

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕГРАДАЦИИ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ ЗАЩИТЫ С ПОМОЩЬЮ МАРКОВСКОЙ МОДЕЛИ НАДЕЖНОСТИ

Куцюк Т.В.¹, Громаков Е.И.²

¹Томский политехнический университет, Инженерная школа информационных технологий и робототехники 8ТМ22, e-mail: tvk25@tpu.ru

²Томский политехнический университет, Инженерная школа информационных технологий и робототехники, доцент, e-mail: gromakov@tpu.ru

Аннотация

В работе описывается использование Марковской модели для анализа надежности и безопасности беспроводной сенсорной сети в системе противоаварийной защиты. Проводятся расчеты вероятности безотказной работы (ВБР), средней вероятности отказа по запросу PFD_{avg} при высокой частоте опроса датчиков и уровня полноты безопасности (УПБ/SIL) в условиях снижения диагностического охвата и деградации беспроводной сенсорной сети от архитектуры 2003D до 1001D.

Ключевые слова: беспроводная сенсорная сеть, безопасность, надежность, противоаварийная защита, модель Маркова.

Введение

На сегодняшний день новые нормативные документы в промышленности не обязуют прямого запрета на использование беспроводных сетей для построения систем противоаварийной защиты (СПАЗ), которые предупреждают возникновение аварий при выходе параметров технологического процесса за пределы допустимых значений.

Традиционно нефтегазовая отрасль в значительной степени полагается на проводные датчики и ручные методы сбора данных, которые часто оказываются громоздкими, отнимают много времени на пуско-монтажные работы (СМР). Распределенная инфраструктура предприятий требует постоянного мониторинга различных параметров, таких как температура, давление, скорость потока и обнаружение утечек. Традиционные системы контроля состояния технологического оборудования сталкиваются с многочисленными проблемами, включая их высокую стоимость, ограниченную масштабируемость и трудности доступа к удаленным опасным объектам. В последние годы технология беспроводных датчиков стала перспективной альтернативой для решения этих проблем. Используя помехоустойчивые протоколы беспроводной связи и передовые возможности датчиков, беспроводная сенсорная сеть (БСС) обеспечивают большую гибкость, мобильность и возможность мониторинга труднодоступных для контроля параметров в режиме реального времени. Предполагается, что с распространением Smart беспроводных датчиков, работающих от встроенного питания и не требующих кабельных проводок в нефтегазовой промышленности, появляется возможность сократить стоимость капитальных затрат на строительство объектов, снизить сроки строительно-монтажных (СМР), снизить операционные затраты, повысить надежность и безопасность СПАЗ.

Внедрение беспроводных датчиков в нефтегазовой промышленности может обеспечить удаленный сбор данных, эффективное управление активами, предиктивное обслуживание и повышенные меры безопасности. Но любое оборудование в том числе и элементы сенсорной сети СПАЗ подвержены деградации с течением времени. Это может привести к снижению уровня безопасности и увеличению рисков для безопасности производственных блоков.

Целью данной статьи является исследование деградации системы ПАЗ, а именно БСС ПАЗ, и влияние данного процесса на уровень полноты безопасности и на защищенность от аварий на промышленных объектах.

Основная часть

К числу наиболее распространенных динамических моделей надежности и безопасности систем относятся марковские случайные процессы [1].

Марковские случайные процессы являются математическими моделями, используемыми для анализа систем, которые в динамике характеризуются системным свойством без памяти, известным как свойство Маркова. Они основаны на теории вероятностей и теории случайных процессов.

Марковский процесс определяется набором состояний, в которые СПАЗ может переходить в соответствии с определенными вероятностными правилами. Переход из одного состояния в другое происходит на основе текущего и не зависит от истории предыдущих состояний. Построение Марковской модели безопасности СПАЗ включает определение состояний системы, их переходов и соответствующих вероятностей перехода. Начальным этапом является анализ структуры СПАЗ, сведений о безопасности ее компонентов, информация о восстановлении после отказа и другие факторы. На основе этих данных строятся математические модели, которые позволяют оценить вероятности нахождения СПАЗ в различных состояниях и проводить анализ надежности и безопасности [2]. Пусть архитектура (схема) СПАЗ в исходном рабочем состоянии 2oo3D. Ее модель в процессе деградации СПАЗ имеет вид, показанный на рисунке 1.

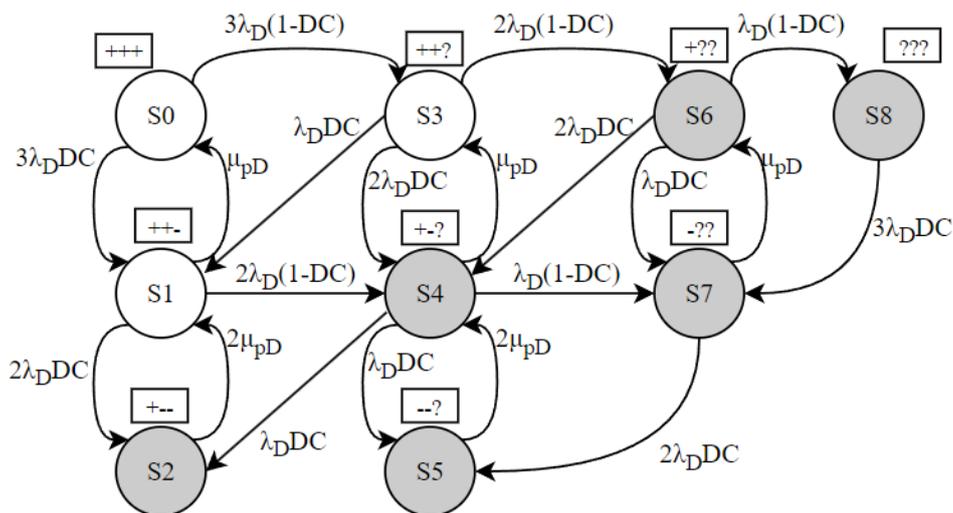


Рис. 1. Модель Маркова архитектуры 2oo3D БСС ПАЗ

За счет особенности архитектуры резервирования после деградации схемы СПАЗ 2oo3D, система может продолжать работать, так как два датчика СПАЗ еще работоспособны. Соответственно формируется архитектура СПАЗ 2oo2D, в которой хотя и увеличивается риск опасного отказа уровень безопасности сохраняет достаточный показатель SIL. Модель Маркова для архитектуры 2oo2D представлена на рисунке 2.

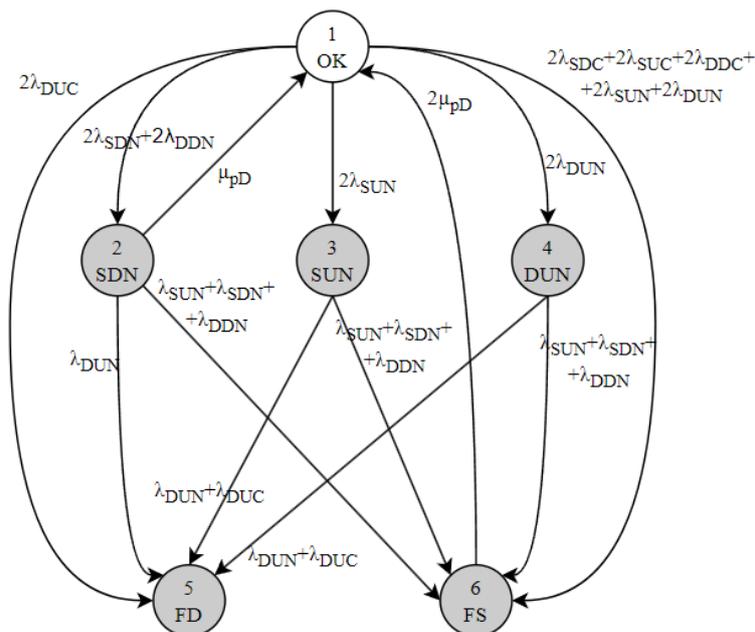


Рис. 2. Модель Маркова БСС ПАЗ, деградировавшей до уровня 2oo2D

Так как интеллектуальные датчики имеют собственную память, способную хранить данные, полученные за последние три месяца и цепи диагностики, при отказе одного датчика БСС в схеме 2oo2D система ПАЗ может выявить аварийный датчик (и отключить его) и произвести переход на архитектуру 1oo1D. Будем считать, что СПАЗ 1oo1D является последним ее состоянием, предельным рубежом выполнения СПАЗ функций защиты. Одноканальные системы 1oo1D ненадежны и небезопасны. Модель Маркова для архитектуры 1oo1D представлена на рисунке 3.

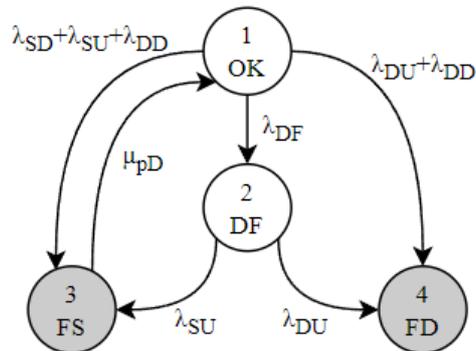


Рис. 3. Модель Маркова БСС ПАЗ, деградировавшей до уровня 1oo1D

В таблице 1 представлены базовые значения входных параметров модели функциональной безопасности.

Таблица 1

Базовые значения входных параметров

Параметр	Значение	Единица измерения
MTTF	50 000 [3]	час
MRT	8	час
T _D	4	час
DC	50 – 95	%
$\lambda = \frac{1}{MTTF}$	$2 \cdot 10^{-5}$	1/час
$\lambda_D = 0,4 \cdot \lambda$	$8 \cdot 10^{-6}$	1/час
$\mu_p = \frac{1}{MRT}$	0,125	1/час
$\mu_{pD} = \frac{1}{MRT + T_D}$	0,083	1/час

Вероятность нахождения системы в работоспособном состоянии является мерой SIL СПАЗ и определяет вероятность того, что система будет функционировать без отказов или сбоев в определенный момент времени. Ниже приведены графики вероятности безотказной работы (ВБР) и средней вероятности безотказной работы по запросу (*PFD_{avg}*) при высокой частоте опроса датчиков для схемы 2oo3D с разным уровнем деградации (рис. 4).

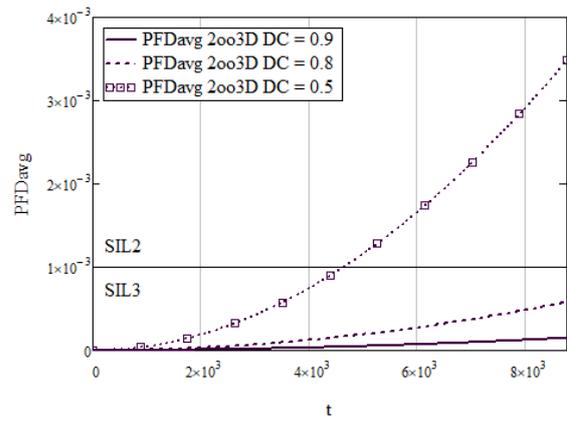
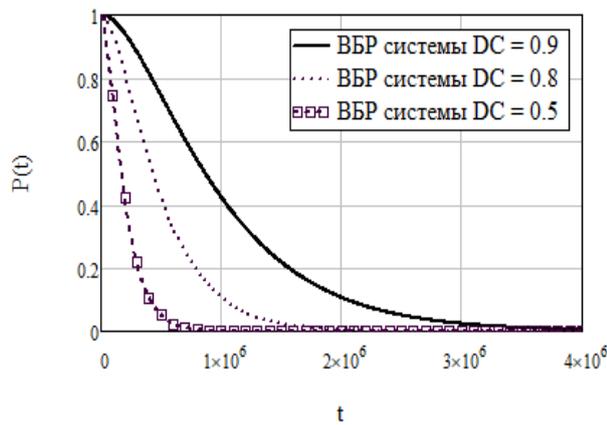


Рис. 4. Графики ВБР и PFDavg соответственно для архитектуры 2oo3D при различных DC (деградации систем самодиагностики)

Также ниже приведен график ВБР при непосредственной деградации схемы СПАЗ от 2oo3D архитектуры к 1oo1D (рис. 5).

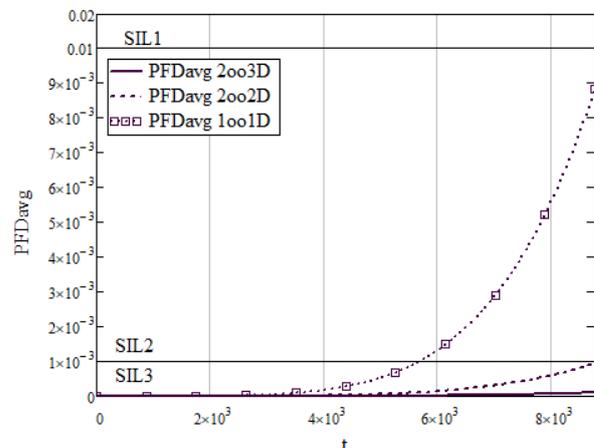
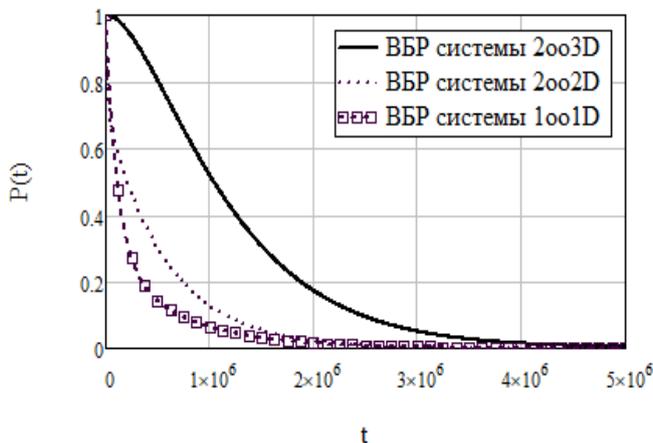


Рис. 5. Графики ВБР и PFDavg соответственно для моделей 2oo3D, 2oo2D, 1oo1D

Для подведения результатов составим таблицу зависимости ВБР системы при деградации БСС, а именно с уменьшением диагностического охвата (таблица 2) и PFDavg для архитектур резервирования 2oo3D, 2oo2D, 1oo1D (таблица 3).

Таблица 2

Зависимость ВБР и PFDavg от диагностического охвата

Значение DC	ВБР через 1 год обслуживания	PFDavg через 1 год обслуживания	SIL
0,9	0,987	$1,48 \cdot 10^{-4}$	SIL3
0,8	0,953	$5,799 \cdot 10^{-4}$	SIL3
0,5	0,79	$3,481 \cdot 10^{-3}$	SIL2

Таблица 3

Значения ВБР и PFDavg для архитектур резервирования 2oo3D, 2oo2D, 1oo1D

Архитектура резервирования	ВБР через 1 год обслуживания	PFDavg через 1 год обслуживания	SIL
2oo3D	0,998	$1,03 \cdot 10^{-4}$	SIL3
2oo2D	0,9	$9,402 \cdot 10^{-4}$	SIL3
1oo1D	0,943	$8,809 \cdot 10^{-3}$	SIL2

Из таблиц 2, 3 видно, что система может без опасных последствий функционировать на протяжении 1 года по схеме 2oo3D, деградировавшей до 2oo2D, обеспечивая высокий уровень полноты

безопасности (УПБ/SIL). В случае полной деградации до схемы 1oo1D рекомендуется в течение месяца остановить весь технологический процесс для обслуживания и ремонта оборудования СПАЗ, так как безопасность эксплуатации такой схемы приближается к SIL1, что не допустимо для ключевых объектов НГО.

Заключение

Разработана модель деградации БСС СПАЗ архитектуры 2oo3D до уровней 2oo2D, 1oo1D. Выполненный анализ процесса деградации БСС СПАЗ с использованием динамической Марковской модели и расчетом вероятности безопасной работы СПАЗ показал, что при достаточно большом диагностическом охвате от 80% и выше не требуется останавливать производство и выполнять комплекс восстановительных работ в СПАЗ. Безопасность БСС СПАЗ будет достаточно высокой при последующей эксплуатации на протяжении 1 года работы с момента первого отказа БСС. Для объектов повышенной опасности не рекомендуется доводить систему до 1oo1D так как такая схема СПАЗ становится не допустимой для обеспечения безопасности ОПО НГО

Список использованных источников

1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: Учеб. для вузов. – 6-е изд. стер. – М.: Высш. шк., 1999. – 576 с.: ил. – ISBN 5-06-003650-2. – С. 292-306.
2. TECHNICAL REPORT "Safety Instrumented Functions (SIF)-Safety Integrity Level (SIL) Evaluation Techniques Part 4: Determining the SIL of a SIF via Markov Analysis". – № ISA-TR84.00.02-2002. – С. 21-38.
3. Техническое описание "Возможности дистанционного контрольного испытания. Новейшее поколение устройств мониторинга уровня позволяет повысить безопасность и эффективность" от мая 2017. – № 00870-0207-4140, Ред. АА. – С. 1-8.