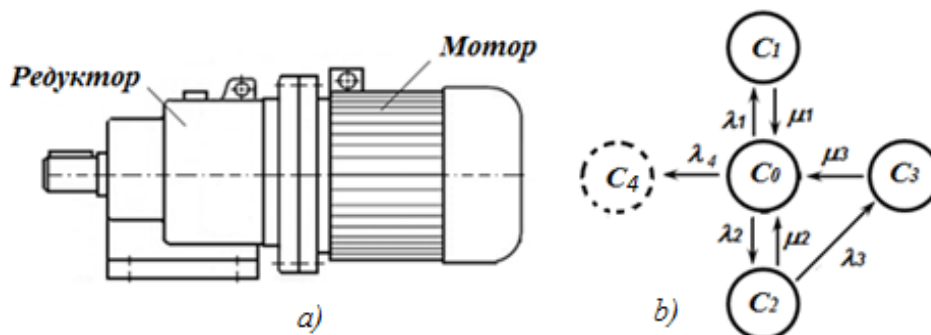


Рис. 1. Система мотор-редуктор (а) и графы состояния для этой системы (в)

Поскольку система мотор-редуктор всегда находится в одном из пяти состояний, сумма всех вероятностей состояния должна быть равным единице для любого момента времени. Таким образом, получаем следующее нормирующее условие

$$P_0(t) + P_1(t) + P_2(t) + P_3(t) + P_4(t) = 1. \quad (2)$$

В начале работы система в основном находится в работоспособном состоянии, и оба компонента исправны. В этом случае, начальные условия будут

$$P_0(0) = 1 \text{ и } P_i(0) = 0 \text{ для } i = 1, 2, 3, 4. \quad (3)$$

Для определения вероятностей состояния системы мотор-редуктор необходимо решить систему дифференциальных уравнений (1) с учетом нормирующих и начальных условий (2-3).

Систему дифференциальных уравнений (1) можно решить аналитически, например, с использованием преобразования Лапласа. Но для этого требуется выполнять длинное и трудоемкое вычисление. Поэтому решение системы дифференциальных уравнений (1) удобнее всего выполнять численными методами. В данной работе для решения этой системы была использована программа «MATLAB».

Анализ проведенных вычислений. Решение системы уравнений (1) позволяет определить вероятности состояния системы мотор-редуктор для любого момента эксплуатации. Но для этого должны быть интенсивности отказов $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ и интенсивности восстановлений μ_1, μ_2, μ_3 известными. Эти параметры могут определяться вовремя эксплуатации на основе статистических данных об отказах и ремонтах. В данной работе рассматривался как пример для представленной методики система мотор-редуктор, для которого отказы и ремонты подчиняются экспоненциальному закону. Вероятности состояния определены для значений интенсивностей отказов и восстановлений в двух различных сценариях. Сначала вычисление проводилось без учета внезапных невосстанавливаемых отказов, т.е. при $\lambda_4=0$. Во втором сценарии невосстанавливаемые отказы учитываются. Значения интенсивностей отказов и восстановлений для расчета приведены в таблице 2.

Таблица 2. Значения интенсивностей отказов и восстановлений

| Параметр /Сценарий | λ_1 | λ_2 | λ_3 | λ_4 | μ_1 | μ_2 | μ_3 |
|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------|---------|---------|
| Сценарий 1 | 0,2 | 0,3 | 2 | 0 | 2 | 2 | 1 |
| Сценарий 2 | 0,2 | 0,3 | 2 | 0,4 | 2 | 2 | 1 |

Результаты вычислений были графически представлены на рисунках 2 и 3. Как видно из графиков невосстанавливаемые отказы значительно влияет на надежность системы мотор-редуктор.

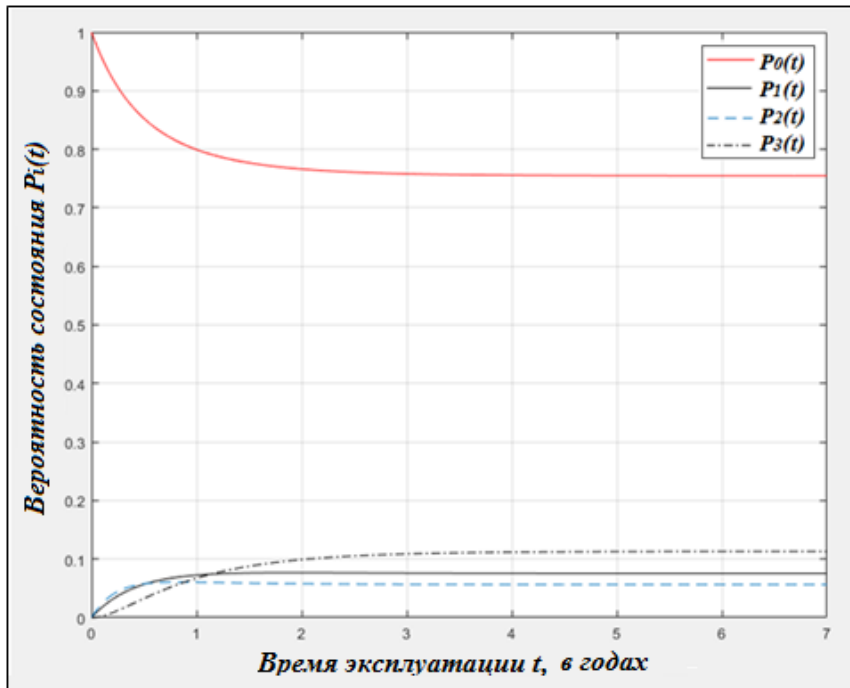


Рис. 2. Вероятности состояния системы мотор-редуктор без учета невосстанавливаемых отказов

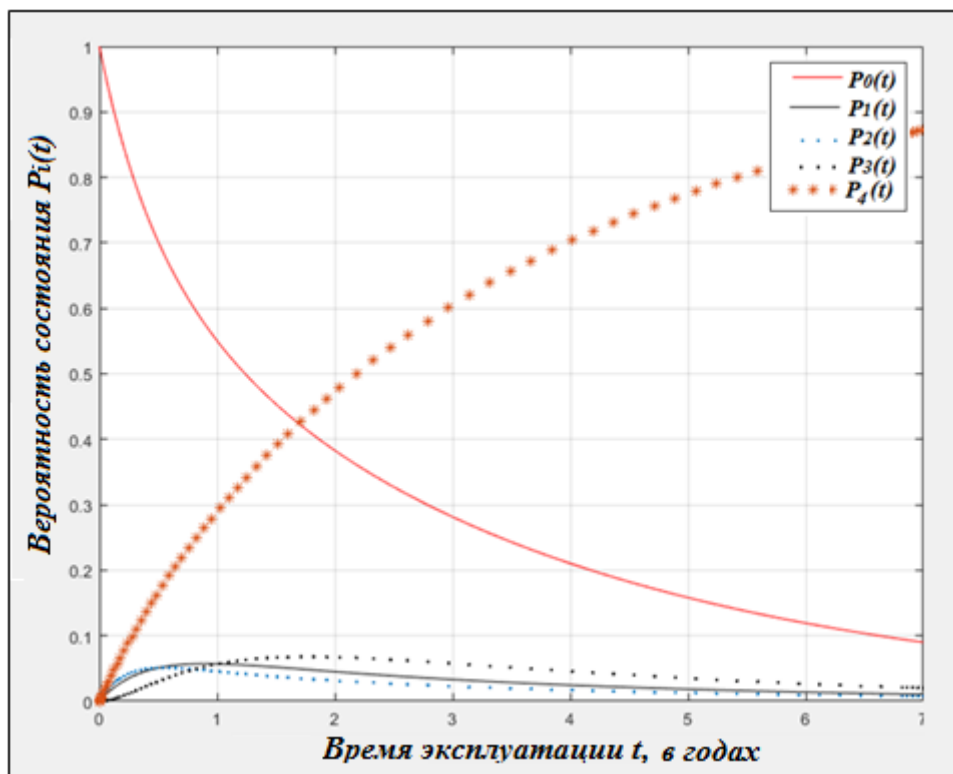


Рис. 3. Вероятности состояния системы мотор-редукторс учетом невозстанавливаемых отказов

Выводы. Анализ результатов вычислений приводит к следующим выводам:

- Вероятности состояния системы мотор-редуктор могут быть определены с использованием Марковской модели.
- Полученная система уравнений состояния на основе Марковской модели позволяет оценить вероятность безотказной работы мотор-редукторов в процессе эксплуатации в зависимости от интенсивностей отказов и восстановлений отдельных компонентов.
- Показатели надежности системы мотор-редуктор зависят как от совершенства конструкции и условий эксплуатации, так и от структуры и качества ремонтных работ.
- Восстановление работоспособности отказавших компонентов с помощью ремонтных работ позволяет значительно превысить надежность системы мотор-редуктор.
- Тотальные отказы системы мотор-редуктор, после которых работоспособность не может восстанавливаться, оказывают преобладающее влияние на надежность системы мотор-редуктор.

Список литературы / References

1. *Bertsche B.* Reliability in Automotive and Mechanical Engineering. Springer. Berlin. Heidelberg, 2008. С. 495-497.
2. *Смирнов Н.В., Дунин-Барковский И.В.* Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений. М.: Наука, 1969. С. 501-512.
3. *Меуна А., Паули В.,* Handbook of Reliability Engineering [in German: Taschenbuch der Zuverlässigkeitstechnik], München: Hanser, 2010.