

УДК 62-503.56

А. К. Канаев, М. А. Сахарова, Е. В. СкудневаПетербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СЕТЬЮ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПРИ ЗАПРОСАХ
НА ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ**

В статье предложен алгоритм функционирования системы управления (СУ) сетью передачи данных (СПД) при периодических запросах от СУ на определение технического состояния СПД через систему технической диагностики.

Представлена математическая модель процесса функционирования СУ СПД с помощью метода топологического преобразования стохастических сетей, при котором, в отличие от графоаналитических методов можно декомпозировать исследуемый процесс на элементарные процессы, каждый из которых будет характеризоваться функцией распределения и средним временем выполнения процесса.

система управления, сеть передачи данных, топологическое преобразование стохастических сетей, оперативность функционирования системы управления, система поддержки принятия решений, нейронная сеть.

Введение

При принятии решения плохо формализованных и слабо структурированных задач в отсутствие полной и достоверной информации о состоянии элементов сети передачи данных (СПД) в условиях ограниченного времени на анализ проблемных ситуаций и принятие решения администратору (лицу, принимающему решение – ЛПР) сети необходимо знать все применяемое сложное оборудование СПД. Это приводит к тому, что требования эффективного управления сетью не выполняются, поскольку ЛПР не в состоянии обработать весь объем поступающей информации за минимальное время.

Для устойчивого функционирования современной СПД необходимо применять систему управления (СУ), которая выполняет следующие основные задачи: своевременно обнаруживает неисправности и отказы в оборудовании; управляет конфигурацией сети; резервирует и восстанавливает эле-

менты сети; управляет сетевым трафиком. Для выполнения поставленных задач СУ СПД необходимо применение системы поддержки принятия решений (СППР), которые ориентированы на сбор, накопление и обобщение знаний, принятие решений в условиях недостаточности вычислительных и временных ресурсов, а при использовании средств интеллектуального анализа данных СППР будут способны к обучению и адаптации. Такие СППР назовем интеллектуальными СППР (ИСППР).

1 Структурно-функциональная модель СУ СПД

СУ СПД включает три уровня управления: организационный, оперативно-технический, технологический [1], которые подробно рассмотрены в [2].

На рис. 1 представлена структурно-функциональная модель взаимодействия ИСППР в структуре СУ СПД и элементов СПД.

ИСППР функционирует на уровне технологического управления и взаимодействует с СПД через систему технической диагностики

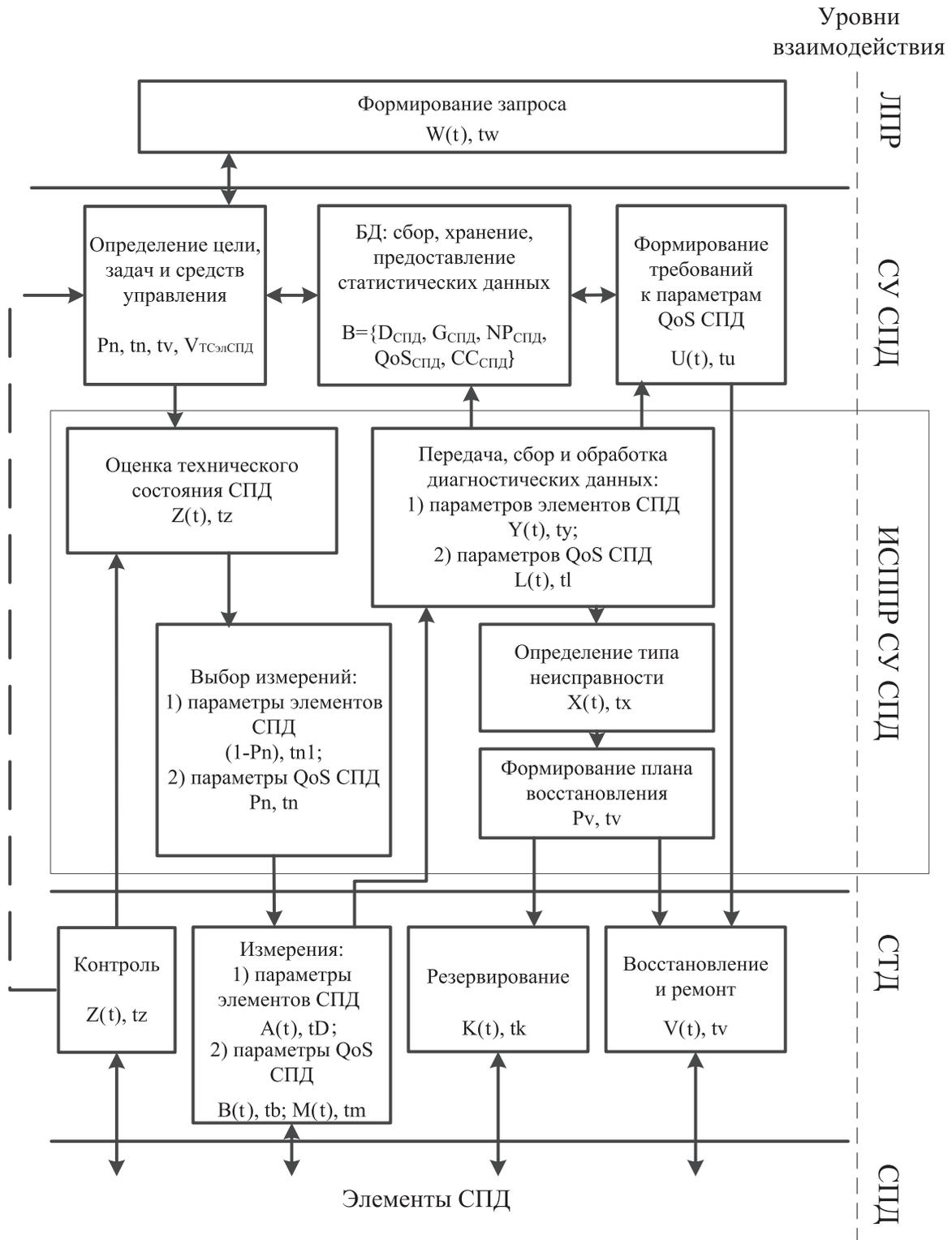


Рис. 1. Структурно-функциональная модель взаимодействия ИСППР в структуре СУ СПД и элементов СПД

(СТД), осуществляющей оперативный контроль параметров элементов сети и качества обслуживания (QoS), измерение диагностических параметров СПД, резервирование, восстановление и ремонт элементов СПД.

Перечислим базовые операции, выполняемые при принятии решений в ИСППР: определение технического состояния СПД; выбор измерений на основе оценки технического состояния СПД; передача, сбор и обработка диагностических данных; определение типа неисправности; формирование плана восстановления СПД.

При формировании решений в ИСППР СУ СПД по восстановлению исправного состояния СПД можно использовать метод ситуационного управления [3], при котором каждому набору входных данных (диагностических параметров СПД) соответствует типовое решение по восстановлению СПД.

2 Алгоритмы функционирования СУ СПД

Структурно-функциональная модель СУ СПД имеет многоуровневую организацию, в связи с этим описание процесса функционирования СУ СПД представляет собой сложную исследовательскую задачу.

Для решения различных задач СУ СПД может работать в разных режимах. Представим ключевые алгоритмы ее функционирования:

1) при периодических запросах от СУ на определение технического состояния СПД;

2) обращении пользователей СПД в службу поддержки в связи с изменением перечня предоставляемых услуг или при снижении показателей QoS;

3) сообщении в СУ о выходе из строя одного или нескольких элементов СПД;

4) модернизации СПД.

Процесс функционирования СУ СПД, согласно алгоритму № 1 (рис. 2), осуществляется через равные интервалы времени, при этом должен поддерживаться непрерывный контроль всех элементов СПД и постоянно

пополняться база знаний СУ СПД с целью накопления сведений о состоянии сети и составлении статистики ее работы.

Алгоритм № 2 функционирования СУ СПД запускается при обращении пользователя СПД в связи с изменением перечня предоставляемых услуг или при снижении показателей QoS.

Функционирование СУ СПД по алгоритму № 3 выполняется по факту выявления неисправности или полного выхода из строя одного или нескольких элементов СПД, причем могут использоваться как устройства со встроенными средствами диагностики, так и без них.

Алгоритм № 4 функционирования СУ СПД применяется только в случае существенных изменений в СПД, например, при изменении топологии СПД.

3 Модели оценки оперативности функционирования СУ СПД

Для оценки оперативности функционирования ИСУ СПД можно использовать различные модели (графоаналитический, марковские цепи, топологического преобразования стохастических сетей (ТПСС) и другие).

Графоаналитическая модель при решении задачи анализа сводится к поиску путей между вершинами графа [4]. Однако из-за сложности процесса применение такого метода требует дополнительного определения весовых коэффициентов.

Модель марковских цепей применима для обоснования способов рациональной организации функционирования СУ СПД, но существует трудность задания исходных данных, а также такая модель не учитывает время нахождения системы в отдельных состояниях.

При применении модели ТПСС сложный процесс функционирования СУ СПД можно декомпозировать на элементарные процессы, каждый из которых будет характеризоваться функцией распределения или средним временем выполнения процесса [5].

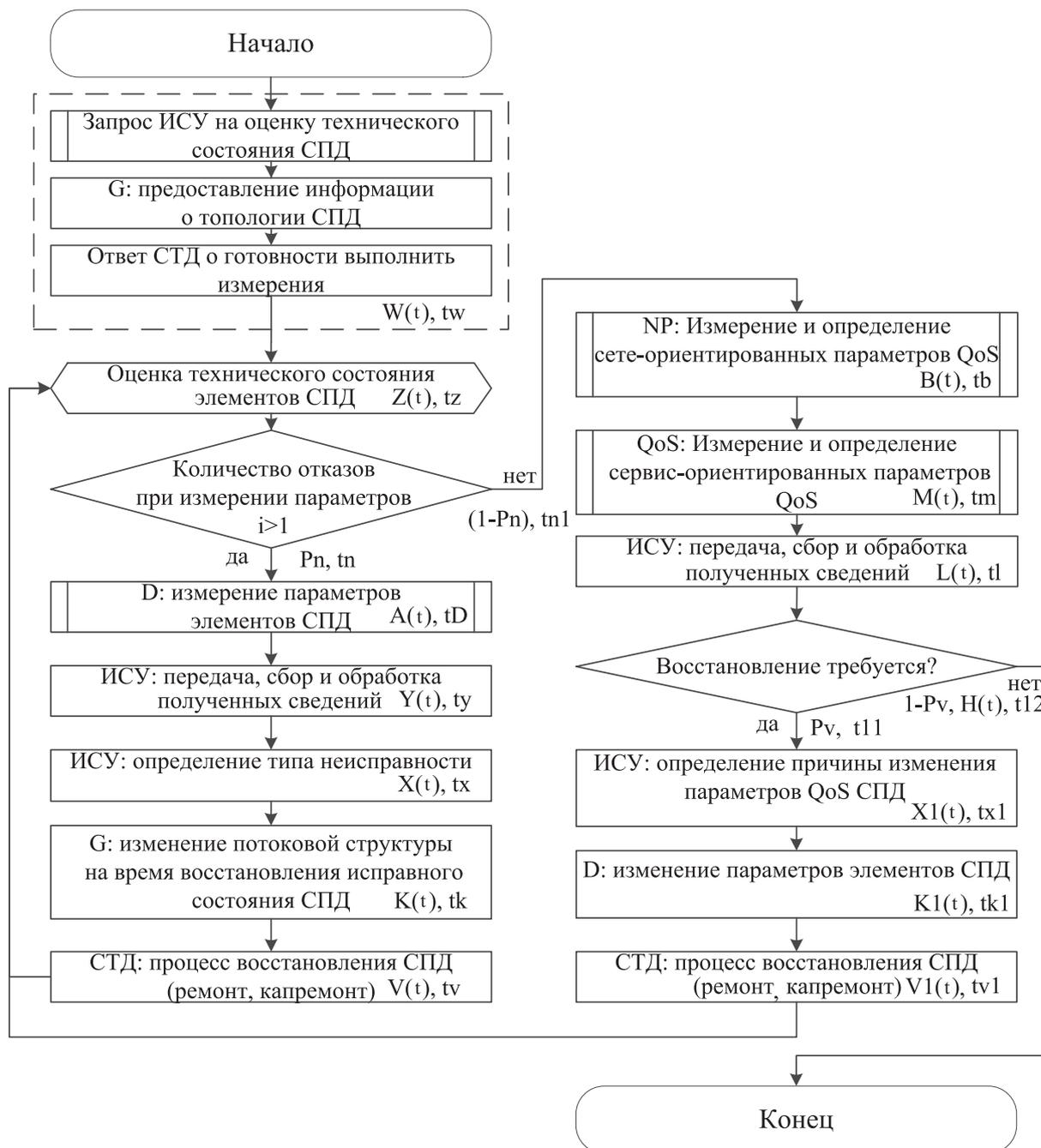


Рис. 2. Алгоритм функционирования ИСУ СПД при запросах на определение технического состояния СПД

4 Математическая модель процесса функционирования СУ СПД при запросах от СУ на определение технического состояния СПД

Алгоритм № 1 функционирования СУ СПД (рис. 2) можно представить в виде стохастической

сетевой (СС), под которой понимается совокупность взаимосвязанных узлов (вершин) и ветвей, соединение которых соответствует алгоритму функционирования исследуемой системы [5]. Ребрам сети соответствуют элементарные процессы, а узлам – условия их выполнения.

5 Постановка задачи

Пусть на вход СУ СПД поступает пуассоновский поток заявок на определение технического состояния СПД с некоторой интенсивностью, который реализуется за время t_w с функцией распределения (ФР) $W(t)$.

Определение технического состояния СПД реализуется за время t_z с ФР $Z(t)$, по результатам которого определяется тип измерений, а именно измерения могут быть ориентированы на определение параметров и характеристик элементов СПД или QoS в зависимости от количества обнаруженных отказов в СПД.

С вероятностью P_n за время реализации t_n измеряются параметры элементов СПД за время t_d с ФР $A(t)$, результаты обрабатываются за время t_y с ФР $Y(t)$.

С вероятностью $1-P_n$ за время реализации t_{n1} измеряются параметры QoS, которые включают измерение и определение сетевых ориентированных параметров QoS СПД за время t_b с ФР $B(t)$ и сервис-ориентированных параметров QoS за время t_m с ФР $M(t)$, результаты которых обрабатываются за время t_l с ФР $L(t)$.

Собранные диагностические данные как элементов СПД, так и параметров QoS СПД могут быть обработаны администратором СУ СПД или с помощью средств анализа данных в ИСППР СУ СПД, например с помощью нейронных сетей.

После обработки измеренных значений параметров элементов СПД проводят ряд мероприятий по восстановлению СПД:

- определяют тип неисправности за время t_x с ФР $X(t)$,
- изменяют потоковую структуру СПД на время восстановления за время t_k с ФР $K(t)$,
- с помощью СТД восстанавливают СПД за время t_v с ФР $V(t)$.

После анализа диагностических данных параметров QoS СПД принимается решение о необходимости восстановления СПД. Если все показатели параметров QoS соответствуют нормативным значениям исправного состояния СПД, то с вероятностью $1-P_v$ за время t_{12} с ФР $H(t)$ алгоритм № 1 функционирования СУ СПД завершается, а СС замыкается.

Если хотя бы один показатель параметра QoS не соответствует нормативным значениям исправного состояния СПД, то необходимо провести ряд мероприятий по восстановлению работоспособного состояния СПД:

- определить причину изменения параметров QoS за время t_{x1} с ФР $X_1(t)$,
- изменить параметры элементов СПД на время восстановления за время t_{k1} с ФР $K_1(t)$,
- с помощью СТД восстановить СПД за время t_{v1} с ФР $V_1(t)$.

По окончании восстановительных работ проводят контрольные измерения параметров СПД, чтобы убедиться в достоверности восстановления СПД.

Стохастическая сеть процесса функционирования СУ СПД при периодических запросах от СУ СПД представлена на рис. 3.

Необходимо определить ФР $Q(t)$ и среднее время выполнения всех процессов, проис-

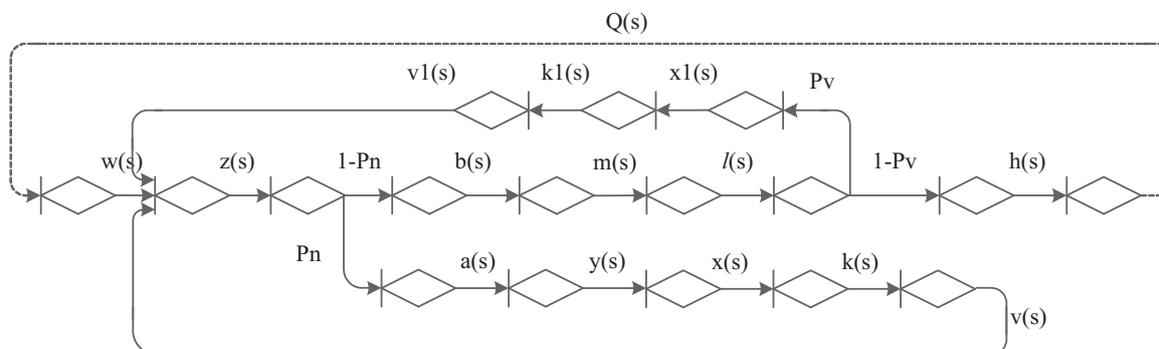


Рис. 3. Стохастическая сеть процесса функционирования СУ СПД на определение технического состояния СПД

ходящих в СС процесса функционирования СУ СПД. Каждый элементарный процесс, характеризующийся ФР, представим, используя преобразование Лапласа [4, 5]. Исходные данные для моделирования исследуемого процесса представлены в таблице.

Ограничения и допущения:

- 1) функции распределения случайных величин относятся к классу экспоненциальных;
- 2) вероятности, соответствующие ветвям стохастической сети, определяются статистическими методами;
- 3) время реализации отдельных операций искомого процесса имеют экспоненциальное распределение;
- 4) модель предполагает отсутствие новых заявок до окончания обработки предыдущей;
- 5) потоки заявок являются неконкурирующими.

Тогда топологическое уравнение Мейсона [5] для СС функционирования СУ СПД согласно алгоритму, представленному на рис. 2, будет иметь вид

$$Q(s) = \frac{\frac{w}{w+s} \frac{z}{z+s} (1-Pn)(1-Pv) \times}{1 - \frac{z}{z+s} Pn \frac{a}{a+s} \frac{y}{y+s} \frac{x}{x+s} \frac{k}{k+s} \frac{v}{v+s} - \frac{z}{z+s} \times \frac{b}{b+s} \frac{m}{m+s} \frac{l}{l+s} \frac{h}{h+s}} \cdot \frac{b}{b+s} \frac{m}{m+s} \frac{l}{l+s} Pv(1-Pn) \frac{x_1}{x_1+s} \frac{k_1}{k_1+s} \frac{v_1}{v_1+s}$$

Определим вероятностно-временные характеристики СС при помощи метода двухмоментной аппроксимации.

Для исследуемой СС (рис. 3) начальный момент случайного времени реализации СС модели функционирования СУ СПД для $s = 0$: $M_1(0) = 154,3$.

Второй момент случайного времени реализации СС модели функционирования СУ СПД для $s = 0$: $M_2(0) = 5,083 \cdot 10^4$.

Дисперсия времени передачи заявки на измерение, определяемая как второй центральный момент для $s = 0$: $D = 2,702 \cdot 10^4$.

Исходные данные для моделирования

| | |
|----------------|--|
| $w(s) = 1/0,5$ | Формирование запроса от СУ на определение состояния СПД |
| $z(s) = 1/60$ | Измерение параметров СПД |
| $a = 1/2$ | Определение параметров элементов СПД |
| $y(s) = 1/0,2$ | Обработка результатов параметров элементов СПД |
| $b(s) = 1/2$ | Определение сете-ориентированных параметров QoS СПД |
| $m(s) = 1/3$ | Определение сервис-ориентированных параметров QoS СПД |
| $l(s) = 1/0,3$ | Обработка параметров QoS СПД |
| $x(s) = 1/10$ | Определение типа неисправности |
| $k(s) = 1/1,5$ | Изменение потоковой структуры СПД |
| $v(s) = 1/45$ | Восстановление СПД на уровне элементов сети (EMS) |
| $h(s) = 1/1,5$ | Определение исправного состояния |
| $Pn = 0.3$ | Измерение параметров элементов СПД |
| $Pv = 0.3$ | Определение отклонений параметров QoS |
| $x1(s) = 1/2$ | Определение причины изменения параметров QoS |
| $k1(s) = 1/15$ | Изменение параметров элементов СПД на время восстановления |
| $v1(s) = 1/60$ | Восстановление СПД на уровне сети (NMS) |

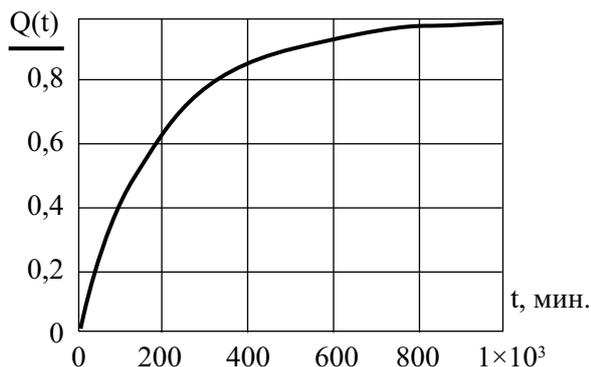


Рис. 4. Функция распределения времени обработки запроса на определение технического состояния СПД, включая задачи восстановления СПД

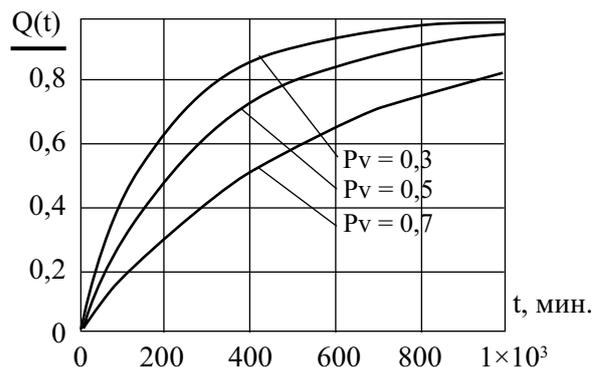


Рис. 5. Функция распределения времени функционирования СУ СПД при изменении вероятности P_v появления отклонений параметров QoS

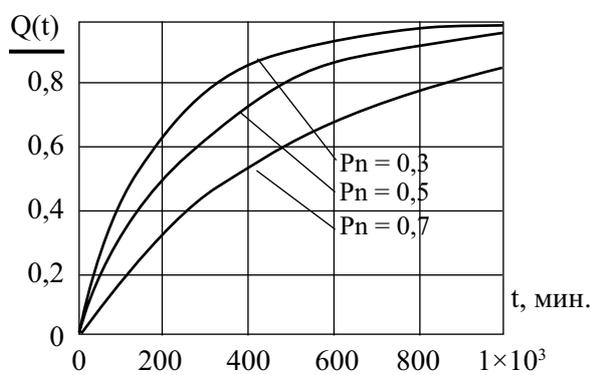


Рис. 6. Функция распределения времени функционирования СУ СПД при изменении вероятности P_n появления событий, при которых необходимо измерение параметров элементов СПД

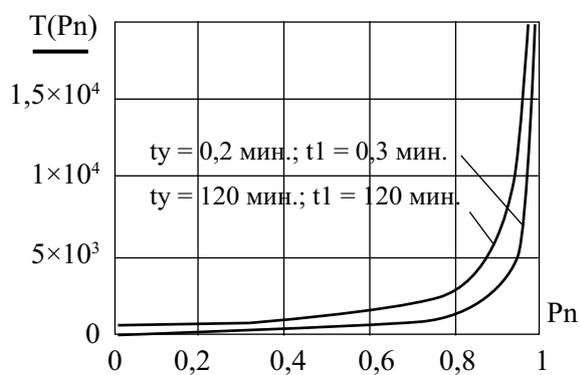


Рис. 7. Среднее время выполнения процессов СУ СПД при изменении вероятности появления события P_n и времени анализа результатов диагностирования параметров элементов СПД t_y и времени на обработку результатов параметров QoS СПД t_l

Оценим эффективность исследуемой системы.

При значениях исходных данных (см. таблицу) ФР времени функционирования СУ СПД при периодических запросах от СУ СПД на определение технического состояния СПД примет вид, как на рис. 4. Результаты моделирования представлены на рис. 5–7.

Заключение

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- предложенная модель функционирования СУ СПД работоспособна и чувствительна к из-

менению исходных данных, а результаты моделирования согласуются со статистическими данными по затрачиваемому времени на восстановление СПД;

- предложенная модель позволяет определить среднее время, необходимое для выполнения всех процессов по восстановлению СПД;

- ФР времени реализации цикла управления СУ СПД увеличивается при заданном значении времени при уменьшении вероятности P_v появления отклонений параметров QoS, это свидетельствует, что в СПД не обнаружено отказов элементов СПД и параметры QoS соответствуют предъявленному классу обслуживания (рис. 5);

- ФР времени функционирования СУ СПД увеличивается при заданном значении времени при уменьшении вероятности P_n появления событий, при которых необходимо измерение параметров элементов СПД, это свидетельствует, что в СПД обнаружены отказы элементов СПД (рис. 6);

- с ростом вероятности P_n проведения дополнительных мероприятий по восстановлению СПД среднее время обработки запросов зависит от времени обработки диагностических параметров СПД (рис. 7). При увеличении интенсивности отказов в СПД эффективность применения нейросетевых алгоритмов для обработки диагностических данных возрастает на порядок.

Для оценки оперативности функционирования СУ СПД можно использовать метод топологического преобразования стохастических сетей.

Анализ полученных результатов показывает, что предложенная модель СС для описания процессов функционирования СУ СПД при периодических запросах на определение технического состояния СПД работоспособна, чувствительна к изменению входных данных. Показано, что существенное влияние на работу модели СС оказывает изменение вероятностей P_n и P_v , доказана необходимость применения нейросетевых алгоритмов для обработки диагностических данных при увеличении интенсивности отказов в СПД.

Библиографический список

1. **Теоретические** основы управления современными телекоммуникационными сетями : моногр. / А. Н. Буренин, В. И. Курносков. – М. : Наука, 2011. – 464 с.

2. **Способы** обнаружения аномалий в функционировании сети передачи данных на технологическом уровне интеллектуальной системы управления / А. К. Канаев, М. А. Камынина, Е. В. Опарин // Материалы междунар. конгресса. Науч.-практич. конф. «Геополитические факторы устойчивого развития Арктики и инновационные технологии прогнозирования и предотвращения чрезвычайных ситуаций». – СПб., 29 нояб. 2012 г. – СПб. : ПИФ.com, 2012. – С. 96–101.

3. **Методика** формирования интеллектуальной системы поддержки принятия решений по управлению сетью тактовой сетевой синхронизацией. 05.12.13 : дис. ... канд. техн. наук / Е. В. Опарин ; Санкт-Петербург. гос. ун-т путей сообщения. – СПб., 2013. – 156 с.

4. **Моделирование** процесса управления в единой системе мониторинга и администрирования связи ОАО «РЖД» / А. А. Привалов, А. П. Вандич, Е. В. Опарин // Сб. материалов IV Междунар. конгресса «Цели развития тысячелетия и инновационные принципы устойчивого развития арктических регионов». – СПб. : ПИФ.com, 2011. – С. 130–133.

5. **Метод** топологического преобразования стохастических сетей и его использование для анализа систем связи ВМФ / А. А. Привалов. – СПб. : ВМА, 2000. – 166 с.