

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЕГРАДАЦИОННЫХ ОТКАЗОВ ПЕРВИЧНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА

А.В. Скатков, Д.Ю. Воронин, И.А. Скатков

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,
РФ, г. Севастополь, ул. Университетская, 33
E-mail: kvt.sevntu@gmail.com

Рассматриваются особенности моделирования деградационных отказов первичных измерителей систем мониторинга и сетей, построенных на их основе. Комплексный подход к моделированию предлагается выполнить на основе использования и развития аналитических соотношений, полученных для систем массового обслуживания. С этой целью предложен новый функциональный логический элемент – деградатор, являющейся минимальной структурной единицей при моделировании. Приведены результаты вычислительных экспериментов с целью оценивания степени влияния параметров интенсивности деградации на системные характеристики.

Ключевые слова: первичный измеритель, деградационный отказ, деградатор, вычислительный эксперимент.

Введение. Эффективность современных систем контроля окружающей среды (СКОС) определяется функционально-структурным взаимодействием всех компонент. Их дальнейшее развитие ведет к активному использованию в них распределенных проблемно-ориентированных сред, качественных процедур распределения средств и ресурсов, а также средств своевременной оценки их технического состояния [1]. Функционально-структурная сложность современных СКОС приводит к необходимости синхронного выполнения множества параллельно-последовательных информационных процессов. Остро стоит вопрос своевременного выявления сбоев, ошибок, отказов технических компонент, программных продуктов, вызванных неверными или несвоевременными действиями персонала. Одной из самых уязвимых компонент СКОС являются датчики – первичные измерители (ПИ) – выполненные, как правило, в виде конструктивно обособленных элементов. Совокупность таких датчиков образует распределенную сеть первичных измерителей (СПИ), которая в силу особенностей предметной области зачастую функционирует в агрессивных средах. Систематическое воздействие таких сред на ПИ и СПИ вызывает физические деградационные случайные процессы, которые имеют способность аккумулиро-

вать возникающие дефекты, приводящие, в совокупности, к деградационным отказам (ДО). Такой отказ сопровождается нарушениями функционально-метрологических характеристик, в частности, нелинейной статической и динамической. Под воздействием ДО может изменяться допустимый диапазон измеряемых величин, а также недопустимо увеличиваться основные и дополнительные величины погрешностей, что приводит к системным нарушениям в оценке стабильности и повторяемости. Иногда это сопровождается потерями необходимой разрешающей способности, возможности осуществления калибровок, смещенностями статистических оценок. Отмеченные обстоятельства подтверждают актуальность задачи своевременного распознавания фактов наступления ДО. Ее решение в общем виде не получено. Известны лишь решения частных задач в относительно узких проблемных областях. Таким образом, имеющиеся оценки ДО хотя и обладают сравнительно высокой адекватностью, но не могут являться базой для разработки общесистемных моделей ДО СПИ. В тоже время ощущается острая потребность в таких моделях, которые могут стать основой для стандартизации и унификации проектных решений, норм эксплуатации, планирования организационно-технических мероприятий, технической

диагностики, профилактики и процессов восстановления. Построение версии модели такого рода является предметом настоящей работы.

Анализ состояния проблемы. Развивая положения известных работ [2, 3], будем основываться на следующем определении процесса мониторинга применительно к рассматриваемым далее задачам. Мониторинг – это информационный процесс систематического (непрерывного или дискретного типа) сбора, фильтрации, систематизации и кластеризации информации о параметрах, структуре и состоянии сложного (в том числе распределённого) объекта (группы объектов) или процесса (совокупности процессов) с целью поддержки принятия последующих решений по выработке управляющих воздействий и рекомендаций по результатам решения специальных задач планирования и управления антропогенными воздействиями на окружающую среду.

Высокий уровень ответственности и социальной значимости таких задач налагает особые требования к достоверности, обоснованности и точности первичной информации, получаемой из сети ПИ – первичных измерителей.

Разработку системных моделей ДО необходимо проводить с учетом ряда ограничений, наиболее полно отражающих суть рассматриваемой задачи и находящих полезное использование в целом ряде выполненных различными авторами исследований в области деградации систем и их компонент [4 – 10].

Деградационный дефект компонента системы мониторинга ПИ определяется физическим процессом накопления повреждений во времени. Деградационный отказ ПИ определяется выходом за установленные пределы одной из его системных характеристик (например, оценки абсолютной или относительной погрешности). Деградационный отказ системы ПИ обусловлен долей отказавших в ней ПИ, которая устанавливается директивно на основе суждений ЛПР.

Деградационные процессы и сопровождающие их отказы исследовались в самых различных постановках задач и приложениях: электронные изделия [4], информационные системы [5], технические

системы [6]. Во многих вопросах анализа причин и следствий ДО достигнуты определенные успехи, содержащиеся, например, в диссертационных исследованиях [7, 8].

Задачи анализа деградационных отказов ПИ рассматривались в различных постановках и целевых детализациях. Так, в работе [4] предложена математическая модель дрейфа функциональных параметров изделий электронной техники под действием агрессивных возмущений внешней среды, в результате чего происходит накопление повреждений и имеют место деградационные отказы. Авторами получены аналитические решения, определяющие плотность распределения времени безотказной работы для случая достаточно жестких ограничений, что снижает область практического использования полученных результатов.

В работе [9] рассматриваются параметрические отказы интегральных схем на основе методов Бокса-Дженкинса. Предлагаемый подход может быть также использован для построения модели деградационных отказов. Однако возникают существенные трудности при получении оценок точности для времени безотказной работы. Общность получаемых результатов ограничена рамками конкретных экспериментальных исследований, выполненных авторами.

Авторы работы [10] предлагают модель деградации на основе уравнений Чепмена – Колмогорова, пуассоновских потоков и предположений марковости состояний. В такой постановке ими решена задача определения интенсивности отказов, сведённая к минимизации специального функционала.

Необходимо отметить следующие основные методические ограничения выполненных работ.

1. Использование функций распределения, заданных на неограниченных интервалах (всюду в области их определения).

Исходя из физической сущности рассматриваемых стохастических зависимостей, при моделировании задач анализа ДО важно рассматривать случайные величины, определённые лишь на некоторых замкнутых интервалах $[\alpha, \beta]$.

$$F_{yc}(x) = \begin{cases} [F(\beta) - F(\alpha)]^{-1} \int_{\alpha}^x F'(x) dx & \text{при } x \in [\alpha, \beta]; \\ 0 & \text{при } x \notin [\alpha, \beta]. \end{cases} \quad (1)$$

При этом, необходимо обеспечить выполнение операции усечения с использованием выражения (1). Корректное выполнение операции усечения особенно важно при использовании распределения с «тяжёлыми хвостами»: Вейбулла, γ – распределения и других [11].

2. Использование в предложенных моделях простейших потоков свойств марковости, показательных распределений. В то же время известно, что физическая сущность ДО определяется накопительными эффектами повреждений, возникающих под воздействием агрессивной внешней среды. Это приводит к необходимости использования случайных процессов сложной структуры и фазовых пространств общего вида с последующим переходом к макроописаниям

3. Отсутствие управляющих параметрических воздействий с целью их использования в системах поддержки принятия решений (СППР) для построения оценочных функционалов как базы вариантового анализа.

В данной статье предлагается решение для преодоления некоторых из указанных ограничений в подходах к моделированию ДО.

Целевые функционалы оценки качества распределённого мониторинга. Будем использовать $[0, T]$ – замкнутый операционный интервал времени оценивания потоков ДО и их суммарных характеристик. Причем, текущий момент времени $t_k = t_0 + k \Delta t$, ($k = 0, \ell$; $t_0 = 0$),

$$\text{CM}_{t_k} \text{CA}_j \text{OM}_i \{M[Y_j(i, j, I_k, t_k, p_k, s_k, r_k, u_k, n_k, z_k, ir_k, \xi)]\} \rightarrow extr, \quad (2)$$

где M – символ математического ожидания; Y_j – оценка функционала качества функционирования СПИ при j -й реализации (зависящая от уровня метрологической и статистической достоверности, быстродействия, функциональной полноты и т.д.); p_k – используемый вариант структуры СПИ; s_k – параметрическое состояние ПИ в момент времени t_k ; r_k – объём доступных ресурсов сети в

где Δt – длительность квантовых промежутков времени на операционном интервале. Кроме того, введем следующие обозначения: n_k – ресурсы, выделяемые на систему мониторинга; u_k – стратегия распределения ресурсов сети; z_k – правило перераспределения ресурсов на основе данных в сети первичных измерителей (СПИ); ξ – помехи (неконтролируемые воздействия, несанкционированный доступ и т.п.); I_k – доступная апостериорная информация при решении задач оценивания функционально-структурной устойчивости СПИ.

Оценивание качества СПИ необходимо производить в области допустимых изменений условий её функционирования: $t_k \in [0, T]$, $p_k \in P$, $s_k \in S$, $u_k \in U$, $n_k \in N$, $z_k \in Z$.

Для построения целевого функционала оценки качества распределённого мониторинга, описываемого выражением (2) и определяемого в области $st_k \in ST$, $f_k \in F$, $v_k \in V$, $g_k \in G$, $d_k \in D$, $q_k \in Q$, $b_k \in B$, $w_k \in W$, $a_k \in A$, $e_k \in E$, $ir_k \in IR$, введём следующие операторы: CM_{t_k} – оператор усреднения по времени $t_k \in [0, T]$; CA_j – оператор усреднения по ансамблю реализаций $j \in [1, N]$; OM_i – оператор усреднения по множеству IM (первичных измерителей).

момент времени t_k (предназначенных для компенсации деградационных воздействий); N – число реализаций процедуры оценивания функционала Y ; ir_k – параметры правил принятия решений при оценки качества ПИ.

Экстремальная задача (2) может быть детализирована путем различного разбиения входящих в нее переменных на два типа: управляющие и ограничивающие.

Для достижения целей исследования, обсуждаемых в данной работе, в качестве управляющих воздействий необходимо использовать элементы множества IR, описываемые выражением (3).

Конкретная детализация оптимизационной задачи (3), определяется принятой

$$\langle r_1^0, r_2^0, \dots, r_{|IR|}^0 \rangle = \arg \left(\min_{r_1 \in IR} \min_{r_2 \in IR} \dots \min_{r_{|IR|} \in IR} \text{CM}_{t_k} \text{CA}_j \text{OM}_i \{M[Y]\} \right). \quad (3)$$

Формализация проблемно-ориентированной функциональной среды. Определим состояние проблемно-ориентированной функциональной среды системы ПИ как кортеж вида (4).

$$SS : \{M[Y], KF, KL, IR\}, \quad (4)$$

где KF – матрица функций распределения потока внешних деградирующих воздействий на ПИ;

KL – параметры матрицы KF, однозначно определяющие интенсивности внешних воздействий.

Состояние узла сети ПИ определяется кортежем вида (5).

$$UU : \{UJ, UM, UP\}, \quad (5)$$

где UJ – случайная функция интенсивности внешних воздействий, действующих на узел, определяемых в соответствии с матрицами KF и KL;

UM – текущее значение вектора метрологических характеристик узла;

UP – пороговые (предельно допустимые) значения метрологических характеристик.

Элементы кортежа (4) являются функциями момента времени t_k . В простейшем случае текущему состоянию сети ПИ можно поставить в соответствие элемент бинарного множества US, которое используется для индикации факта наступления деградационного отказа. При необходимости можно расширить число состояний сети, что позволит учесть большее число градаций управленческих решений.

На основании введенных определений, на основе кортежей (4) и (5) построим систему отображений (6).

На кортеже SS определим текущую функцию потерь в данный момент времени $FF(SS(t))$ и среднюю функцию потерь на интервале за конечное время T $FT(SS, T)$, а так же функцию суммарных (накопленных) потерь $FS(SS, T)$, зависи-

той формализацией и целевой ориентированностью проблемы оценивания последствий деградационных воздействий. Один из возможных примеров такой формализации приводится ниже.

сящих от аргументов соотношения (2), а также компонент кортежей (4) и (5).

$$\begin{cases} \Pi_1 : UU \rightarrow US, \\ \Pi_2 : UU \times US \rightarrow SS \end{cases} \quad (6)$$

Детализируем множество R. Каждое правило, входящее в R, определяется в результате используемой ЛПР стратегией SR. Первый уровень детализации предполагает наличие двух элементов в множестве R: r_1 – индикатор правила, определяющего деградационный отказ каждого первичного измерителя; r_2 – индикатор правила, определяющий деградационный отказ сети в целом. Тогда функция FT становится явно зависящей от индикаторов, т.е. $FT = (r_1, r_2)$. Стоимостные функции, как правило, обладают аддитивностью по времени и по процессам.

Тогда функция суммарных потерь описывается выражением (7), а функция терминальных потерь – (8).

$$FS(SS, T) = \sum_{t \in [0, T]} \sum_{j \in M} FF(SS_j(t)), \quad (7)$$

$$FT(SS, T) = \frac{1}{T} \sum_{t \in [0, T]} \sum_{j \in M} FF(SS_j(t)). \quad (8)$$

С использованием введенных функций потерь (7) и (8) можно детализовать оптимизационную задачу (3), представив ее в виде совокупности двух сопряженных. Первая задача оценивания системы ПИ (описывается выражением 9): необходимо в области наложенных ограничений найти такое подмножество правил r_1 и r_2 , которые в совокупности минимизируют FT. Вторая задача оценивания ПИ (описывается выражением 10): необходимо в области наложенных ограничений найти такую систему правил r_1 и r_2 , которые в совокупности минимизируют FS.

$$\langle r_1^0, r_2^0 \rangle = \arg \min_{r_1 \in SR} \min_{r_2 \in SR} \sum_{t \in [0, T]} \sum_{j \in J} FT(SS(t)), \quad (9)$$

$$\langle r_1^0, r_2^0 \rangle = \arg \min_{r_1 \in SR} \min_{r_2 \in SR} \sum_{t \in [0, T]} \sum_{j \in J} FS(SS(t)). \quad (10)$$

Задачи (9) и (10) основаны на использовании системы отображений (6). Структурная и параметрическая идентификация этих отображений, а соответственно и решение задач (9) и (10), возможна на основе построения соответствующих моделей (аналитических и/или имитационных). Выполнить моделирование в классе известных подходов представляется весьма сложной задачей. С целью конструктивного преодоление этих трудностей предлагаем ввести в рассмотрение и использовать минимальный для сети ПИ структурно-функциональный элемент таких моделей – деградатор.

Функциональное описание минимального структурного элемента сети ПИ. Деградатор – логический элемент для моделирования деградационных отказов, который конструктивно может быть оформлен в виде законченного устройства. На вход vx деградатора DE поступает временная последовательность случайных сигналов с функцией распределения общего вида. Целесооб-

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{If } (vx(t_n) = 0) \text{ then } (qs(t_n) = |qs(t_{n-1})|, ds1(t_n) = 1, ds2(t_n) = 0, vy = 0); \\ \text{If } (vx(t_n) = 1) \text{ then } [(qs(t_n) = |qs(t_{n-1})| + 1); \\ \text{If } qp > |qs(t_n)|, \text{ then } (ds1 = 1, ds2 = 0, vy = 0); \\ \text{else } (ds1 = 0, ds2 = 1, vy = 1); \end{array} \right] \quad (11)$$

Порог срабатывания деградатора qp определяется в соответствии с правилами принятия решений (r_1, r_2) . На рис. 1 приведена схема, описывающая жизненный цикл первичного измерителя, подверженного процессам деградации с учетом автовосстановления.

Особенности построения аналитических моделей ДО. Как следует из описания логический элемент DE служит для моделирования деградационных воздействий на соответствующий ПИ, а их совокупность обеспечивает моделирование всего множества деградаторов. Каждый из таких логических элементов $DE_i, i = \{1, \dots, |IM|\}$ через коммутатор подсоединяется ко входу системного деградатора DES, который подчиняется

разно при моделировании использовать цепочку, состоящую из последовательно соединенных деградатора DE и триггера D-типа, установленного предварительно в состояние «0». Деградатор – это элемент с памятью, который может находиться в двух состояниях: ds1 и ds2. Ситуация, когда суммарное число входных деградационных воздействий не превысило некоторого критического значения qp, соответствует состоянию ds1. В противном случае на выходе vy появляется единичный импульс, который устанавливает триггер D-типа в единичное состояние. Деградатор DE имеет встроенный счетчик входных импульсов dq, который перед началом модельного времени обнуляется.

Для нулевого момента времени $t_0 = 0$ положим:

$vx = 0, |qs| = 0; ds1 = 1, ds2 = 0, vy = 0, vy = 0$, где $|qs|$ – содержимое счетчика деградатора. Логика работы деградатора описывается системой рекуррентных условных операторов (11).

системе условных операторов (11). Переход DES в единичное состояние соответствует системному событию "деградационный отказ сети ПИ". При этом счетчик модельного времени покажет время наработки для текущей реализации. Усреднение по числу реализаций этой величины позволяет получить оценку математического ожидания времени безотказной работы сети ПИ как функцию порогов срабатывания qp(i), sqp.

Случайный поток деградационных отказов ПИ – и как результат деградационный отказ системы ПИ – может иметь самые различные формализации: простейший, марковский, полумарковский, диффузионный, кластерный и др.

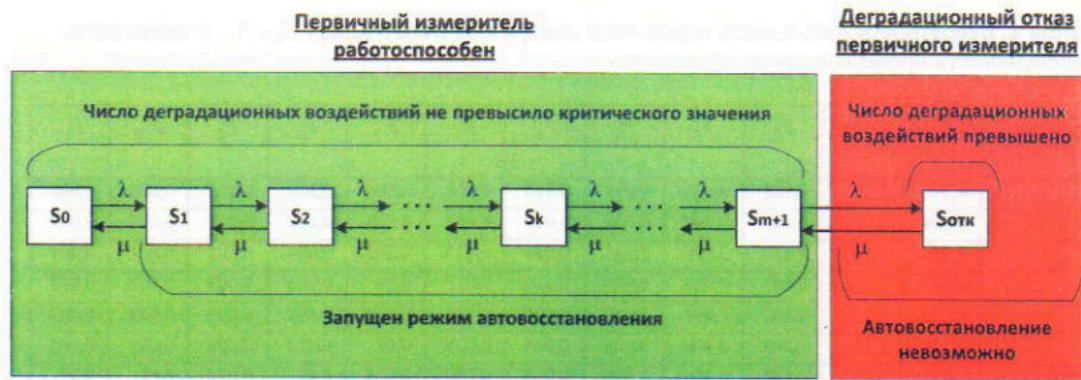


Рис. 1. Жизненный цикл первичного измерителя, подверженного процессам деградации с учетом автоворесстановления

Имеет место принципиальный системный конфликт между адекватностью описания деградации реальных систем ПИ и трудоемкостью аналитических представлений при математическом моделировании. Наиболее часто используется и достаточно хорошо проработан подход к моделированию систем, находящихся под воздействием случайных потоков, основанный на использовании линейных дифференциальных уравнений Чепмена-Колмогорова [12]. Такой подход обладает минимальной вычислительной трудоемкостью, но, к сожалению, недостаточной адекватностью, особенно при высоких интенсивностях событий. Необходимо учитывать, что деградационные процессы обладают памятью, и, следовательно, последействием, что ограничивает использование прошлых случайных потоков, как средства моделирования. Тем не менее, имеется две задачи, которые оправдывают прагматизм подхода Чепмена-Колмогорова. Первая – связана с тестированием вырожденных режимов в соответствующих имитационных моделях, вторая – с получением опорных решений и анализом особенностей рабочих областей при дальнейшем решении задач идентификации и оптимизации методом последовательных приближений.

С этой целью полезно представление процесса деградации системы ПИ в виде замкнутой системы массового обслуживания с конечным накопителем, которая рассмотрена, например, в [12]. Для нее известны: график переходов и основные расчетные соотношения для такой си-

стемы. Сущность предлагаемого подхода состоит в следующем. Пусть в системе находится n ПИ, а отказ системы ПИ наступает при отказе m из них. Тогда полное пространство состояний системы ПИ следующие:

S_0 – все ПИ – работоспособные, отказавших нет;

S_1 – один ПИ в состоянии деградации отказа, началось его восстановление;

S_2 – два ПИ в состоянии деградации отказа, началось его восстановление;

S_m – m ПИ в состоянии деградации отказа, каждый из них находится в стадии восстановления, система ПИ в целом находится в состоянии отказа и началось ее восстановление;

S_n – все ПИ отказали, m из них восстанавливаются, $(n - m)$ ждут в очереди на восстановление.

Проиллюстрируем работу моделирующей программы функционирования некоторого ПИ на примере, положив интенсивность потока деградационных воздействий $\lambda = 1$. Интенсивность процесса автоворесстановления μ варьируется от 0,8 до 2 с шагом 0,1. Известно, что деградационная нагрузка ПИ $\rho = \lambda / \mu$, таким образом $\rho = \{0.5; \dots; 1.25\}$. Ниже приводится матрица оценки вероятности пребывания ПИ в состояниях для различных μ (табл. 1). Каждая ее строка соответствует вероятностям нахождения системы в различных состояниях $S_i, i = \{0, \dots, 11\}$. Графическая зависимость вероятности отсутствия деградационного отказа от ρ (для различных значений ρ), изображена на рис. 2.

Таблица 1. Вероятности нахождения первичного измерителя в состояниях $S_0 - S_{11}$ в зависимости от интенсивности процессов автовосстановления

$\mu \backslash P(S_i)$	P_0	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8	P_9	P_{10}	P_{11}
2	0,5	0,25	0,125	0,063	0,031	0,016	0,008	0,004	0,002	0,000	0,000	0,000
1,9	0,474	0,249	0,131	0,069	0,036	0,019	0,01	0,005	0,003	0,001	0,007	0,007
1,8	0,445	0,247	0,137	0,076	0,042	0,024	0,013	0,007	0,004	0,002	0,001	0,001
1,7	0,412	0,243	0,143	0,084	0,049	0,029	0,017	0,01	0,005	0,003	0,002	0,002
1,6	0,376	0,235	0,147	0,092	0,057	0,036	0,022	0,014	0,008	0,005	0,003	0,003
1,5	0,336	0,224	0,149	0,100	0,066	0,044	0,029	0,02	0,013	0,008	0,005	0,005
1,4	0,291	0,208	0,148	0,106	0,076	0,054	0,039	0,028	0,02	0,014	0,01	0,01
1,3	0,241	0,185	0,143	0,11	0,084	0,065	0,05	0,038	0,03	0,023	0,017	0,017
1,2	0,188	0,156	0,13	0,109	0,091	0,075	0,063	0,052	0,044	0,036	0,03	0,03
1,1	0,133	0,121	0,11	0,1	0,091	0,083	0,075	0,068	0,062	0,057	0,051	0,051
1	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083
0,9	0,044	0,049	0,054	0,06	0,067	0,074	0,082	0,091	0,102	0,113	0,125	0,125
0,8	0,018	0,023	0,029	0,036	0,045	0,056	0,07	0,088	0,11	0,137	0,172	0,172

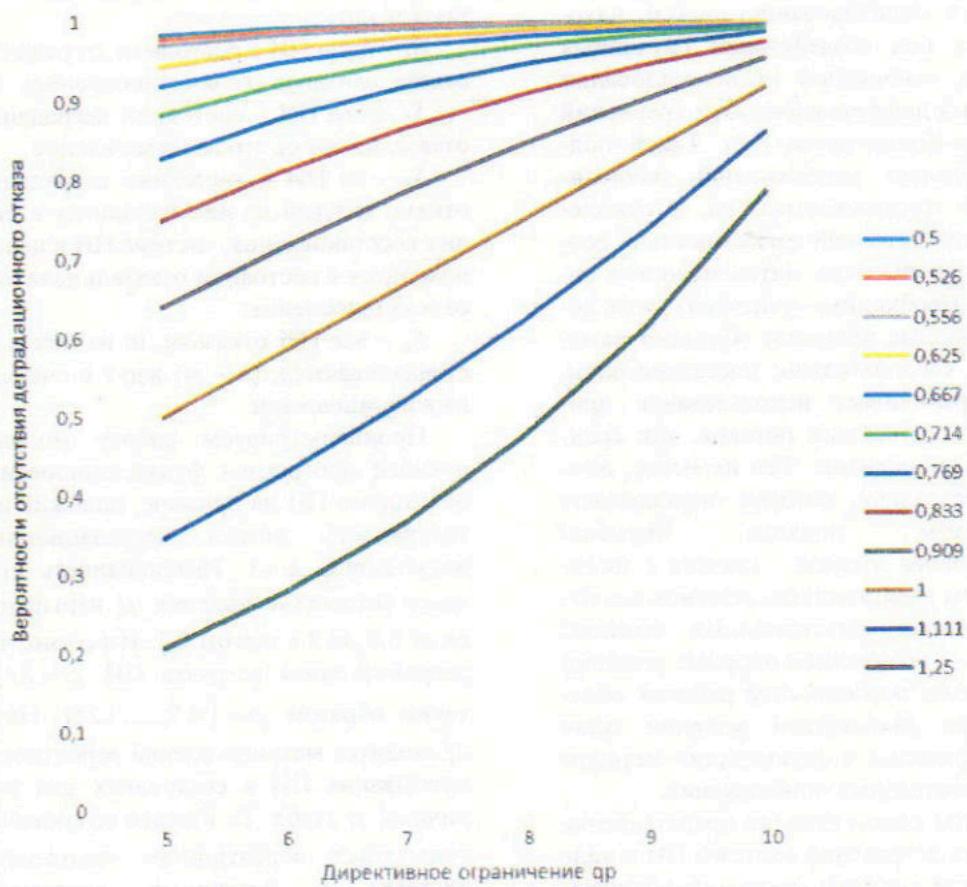


Рис. 2. Семейство графиков (для различных значений деградационной нагрузки ПИ), отражающих зависимость вероятности отсутствия деградационного отказа от q_p

Таблица 2. Вероятности отсутствия деградационного отказа в зависимости от интенсивности деградационных воздействий и директивных ограничений qr

$\rho \backslash qr$	5	6	7	8	9	10
0,5	0,984	0,992	0,996	0,998	0,999	0,999
0,526	0,979	0,989	0,995	0,997	0,998	0,999
0,556	0,971	0,984	0,991	0,996	0,998	0,999
0,588	0,960	0,977	0,987	0,993	0,996	0,998
0,625	0,943	0,966	0,980	0,989	0,994	0,997
0,667	0,919	0,949	0,968	0,982	0,991	0,996
0,714	0,883	0,921	0,949	0,969	0,983	0,992
0,769	0,828	0,878	0,917	0,946	0,969	0,986
0,833	0,749	0,812	0,864	0,908	0,944	0,974
0,909	0,639	0,715	0,783	0,845	0,902	0,953
1	0,5	0,583	0,667	0,75	0,833	0,916
1,111	0,347	0,429	0,520	0,622	0,735	0,860
1,25	0,208	0,278	0,366	0,476	0,613	0,785

На основе результатов, представленных в табл. 1, построим матрицу, описывающую вероятности отсутствия деградационного отказа в зависимости от интенсивности деградационных воздействий и директивных ограничений qr (представлена в табл. 2).

Из анализа содержания таблиц и рисунка видно, что вероятность деградационных отказов повышается при уменьшении qr и μ . То есть, $\mu=2$ соответствует высокой интенсивности автовосстановлений. При этом вероятности пребывания в состояниях выше второго практически равны нулю. В тоже время для невысоких интенсивностей появляются суммарно высокая вероятность пребывания в состояниях выше седьмого. При высокой интенсивности автовосстановления ($\mu=2$) равновероятны события появления деградационного воздействия и его отсутствия. Однако, для $\mu=0,8$ состояние S_0 практически недостижимо. Для старших состояний вероятности их пребывания при $\mu=2$ практически равны нулю и увеличиваются на два порядка при уменьшении μ до 0.8. Аналогичным образом могут быть получены оценки системных отказов сети ПИ.

Заключение. Предложен комплексный подход, ориентированный на моде-

лирование деградационных отказов первичных измерителей систем мониторинга, который в отличие от существующих развивает аналитические соотношения, полученные для систем массового обслуживания, что позволяет моделировать деградационные отказы как в отдельном ПИ так и в сети. Приведены результаты вычислительных экспериментов с целью оценивания степени влияния параметров интенсивности деградации на системные характеристики. Предлагаемые решения полезны при эксплуатации систем мониторинга для планирования периодичности планового ремонта и регламентных работ, а также при проектировании новых систем мониторинга и их вариантом анализе.

Работа выполнена при частичной поддержке Российского Фонда Фундаментальных исследований, грант №15-29-07936.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гайский П.В., Трусевич В.В., Забурдаев В.И. Автоматический биоэлектронный комплекс, предназначенный для раннего обнаружения отравляющих загрязнений пресных и морских вод // Морской гидрофизический журнал. 2014. № 2. С. 44–53.

2. Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. М.: Наука, 2006. 410 с.
3. Скатков А.В., Балакирева И.А., Шевченко В.И. Технологии системотехнических решений: монография. М.: Изд-во «Спутник+», 2016. 267с.
4. Козлова И.Н., Пиганов М.Н., Тюлевин С.В. Математические модели дрейфа функциональных параметров электронных изделий // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. Т. 12. № 4 (3). С. 668–673.
5. Доронина Ю.В. Реинжиниринг информационных систем: монография. М.: Изд-во «Спутник+», 2015. 170 с.
6. Случайные сигналы в задачах оценки состояния технических систем / Е.С. Переверзев [и др.]. К.: Наук. думка, 1992. 252 с.
7. Максимова Е.А. Закономерности деградации полупроводниковых чувствительных элементов автомобильных датчиков Холла: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2007.
8. Адарчин С.А. Деградация микроэлектромеханических структур измерительных тензопреобразователей датчиков давления: дис. ... канд. техн. наук. Калуга, 2003.
9. Горлов М., Строгонов А. Геронтология кремниевых интегральных схем. Часть 2. Прогнозирование долговечности ИС по параметрическим отказам. Электр. текст. данные]. Режим доступа: http://www.chipnews.ru/html.cgi/arhiv_i/00_02/stat_57.htm (дата обращения: 02.02.2017).
10. Портнягин Н.Н., Плюкке Г.А., Горрева Т.И. Построение моделей деградации систем на основе байесовского оценивания параметров составляющих компонент // 73.34.81 Автоматизированные системы управления и вычислительная техника на водном транспорте. Режим доступа: <http://econf.rae.ru/article/5626> (дата обращения: 03.02.2017).
11. Вадзинский Р.Н. Справочник по вероятностным распределениям. СПб.: Наука, 2001. 295 с.
12. Исследование операций / Ю.И. Ларионов [и др.]. Харьков: ИД «Инжек», 2005. Ч. 2. 288 с.

FEATURES OF DEGRADATION FAULTS MODELING OF INITIAL MEASURERS OF MONITORING SYSTEMS

A.V. Skatkov, D.Y. Voronin, I.A. Skatkov

Sevastopol State University, Russian Federation, Sevastopol, Universitetskaya St., 33

The features of the modeling of degradation faults of the primary measurers of monitoring systems and networks based on their basis are considered. An integrated approach to modeling invited to perform on the basis of the use and development of analytical relations obtained for queuing systems. For this purpose it has been proposed a new functional logic component – degradator, which is the minimum structural unit of the simulation. The results of computational experiments for the purpose of estimating the degree of influence the degradation rate parameters on the system performance are given in the paper.

Keywords: initial measurer, degradation fault, degradator, computational experiment.