

Полумарковские модели двухфазных асинхронных линий с накопителем

Ю.Е. Обжерин¹, С.М. Сидоров^{2*}

¹Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия

²МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, Россия

*haevec@mail.ru

Аннотация. Значительная часть современных производственных и телекоммуникационных систем включают асинхронные линии передачи материальных и информационных потоков. В этом случае для увеличения надежности указанных систем между единицами оборудования устанавливаются накопители, выполняющие различные функции. Так, в информационных системах накопители используются для хранения информации, в системах энергетики – для аккумуляирования энергии, в производственных системах – для создания межоперационного запаса заготовок и т. д. Математическое моделирование асинхронных линий позволяет оценивать прогнозные характеристики их надежности и эффективности функционирования на этапе проектирования, что способствует минимизации последующих эксплуатационных затрат. В связи с этим возникает актуальная задача разработки математических моделей асинхронных линий, учитывающих их особенности применения и структуру, а также параметры межоперационного накопителя. Для решения указанной задачи целесообразно использовать методы теории полумарковских процессов с пространством состояний общего вида. Это позволяет смягчить известные ограничения на законы распределения случайных величин, характеризующих пребывание системы в состояниях и переходы из одного состояния в другое. В статье представлены разработанные полумарковские модели с дискретно-непрерывным фазовым пространством состояний для анализа функционирования двухфазной асинхронной линии. Рассмотрены два режима ее работы: «только через накопитель» и «прямая передача». На основе использования полумарковской модели и алгоритма асимптотического фазового укрупнения получены приближенные выражения для нахождения стационарных характеристик надежности функционирования рассматриваемых систем. Указанные зависимости описаны в терминах математических ожиданий и применимы при произвольных законах распределения случайных величин, характеризующих систему. Предложенные модели достаточно легко реализуются с использованием распространенных математических пакетов. Показано, что полумарковские модели двухфазных асинхронных линий позволяют обеспечить определение с приемлемой точностью основных показателей надежности с учетом зависимости этих показателей от емкости межоперационного накопителя и режима его работы. Это дает возможность проводить сравнительный анализ рассматриваемых режимов работы, решать оптимизационные задачи при определении структуры и параметров управления моделируемой системой как при ее проектировании, так и в процессе эксплуатации.

Ключевые слова: полумарковская модель, система с накопителем, асинхронная линия, алгоритм асимптотического фазового укрупнения, характеристики надежности

Для цитирования: Обжерин Ю.Е., Сидоров С.М. Полумарковские модели двухфазных асинхронных линий с накопителем // Прикладная информатика. 2025. Т. 20. № 1. С. 28–47. DOI: 10.37791/2687-0649-2025-20-1-28-47

Semi-Markov models of two-phase asynchronous lines with storage

Yu. Obzherin¹, S. Sidorov^{2*}

¹Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

²MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russia

*xaevec@mail.ru

Abstract. A significant portion of modern production and telecommunication systems include asynchronous lines for the transmission of material and information flows. In this case, to increase the system reliability storage units are installed between the equipment units, performing various functions. Thus, in information systems, storage units are used to store information, in energy systems – to accumulate energy, in production systems – to create an interpretational stock of blanks, etc. Mathematical modeling of asynchronous lines allows us to evaluate the predicted characteristics of their reliability and operational efficiency at the design stage, which helps to minimize subsequent operating costs. In this connection, the urgent task of developing mathematical models of asynchronous lines, taking into account their application features and structure, as well as the parameters of the interpretational storage device, arises. To solve this problem, it is advisable to use the methods of semi-Markov processes theory with general state space. This allows to soften the known restrictions on the distribution laws of random variables characterizing the system stay in certain states and transitions from one state to another. The article presents the developed semi-Markov models with discrete-continuous phase space states for the analysis of the functioning of a two-phase asynchronous line. We consider two modes of its operation: only via storage device and only by direct transmission. Based on the use of the semi-Markov model and the asymptotic phase merging algorithm, we obtain approximate expressions for finding the reliability stationary characteristics of the functioning of the systems under consideration. The indicated dependencies are described in mathematical expectation terms and are applicable to arbitrary distribution laws of random variables characterizing the system. Someone can quite easily implement proposed models using common mathematical packages. It is shown that semi-Markov models of two-phase asynchronous lines make it possible to determine the main reliability indicators with acceptable accuracy, taking into account the dependence of these indicators on the capacity of the interpretational storage device and its operating mode. This makes it possible to conduct a comparative analysis of the operating modes under consideration, to solve optimization problems when determining the structure and control parameters of the modeled system both during its design and during operation.

Keywords: semi-Markov model, system with storage, asynchronous line, asymptotic phase merging algorithm, reliability characteristics

For citation: Obzherin Yu., Sidorov S. Semi-Markov models of two-phase asynchronous lines with storage. *Prikladnaya informatika*=Journal of Applied Informatics, 2025, vol.20, no.1, pp.28-47 (in Russian). DOI: 10.37791/2687-0649-2025-20-1-28-47

Введение

Автоматизированная линия представляет собой систему рабочих механизмов, расположенных в технологической последовательности и объединенных общей системой транспортирования и управления. Обзор литературы представлен в [1]. В асинхронных линиях для увеличения надежности между каждой единицей оборудования устанавливаются накопители [2–4], имеющие определенный