

УДК: 629.76.95

**МЕТОД МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЕТИ СВЯЗИ**

**SIMULATION METHOD OF THE PROCESSES
OF COMMUNICATION NETWORK FUNCTIONALITY**

Д-р техн. наук А.А. Катанович¹, д-р воен. наук Г.В. Сызранцев², канд. воен. наук В.А. Цыванюк¹

D.Sc. A.A. Katanovich, D.Sc. G.V. Syzrantsev, Ph.D. V.A. Tsyvanyuk

¹*ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия им. Н.Г. Кузнецова»,*

²*Московский технический университет связи и информатики*

В статье рассмотрен метод моделирования процессов функционирования сети связи с учетом воздействия дестабилизирующих факторов за счет упреждающей реконфигурации, решение на которую принимают на основе анализа и обработки данных качественных показателей оборудования (технической основы), применяемого на физическом, канальном, сетевом уровнях определения оптимальных параметров оборудования. Представленное научно-методическое обеспечение является основой для разработки подхода и научно-технических предложений по выявлению технических требований к оборудованию функционирующего на физическом уровне при планировании и развертывании сети связи. Метод может быть использован при изучении качественных характеристик оборудования, применяемого на сети связи, а также при определении свойств устойчивости сети связи.

Ключевые слова: моделирование, сеть связи, устойчивость сети связи, диагностика, техническая структура, техническая эксплуатация, готовность сети связи.

The article considers the simulation method of the processes of communication network functionality taking into account the impact of destabilizing factors due to the preemptive reconfiguration. The reconfiguration solution is made based on analysis and processing of data of quality indicators of equipment (on technical basis), and it is applied at physical, channel, network levels with the determination of optimal parameters of equipment. Scientific-methodological support, presented here, is the basis for the development of approach and scientific and technical proposals to identify technical requirements for equipment functioning at the physical level in planning and deployment of the communication network. The method can be used in the study of quality characteristics of the equipment used on the communication network, as well as when determining the properties of the network stability.

Keywords: simulation, communication network, network stability, diagnostic, technical structure, technical operation, communication network readiness.

Одним из методов обеспечения высокого уровня эксплуатационной надежности сложных технических систем (СТС) является контроль и диагностирование их технического состояния (ТС) [1, 2]. Для широкого класса СТС характер-

но наличие ситуаций штатного и нештатного функционирования, причем именно последние, в большинстве случаев, приводят к неблагоприятным последствиям с точки зрения выполнения СТС стоящих перед ними задач по предназначению.

нию [3, 4]. Реализация диагностирования и восстановления работоспособности СТС с высоким уровнем автономности функционирования встроенными средствами текущего контроля ТС и самодиагностирования позволяет значительно продлить их жизненный цикл. Очевидно, что с расширением возможностей подсистем текущего контроля ТС и самодиагностирования СТС по выявлению нештатных ситуаций и их парированию будет увеличиваться время автономного функционирования, характеризующее способность технической системы функционировать самостоятельно без взаимодействия с внешними системами. В то же время внешние управляющие системы, как правило, обладают более широкими возможностями по решению задач диагностирования и управления ТС, чем средства самодиагностирования управляемых систем, и в меньшей степени подвержены влиянию эффектов накопления последствий отказов. Отсюда следует взаимосвязь достоверности диагностирования с длительностью интервала автономного функционирования (ИАФ) и задача рационального распределения функций встроенных и внешних средств контроля ТС СТС с высоким уровнем автономности.

Известны методы моделирования аварии, диагностирования и восстановления информации [5–10]. Недостатком этих методов является относительно низкая устойчивость функционирования СТС при возможном воздействии деструктивных факторов (ВДФ) на нее и ее структурные элементы. Это обусловлено тем, что проведение реконфигурирования элементов сети связи (СС) выполняется без одновременного учета структурных и потоковых характеристик (нормированных значений параметров оборудования) СС при ВДФ на физическом, канальном и сетевом уровнях относительно эталонной модели взаимоувязанных открытых систем (ЭМВОС). Под воздействием дестабилизирующих факторов следует учитывать их влияние на сеть электросвязи, источником которых является физический или технологический процесс внутреннего или внешнего по отношению к сети электросвязи характера, приводящий к выходу из строя элементов сети.

При рассмотрении состава телекоммуникационного оборудования любого типового узла связи можно выделить оборудование, поддержи-

вающее современные транспортные технологии WDM, SDH, IP. Также оборудование можно распределить по уровням относительно ЭМВОС, например, основанное на технологии WDM — функционирует на физическом уровне, на технологии SDH — на канальном уровне, на технологии IP — на сетевом уровне.

В настоящее время широко и полно освещены вопросы, связанные с функционированием СС с применением указанных технологий на каждом отдельном уровне ЭМВОС. Однако вопросы функционирования СС с учетом ВДФ на трех уровнях в совокупности (физическом, канальном и сетевом) не рассматривались. При этом возникает научно-техническая проблема, суть которой заключается в том, что функционирование оборудования СС на каждом уровне отдельно протекает с выполнением предъявляемых требований по устойчивости, но при их совокупности, показатель устойчивости не отвечает предъявляемым требованиям.

Предлагается повышение устойчивости функционирования сети связи с учетом воздействия дестабилизирующих факторов. Это позволит задавать требуемые качественные показатели к оборудованию при обеспечении выполнении требований по устойчивости, предъявляемых к сети связи.

Предложенный метод моделирования процессов функционирования сети связи с учетом воздействия дестабилизирующих факторов, заключается в том, что вначале при технической эксплуатации моделирования процессов функционирования СС с учетом ВДФ производят описание структуры сети связи. Моделируют процесс обеспечения технической готовности при эксплуатации СС. Имитируют различные виды отказов, повреждения и сбои основных элементов СС. Дополнительно задают в качестве исходных данных параметры оборудования физического, канального, сетевого уровня, критерии оценки устойчивости функционирования сети на физическом, канальном, сетевом уровнях, определяют количество реализации моделирования процессов обеспечения технической готовности сети связи на физическом, канальном и сетевом уровнях. Моделируют процессы обеспечения технической готовности сети связи на физическом, канальном и сетевом уровнях. После моделирования процессов обеспечения технической готовности на физическом уровне

не, проводят измерения параметров оборудования функционирующем на физическом уровне. Проверяют соответствия измеренных значений заданным критериальным значениям, если значения измеренных параметров не соответствуют требуемым значениям, то производят процедуры локализации неисправных элементов при отказе функционирования СС на физическом уровне. Осуществляют рассылку сообщений элементам СС о состоянии исправности элементов СС на физическом уровне, реконfigurирование СС на исправных элементах оборудования физического уровня, восстановления элементов СС. Повторяют действия по моделированию процессов обеспечения технической готовности на физическом уровне и проверке соответствия измеренных значений параметров оборудования заданным критериальным значениям. Если измеренные параметры оборудования физического уровня соответствуют заданным критериальным значениям, то переходят к моделированию процесса технической готовности на канальном уровне, после моделирования процессов обеспечения технической готовности на канальном уровне проводят измерения параметров оборудования функционирующем на канальном уровне. Проверяют соответствия измеренных значений заданным критериальным значениям, если значения измеренных параметров не соответствуют требуемым значениям, то производят процедуры локализации неисправных элементов при отказе функционирования СС на канальном уровне. Осуществляют рассылку сообщений элементам СС о состоянии исправности элементов СС на канальном уровне, реконfigurирование СС на исправных элементах оборудования канального уровня, восстановления элементов СС. Повторяют действия по моделированию процессов обеспечения технической готовности на канальном уровне и проверке соответствия измеренных значений параметров оборудования заданным критериальным значениям, если измеренные параметры оборудования канального уровня соответствуют заданным критериальным значениям, то переходят к моделированию процесса технической готовности на сетевом уровне. После моделирования процессов обеспечения технической готовности на сетевом уровне, проводят измерения параметров оборудования функционирующем на сетевом

уровне. Проверяют соответствия измеренных значений заданным критериальным значениям, если значения измеренных параметров не соответствуют требуемым значениям, то производят процедуры локализации неисправных элементов при отказе функционирования СС на сетевом уровне. Осуществляют рассылку сообщений элементам СС о состоянии исправности элементов СС на сетевом уровне. Реконfigurирование СС на исправных элементах оборудования сетевого уровня восстановления элементов СС повторяют действия по моделированию процессов обеспечения технической готовности на сетевом уровне и проверке соответствия измеренных значений параметров оборудования заданным критериальным значениям. Если измеренные параметры оборудования сетевого уровня соответствуют заданным критериальным значениям, то осуществляют вывод результатов параметров оборудования физического, канального и сетевого уровней.

Предлагаемый метод поясняется рисунками:

– рис. 1 — блок-схема способа моделирования процессов функционирования сети связи с учетом воздействия дестабилизирующих факторов;

– рис. 2 — временная диаграмма функционирования СС с учетом ВДФ.

Реализовать метод предлагается в виде последовательности действий, показанных на рис. 1.

В блоке 1 задают исходные данные для моделирования сети связи, которыми являются:

– фрагмент сети связи, типологически инвариантный реальному фрагменту сети связи;

– параметры оборудования физического, канального и сетевого уровней;

– критерии оценки устойчивости функционирования сети на физическом, канальном и сетевом уровнях;

– количество воздействий n дестабилизирующих факторов на элементы сети связи на физическом, канальном и сетевом уровнях;

– количество воздействий m дестабилизирующих факторов на элементы сети на физическом, канальном и сетевом уровнях по соответствию параметров;

– количество потоков S , поступивших на уровень СС;

– длительность t_1 измерения параметров СС физического, канального и сетевого уровней;

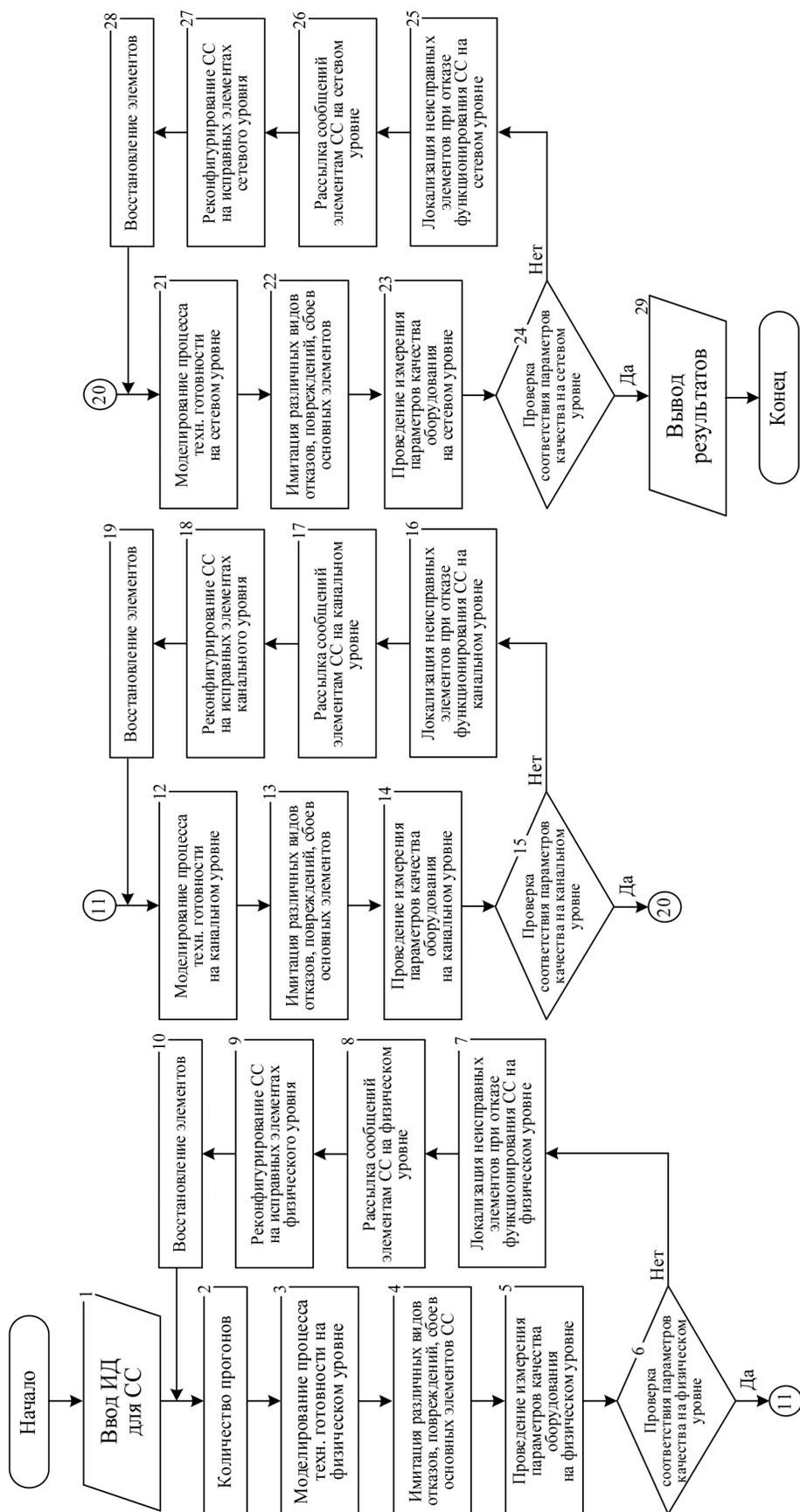


Рис. 1. Блок-схема способа моделирования процессов функционирования сети связи с учетом воздействия дестабилизирующих факторов

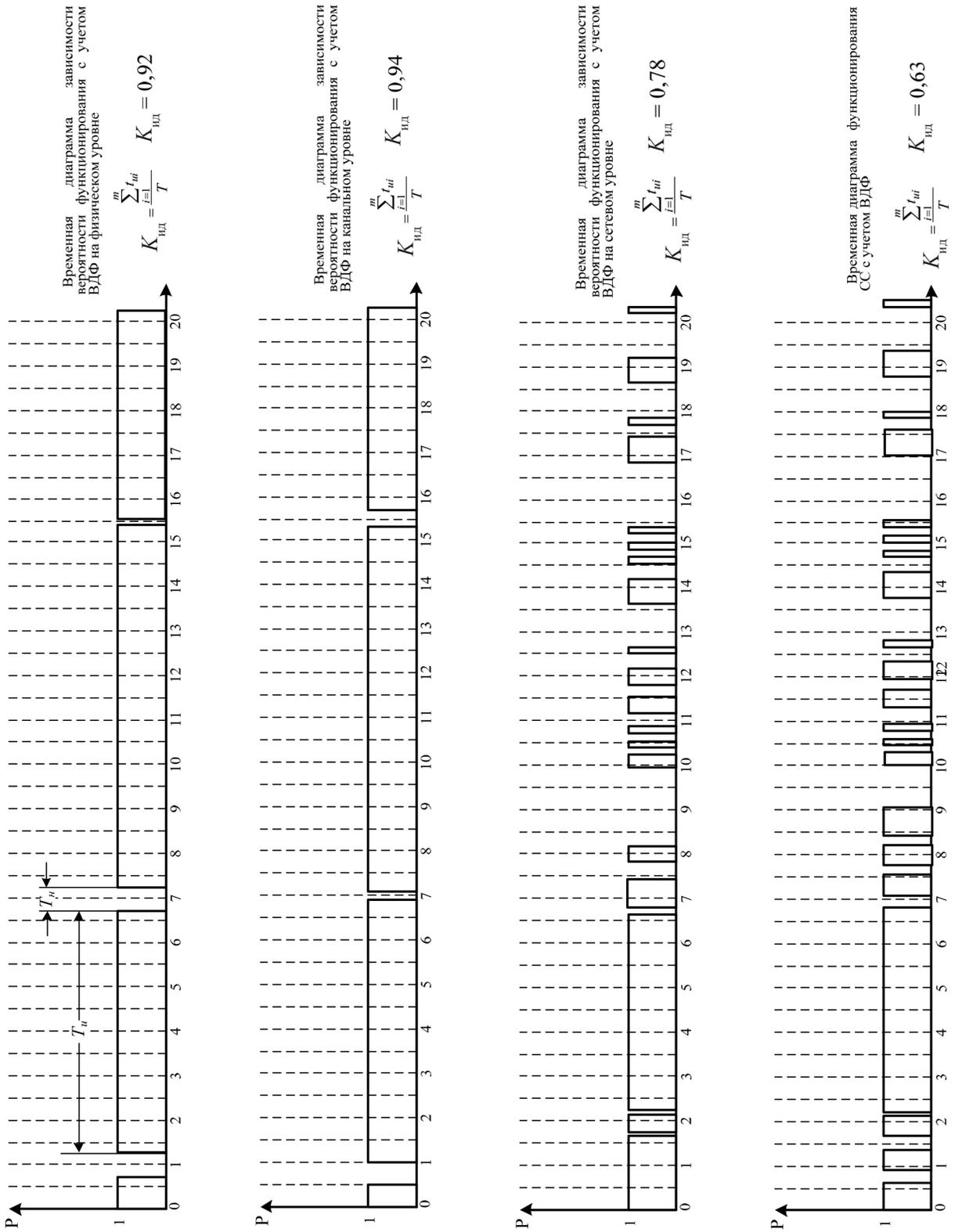


Рис. 2. Временная диаграмма функционирования сети связи с учетом воздействия дестабилизирующих факторов

- длительность t_2 обработки параметров физического, канального и сетевого уровней СС;
- длительность t_3 , при которой определяют неисправные элементы СС;
- длительность t_4 , при которой определяют исправные элементы СС;
- длительность t_5 изменения топологической структуры СС;
- длительность t_6 обработки параметров качественных характеристик элементов СС;
- длительность t_7 восстановления элементов СС на физическом, канальном и сетевом уровнях;
- длительность t_8 функционирования в нормальном состоянии;
- длительность $T_{\text{н}}$ нахождения СС в неисправном состоянии;
- среднее значение длительности $T_{\text{неиср}}$ нахождения СС в неисправном состоянии;
- среднее значение длительности $T_{\text{иср}}$ нахождения СС в исправном состоянии;
- коэффициент исправного действия $K_{\text{ид}}$ СС на физическом, канальном и сетевом уровнях;
- вероятность $P_{\text{вдф}}$ функционирования элементов СС при ВДФ;
- параметр показателя качества P_{ij} оборудования, где i — индекс, обозначающий тип технологии; j — индекс, обозначающий параметр i -го типа технологии;
- параметр качества оборудования POSNR физического уровня — отношение сигнал/шум;
- параметр качества оборудования K_{fec} физического уровня — коэффициент FEC;
- параметр качества оборудования $K_{\text{ош}}$ канального уровня — коэффициент ошибки;
- параметр качества оборудования T_3 канального уровня — время задержки пакетов;
- параметр качества оборудования $T_{\text{вар.з}}$ канального уровня — время вариации задержки пакетов;
- параметр качества оборудования $K_{\text{пт}}$ канального уровня — коэффициент потери пакетов;
- длительность $T_{\text{с+1}}$ поступления следующего потока (сигнала, сообщения) на физическом, канальном и сетевом уровнях СС;
- длительность $T_{\text{огр}}$ ограничения поступления потоков на физическом, канальном и сетевом уровнях СС;
- вероятность $P(t)$ восстановления СС;
- длительность $T_{\text{восст}}$ восстановления СС.

В блоке 2 определяют количество реализаций моделирования процессов обеспечения технической готовности сети связи на физическом, канальном и сетевом уровнях.

В блоке 3 производят моделирование процессов обеспечения технической готовности на физическом уровне.

В блоке 4 имитируют различные виды отказов, повреждений, сбоев основных элементов СС на физическом уровне.

В блоке 5 производят измерения параметров качества оборудования, функционирующего на физическом уровне.

В блоке 6 проверяют соответствие измеренных значений заданным критериальным значениям на физическом уровне, если значения измеренных параметров не соответствуют требуемым значениям, то переходят в блок 7.

В блоке 7 производят процедуры локализации неисправных элементов при отказе функционирования СС на физическом уровне.

В блоке 8 производят рассылку сообщений элементам СС о состоянии исправности элементов СС на физическом уровне.

В блоке 9 производят реконfigurирование СС на исправных элементах оборудования на физическом уровне.

В блоке 10 производят восстановление элементов СС, далее процесс повторяется в блоках 3, 4, 5 (рис. 1), если измеренные параметры оборудования физического уровня соответствуют заданным критериальным значениям, то переходят к моделированию процесса технической готовности на канальном уровне.

После моделирования процессов обеспечения технической готовности на канальном уровне производят измерения параметров качества оборудования, функционирующего на канальном уровне, проверяют соответствие измеренных значений заданным критериальным значениям, если значения измеренных параметров не соответствуют требуемым, то проводят процедуры локализации неисправных элементов при отказе функционирования СС на канальном уровне.

После этого, происходит рассылка сообщений элементам СС о состоянии исправности элементов СС на канальном уровне, реконfigurирование СС на исправных элементах оборудования канального уровня, восстановление эле-

ментов СС, далее процесс повторяется по этапам 12, 13, 14 (рис. 1).

Если измеренные параметры оборудования физического уровня соответствуют заданным критериальным значениям, то переходят к моделированию процесса технической готовности на сетевом уровне.

После моделирования процессов обеспечения технической готовности на сетевом уровне производят измерения параметров качества оборудования, функционирующего на сетевом уровне, проверяют соответствие измеренных значений заданным критериальным значениям. Если значения измеренных параметров не соответствуют требуемым, то проводят процедуры локализации неисправных элементов при отказе функционирования СС на сетевом уровне.

После этого, производится рассылка сообщений элементам СС о состоянии исправности элементов СС на сетевом уровне, реконфигурирование СС на исправных элементах оборудования сетевого уровня, восстановление элементов СС, далее процесс повторяется по блокам 21, 22, 23 (рис. 1).

Если измеренные параметры оборудования сетевого уровня соответствуют заданным критериальным значениям, то переходят к блоку вывода результатов параметров оборудования физического, канального и сетевого уровней.

На основе полученных данных о функционировании СС с учетом ВДФ осуществляется прогнозирование состояния основных элементов сети на различных этапах эксплуатации и расчет ее основных показателей: коэффициента исправного действия $K_{ид}$, вероятности восстановления $P(t)$, длительности восстановления СС $T_{восст}$.

Определяется количество реализаций (прогонов) модели:

$$N = \frac{t_{\alpha}^2(1-p)}{\varepsilon^2},$$

где t_{α}^2 — значение аргумента функции Лапласа, при котором вероятность попадания случайной величины \bar{x} в интервал $(-t_{\alpha}, t_{\alpha})$ равна достоверности оценки α ; p — значение априорной вероятности, которое можно получить в результате предварительных испытаний на модели; α — достоверность оценки; ε — точность оценки, равная $\varepsilon = |\bar{x} - M(x); \bar{x}|$ — оценка математиче-

ского ожидания, полученная в результате моделирования; $M(x)$ — математическое ожидание искомого параметра.

Нагрузка от пользователя задается в виде интенсивности потока λ_m , а закон ее распределения — $F_{\lambda}(t)$. Например, закон распределения для пуассоновского (простейшего) потока можно представить как $P_i(t) = \frac{(\lambda t)^i}{i!} e^{-\lambda t}$, а для нормального распределения как: $P(t) = \frac{1^i}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-\lambda)}{2\sigma^2}}$.

Задают количество ВДФ n , число ВДФ по соответствию параметров m , количество потоков S .

В блоке 2 имитируется поступление потока $F(t)$ на передачу сообщений через интервалы длительностей T_{S+1} . При функционировании СС, отвечающим требованиям модельной длительности, принимается значение $T_{цфS}$. Интервалы длительностей τ между поступлением сигналов в простейшем потоке распределены по экспоненциальному закону с функцией распределения $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$ плотностью распределения $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$, где $\lambda > 0$ — параметр распределения, представляющий собой интенсивность потока ВДФ.

Интервалы длительностей поступления потока на вход системы равны длительности предыдущего цикла функционирования $T_{цфS}$.

В блоке 3 происходят идентификация сетевых интерфейсов и загрузка программного обеспечения оборудования, функционирующего на физическом уровне с длительностью измерения параметров элементов СС (t_1).

В блоке 5 считают соответствие параметров, характеристик, необходимых для нормального работоспособного состояния оборудования за длительность обработки параметров на физическом уровне СС (t_2).

В блоке 7 при поступлении потока с длительностью t_2 происходит проверка поступившего потока $F(t_2)$ на наличие вероятности ВДФ уровня РВДФ, которая распределяется по нормальному экспоненциальному закону $P(t) = \frac{1^i}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-\lambda)}{2\sigma^2}}$.

При отказе функционирования элементов СС на физическом уровне система переходит в режим поиска неисправности (локализация отказов) блок 9. При нормальном функционировании системы переходит в блок 13.

В блоке 13 осуществляется проверка качества параметров при обслуживании полученного информационного потока.

При удовлетворительном на физическом уровне результате поток поступает в блок 15, где происходит сравнение с требуемыми параметрами уровня.

При поступлении потока $F(t)$ при длительности обработки параметров качества на физическом уровне СС вероятность их соответствия нормативным параметрам будет равна P_{ij} и распределяется по нормальному закону

$$P(t) = \frac{1^i}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-\lambda)^2}{2\sigma^2}}.$$

Если хотя бы один показатель параметра физического уровня не соответствует нормативным значениям исправного состояния элемента СС, то необходимо провести ряд мероприятий по восстановлению работоспособности элементов СС (блок 17):

- определить причину изменения качественных характеристик (параметров) на физическом уровне;

- изменить качественные характеристики (параметры) элементов СС на физическом уровне при затраченном времени восстановления t_7 ;

- восстановить элементы СС за длительность t_7 .

По окончании восстановительных мероприятий провести контрольные измерения качественных характеристик (параметров) физического уровня СС, чтобы убедиться в достоверности восстановления функционирования элементов СС физического уровня. В дальнейшем процесс переходит в блок 19, который необходим для выхода в режим нормального (требуемого) функционирования СС на физическом уровне и определения конечного времени моделирования.

Если значения качественных характеристик (параметров) не соответствуют требуемым, то в блоках 9 и 10 происходит локализация неисправности при отказе функционирования СС и выявляются работоспособные элементы СС с помощью обмена сигналами между элементами СС.

После обработки потоковых сигналов в блоках 9 и 10, в блоке 11 проводится ряд мероприятий по реконфигурации структуры СС на исправных элементах СС:

- определяется тип неисправности за время T_{II} ;

- производятся анализ, диагностика, оценка состояний элементов СС, при которых могли бы выполняться основные задачи сети за время t_4 ;

- изменяется топологическая, потоковая структура СС за время реконфигурации t_5 .

В дальнейшем если все качественные показатели характеристик СС (параметров) физического уровня соответствуют нормативным значениям исправного состояния элементов СС, то функционирование СС модели с учетом ВДФ завершается и процесс функционирования цикла прекращается.

Выходными результатами состояния функционирования элементов СС физического уровня с учетом ВДФ являются длительности исправной (T_{II}) и неисправной (T_{HI}) работы сети, которые в дальнейшем используются при вычислении коэффициента исправного действия или готовности СС.

При проведении вычислений с помощью предложенных методов и программных приложений получили графические временные диаграммы оценки функционирования СС с учетом ВДФ физического уровня (рис. 2).

Предлагаемый способ и реализующая система моделирования обеспечивают устранение и расширение функциональных возможностей технических решений с обеспечением моделированной работы СС с учетом ВДФ, осуществляется расчет коэффициента исправного действия и сравнение его с требуемыми значениями свойств устойчивости СС.

Таким образом, за счёт указанных операций достигается технический результат. Представленное научно-методическое обеспечение является основой для разработки подхода и научно-технических предложений по выявлению технических требований к оборудованию функционирующего на СС на физическом уровне с учетом ВДФ при планировании и развёртывании сети связи.

Литература

1. Мальцев Г.Н., Назаров А.В., Якимов В.Л. Имитационное моделирование процесса диагностирования сложной технической системы с высоким уровнем автономности функционирования. Информационно-управляющие системы. Doi: 10.15217/issn 1684-8853.2016.4.34.

2. Пашковский Г.С. Задачи оптимального обнаружения и поиска отказов в РЭА. — М.: Радио и связь. 1981. 298 с.

3. Александровская Л.Н., Афанасьев А.П., Лисов А.А. Современные методы обеспечения безотказности сложных технических систем. — М.: Логос. 2001. 208 с.

4. Зверев Г.Я. Оценка надежности изделия в процессе эксплуатации. — М.: Ленанд. 2010. 96 с.

5. Гречишников Е.В., Шумилин В.С. Способ моделирования процессов обоснования требуемого уровня живучести распределенных сетей связи вышестоящей системы управления в условиях вскрытия и внешних деструктивных воздействий. Патент РФ на изобретение № 2702503 от 15.08.2018. — М.: Роспатент. 2018.

6. Способ моделирования аварии, диагностики и восстановления работоспособности сложной технологической структуры и информационная система для его реализации. Патент РФ на изобретение № 2252453 от 20.05.2005. — М.: Роспатент. 2005.

7. Гречишников Е.В., Поминчук О.В., Иванов В.А., Белов А.С., Карелин Д.А., Дроздов А.С. Способ моделирования процессов обеспечения технической готовности сетей связи при технической эксплуатации и система для его реализации. Патент РФ на изобретение № 2336566 от 20.10.2008. — М.: Роспатент. 2008.

8. Катанович А.А., Терехов А.С., Цыванюк В.А. Способ моделирования процессов функционирования сети связи с учетом воздействия дестабилизирующих факторов. Патент РФ на изобретение № 2020126841/28(047208) от 10.08.2020. — М.: Роспатент. 2020.

9. Катанович А.А., Берестов С.Н., Цыванюк В.А. Монография. Принципы построения береговых систем и комплексов связи Военно-Морского флота. — СПб: ВМА. 2021. С. 316–327.

10. Войцеховский А.И. Способ моделирования преднамеренных повреждений элементов сети связи. Патент РФ на изобретение № 2449366 от 27.04. 2012. — М.: Роспатент. 2012.

References

1. Maltseva G.N., Nazarova A.V., Yakimova V.L. Simulation modeling of the process of diagnosing

a complex technical system with high level of autonomy of functioning. Information control systems. Doi:10.15217/issn 1684-8853.2016.4.34.

2. Pashkovskiy G.S. Optimal detection tasks and search for failures in REA. — М.: Radio and Communication. 1981. 298 p.

3. Alexandrovskaya L.N., Afanasiev A.P., Lisov A.A. Modern methods of ensuring the reliability of complex technical systems. — М.: Logos. 2001. 208 p.

4. Zverev G.I. Evaluation of the reliability of the product during operation. — М.: Lenand. 2010. 96 p.

5. Grechishnikov E.V., Shumilin V.S. Method of modeling processes of justification of the required level of living capacity of distributed communication networks of the higher control system in conditions of opening and external destructive effects. Patent of the Russian Federation for the invention № 2702503 of 15.08.2018. — М.: Rospatent. 2018.

6. Method of simulation of accident, diagnostics and recovery of the working capacity of complex technological structure and information system for its implementation. Patent of the Russian Federation for the invention № 2252453 of 20.05.2005. — М.: Rospatent. 2005.

7. Grechishnikov E.V., Pominchuk O.V., Ivanov V.I., Belov A.S., Karelin D.A., Drozdov A.S. Modeling method of technical readiness processes of communication networks in technical operation and system for its implementation. Patent of the Russian Federation for the invention № 2336566 of 20.10.2008. — М.: Rospatent. 2008.

8. Katanovich A.A., Terehov A.S., Civiuk V.A. Simulation method of processes of the network operation with the impact of destabilizing factors. Patent of the Russian Federation for the invention № 2020126841/28(047208) of 10.08.2020. — М.: Rospatent. 2020.

9. Katanovich A.A., Berestov S.N., Civiuk V.A. Monograph. Principles of construction of coastal systems and communication centers of the Navy. — SPb: VMA. 2021. P. 316–327.

10. Voichevskiy A.I. Modeling method of intentional damage of communication network elements. Patent of the Russian Federation for the invention № 2449366 of 27.04. 2012. — М.: Rospatent. 2012.