

Міністерство освіти Азербайджанської Республіки
Міністерство освіти і науки України

Азербайджанський архітектурно-будівельний університет
Національний університет «Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка»

BUILDING INNOVATIONS – 2020

Збірник наукових праць
за матеріалами

III Міжнародної
азербайджансько-української
науково-практичної конференції

1 – 2 червня 2020 року

Баку – Полтава 2020

Гузинін О.І., к.т.н., доцент

ORCID iD: 0000-0003-3769-7326, E-mail: a5481@ukr.net

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ НАСОСНИХ СТАНЦІЙ

Розглянуто насосні станції систем водопостачання, які відносяться до відновлюваних об'єктів. Показники надійності для відновлюваних об'єктів можуть бути розраховані шляхом складання і рішення системи диференціальних або лінійних алгебраїчних рівнянь Колмогорова. Такі рішення отримують чисельними методами на ЕОМ.

Запропоновано метод розрахунку надійності таких станцій, заснований на аналізі графа станів у вигляді дерева. Це дозволяє отримати аналітичний розв'язок основних показників надійності насосних станцій в аналітичному вигляді. Таким чином, немає необхідності складання і рішення рівнянь Колмогорова чисельними методами.

Ключові слова: надійність, насосні станції, граф станів.

Guzynin O.I., Ph.D., Associate Professor

ORCID iD: 0000-0003-3769-7326, E-mail: a5481@ukr.net

National University "Poltavska Polytechnic and Yuriy Kondratyuk"

MATHEMATICAL MODELING OF RELIABILITY OF PUMPING STATIONS

The pumping stations of water supply systems that are related to the restored facilities are considered. Reliability indices for reconstructed objects can be calculated by compiling and solving Kolmogorov's system of differential or linear algebraic equations. Such solutions are obtained by computer numerical methods.

A method for calculating the reliability of such stations based on the analysis of the state graph in the form of a tree is proposed. This allows you to get an analytical solution of the main reliability indicators of pumping stations in an analytical form. Thus, there is no need to compile and solve Kolmogorov equations by numerical methods.

Key words: reliability, pumping stations, state graph.

Для анализа надежности технических систем применяют различные способы, например, структурные схемы, функции алгебры логики, графы состояний, системы дифференциальных, алгебраических, интегральных уравнений [1,2,3,4]. В [5] предлагают выполнять расчет надежности насосных станций, используя формулу полной вероятности Бернулли. Все насосы принимаются одинаковыми. Однако, несмотря на множество существующих методов, решение этой задача постоянно привлекает к себе внимание.

Восстанавливаемая насосная станция может находиться в одном из многих дискретных состояний. Под действием некоторых потоков событий насосная станция может переходить из одного состояния в другое. Будем считать такие потоки событий простейшими пуассоновскими потоками.

Переход системы из одного состояния в другое можно представить в виде **графа состояний**. Узлам графа соответствуют состояния насосной станции, а дугам – возможные переходы из состояния в состояние. Интенсивность переходов определяется параметрами l и m . Если в графе состояний имеется n узлов, из которых k будут соответствовать работоспособным состояниям станции, то оставшиеся $n-k$ узлов, будут

состояниями отказов.

Множество состояний, когда в насосной станции отказало i элементов называется i -м уровнем графа. При $i=0$ (нулевой уровень) все элементы насосной станции исправны. При $i=1$ (первый уровень) один любой элемент отказал, а остальные исправны, при $i=2$ (второй уровень) два любых элемента отказали, а остальные исправны, и т.д.

Граф состояний используют для составления системы дифференциальных уравнений Колмогорова, описывающих изменение во времени показателей надежности. Однако для графа состояний в виде дерева можно получить аналитическое решение без составления и решения систем дифференциальных либо алгебраических уравнений Колмогорова. Такой метод оценки основан на определенной структуре определителей системы линейных алгебраических уравнений [1,2].

Для стационарной вероятности нахождения насосной станции в j -м состоянии можно сформулировать следующее правило: в ориентированном графе состояний вычисляются кратчайшие пути из всех концевых узлов графа в каждое состояние по направлению стрелок [6]. Кратчайший путь по ориентированному ребру может проходить только один раз. Далее перемножаются все интенсивности переходов по кратчайшим путям из концевых узлов графа состояний в рассматриваемый узел.

Финальная вероятность нахождения насосной станции в j -м состоянии определяется выражением

$$P_j = D_j / \prod_{i=0}^n D_i \quad (1)$$

где D_j – произведение интенсивностей перехода из всех концевых состояний в состояние j при движении по кратчайшим путям в направлении стрелок; D_i – то же – в состояние i ; $n+1$ – количество всех состояний насосной станции.

Коэффициент готовности вычисляется как сумма финальных вероятностей нахождения насосной станции в работоспособных состояниях.

$$K_G = \sum_{i \in E^+} P_i \quad (2)$$

$$E = E^+ + E^- \quad (3)$$

где E – множество всех, работоспособных E^+ и неработоспособных E^- состояний.

Наработка на отказ при любом любой дисциплине обслуживания

$$T = \sum_{i \in E^+} P_i / \sum_{j \in E^+} (P_i \times m_{i,j}) \quad (4)$$

где $m_{i,j}$ – интенсивности перехода насосной станции из состояния i в состояние j .

Формула (4) позволяет вычислять наработку на отказ при любом числе состояний отказа и любой дисциплине обслуживания.

$$\text{Среднее время восстановления насосной станции } T_B = \frac{1 - K_G}{K_G} \times T \quad (5)$$

Произведение интенсивностей перехода из концевых состояний графа.

$$D_0 = m_1 \times m_2 \times m_3^2 \times m_4 \times m_5^2; \quad D_1 = l_1 \times m_2 \times m_3^2 \times m_4 \times m_5^2; \quad D_2 = l_3 \times m_1 \times m_2 \times m_3 \times m_4 \times m_5^2;$$

$$D_3 = l_5 \times m_1 \times m_2 \times m_3^2 \times m_4 \times m_5; \quad D_4 = l_1 \times l_3 \times m_2 \times m_3 \times m_4 \times m_5^2; \quad D_5 = l_1 \times l_5 \times m_2 \times m_3^2 \times m_4 \times m_5;$$

$$D_6 = l_1 \times l_2 \times m_3^2 \times m_4 \times m_5^2; \quad D_7 = l_1 \times l_4 \times m_2 \times m_3^2 \times m_5^2. \text{ Далее вычисляется сумма } \prod_{i=0}^7 D_i. \text{ Финальные}$$

вероятности для восьми состояний – по формуле (1). Коэффициент готовности, наработка на отказ и среднее время восстановления станции – по соответствующим формулам (2), (4), (5).

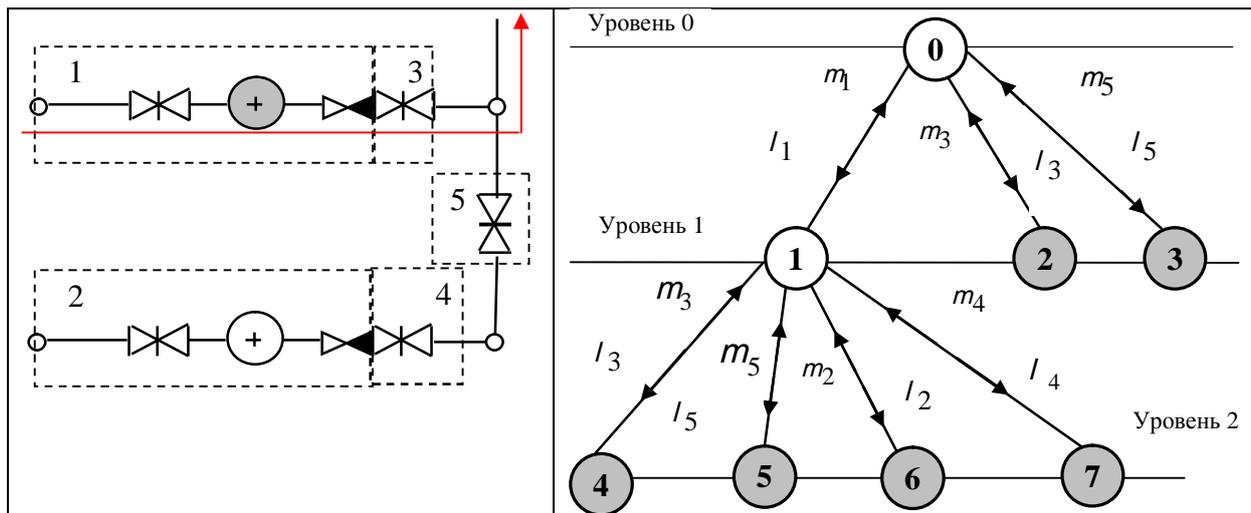


Рисунок 1 – Схема насосной станции и ее граф состояний

Таким образом, получаем аналитическое решение модели надежности насосной станции.

Литература

1. *Надежность технических систем: Справочник / [Беляев Ю.К., Богатырев В.А., Болотин В.В. и др.] ; под ред. И.А. Ушакова. – М.: Радио и связь, 1985. 608 с.*
2. *Половко А.М. Основы теории надежности / А. М. Половко, С.В. Гуров – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 704 с.*
3. *Абрамов Н.Н. Надежность систем водоснабжения. – М.: Стройиздат, 1979. – 231с.*
4. *Ильин Ю.А. 1989. Расчет надежности подачи воды. – М.: Стройиздат. – 268 с.*
5. *Найманов А., Гостева Ю. Возможности оценки некоторых параметров надежности насосных станций. MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture – 2013, vol. 15, No. 6, 27-34.*
6. *Guzynin A.I., Guzynin A.A. Reliability of Water Supply Networks. International Journal of Engineering & Technology. Vol. 7, No 4.8 (2018) p. 348-354. DOI: 10.14419/ijet.v7i4.8.27269.*