

УДК 621.391.63

DOI: 10.18413/2518-1092-2019-4-3-0-5

Сансевич В.К.<sup>1</sup>  
Александров Д.Д.<sup>2</sup>  
Косов Е.О.<sup>2</sup>  
Архипов С.Н.<sup>2</sup>

**МЕСТО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ В СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА  
СОСТОЯНИЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ**

<sup>1)</sup> Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики», Кронверкский пр., д. 49, г. Санкт-Петербург, 197101, Россия

<sup>2)</sup> Федеральное государственное казённое военное образовательное учреждение высшего образования «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации», ул. Приборостроительная, д. 35, г. Орёл, 302034, Россия

*e-mail: danillaleksandrov57@mail.ru*

**Аннотация**

В работе рассматривается один из вариантов решения задачи контроля состояния и построения современных волоконно-оптических систем передачи на основе совершенствования существующих систем дистанционного контроля волоконно-оптических линий связи. Предлагается в систему управления сетью добавить аналитический программный модуль. Основой данного модуля является набор функций детального описания событий, задания критериев их обнаружения и установления на них масок с целью выявления изменений рефлектограммы, прогнозирования состояния объектов мониторинга. Помимо сведений о характере событий, выдается аналитическая функция, описывающая конкретное событие и ошибку измерения каждого из его параметров, что дает возможность рассматривать полученную рефлектограмму не как совокупность точек, а как множество объектов, на которые она разбивается.

**Ключевые слова:** мониторинг волоконно-оптической линии связи; живучесть; связность; прогностический контроль; принцип минимакса; метод гарантированного прогнозирования.

UDC 621.391.63

Sancevich V.K.<sup>1</sup>  
Aleksandrov D.D.<sup>2</sup>  
Cosov. E.O.<sup>2</sup>  
Arkhipov S.N.<sup>2</sup>

**PREDICTION PLACE IN THE SYSTEM OF CONDITION MONITORING  
FIBER OPTIC COMMUNICATION LINES**

<sup>1)</sup> Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, 49 Kronverkskiy prospekt, St. Petersburg, 197101, Russia

<sup>2)</sup> Federal state military educational institution of higher professional education "Academy of the Federal security service of the Russian Federation", 35 Priborostroitelnaya St, Orel, 302034, Russia

*e-mail: danillaleksandrov57@mail.ru*

**Abstract**

The paper considers one of the options for solving the problem of monitoring the state and building modern fiber-optic transmission systems based on improving existing remote control systems for fiber-optic communication lines. It is proposed to add an analytical software module to the network management system. The basis of this module is a set of functions for a detailed description of events, setting criteria for their detection and setting masks on them in order to detect changes in the trace, predicting the status of monitoring objects. In addition to information about the nature of events, an analytical function is issued that describes a specific event and the measurement error of each of its parameters, which makes it possible to consider the received trace not as a collection of points, but as a set of objects into which it is divided.

**Keywords:** fiber optic monitoring systems; vitality; connectivity; predictive control, minimax principle, guaranteed prediction method.

Необходимость прогноза остро ощущается практически на всех этапах управления надежностью ВОЛС, и в первую очередь при решении задач диагностического обеспечения и планирования ее эксплуатации. Комплексное решение этой сложной задачи предполагает разработку и решение ряда научно-технических задач по созданию и внедрению аппаратных и программных средств оценки работоспособности ВОЛС [1].

Основные трудности при решении задач прогнозирования и управления надежностью обусловлены тем, что для большинства исследуемых устройств исходная информация о закономерностях изменения их параметров чрезвычайно мала. В этой связи весьма важной становится задача разработки средств мониторинга, позволяющих получать надежные результаты при той исходной информации, которая может быть реально получена при эксплуатации ВОЛС и в процессе пуско-наладочных мероприятий.

Включение подсистемы прогнозирования в автоматизированную систему мониторинга расширяет возможности последней и позволяет решить перечисленные выше задачи и получить следующие преимущества [1]:

- существенно понизить трудоемкость контроля;
- обеспечить высокую степень достоверности информации о техническом состоянии контролируемого оборудования;
- использовать жесткие алгоритмы технического контроля, исключающие возможность вмешательства субъективных факторов;
- документировать и накапливать информацию о техническом состоянии контролируемого объекта;
- формировать информационное поле для прогнозирования;
- внедрять прогрессивные стратегии технического обслуживания и ремонта на основе прогнозирования;
- расширить функциональных возможностей устройств контроля;
- прогнозировать изменения параметров объекта контроля;
- повысить достоверность о техническом состоянии объекта контроля;
- разрабатывать и выдавать рекомендаций по управлению объектом;

Основной проблемой мониторинга в оптической среде является фактор, связанный с невозможностью анализа оптического сигнала после его преобразования в активном оборудовании. Своевременное обнаружение, контроль и прогнозирование развития ситуации позволит устранить данный фактор. Наиболее распространенным способом сбора данных является мониторинг.

Таким образом, мониторинг ВОЛС сводится к анализу параметров среды распространения и пассивного коммутационного оборудования.

С созданием оптических усилителей и всевозрастающим их использованием в коммерческих системах расстояние между регенерационными участками в последнее время значительно возросло, а это обусловило необходимость автоматизированного дистанционного мониторинга и обнаружения неисправностей ВОЛС. В основе решения всех этих задач лежит использование такого измерительного прибора, как оптический рефлектометр (ОР) [2].

Разработка методов централизованного тестирования ВОЛС, в свою очередь налагает требования внеполосного контроля ВОЛС, и как следствие использования средств измерений с длиной волны отличной от длин волн, которые применяются для передачи трафика. Для решения таких задач предлагается применять рефлектометрию, которая позволяет создать систему мониторинга, способную отображать состояние ВОЛС.

Поэтому возникает задача организации мониторинга ВОЛС без перерыва связи с использованием тестовых сигналов в задействованных «светлых» волокнах. Данный вариант, является наиболее актуальным для использования на сетях доступа с простыми структурами.

Включение ОР в подсистему мониторинга ВОЛС позволит постоянно автоматически вести сбор и статистический анализ результатов тестирования оптических волокон сети. Статистический

анализ дает возможность обнаруживать и прогнозировать неполадки волокна задолго до того, как они приведут к серьезным проблемам в сети.

Исходные (паспортные) данные накапливаются и вносятся в базу данных, с учетом возможных изменений относительно сезонов, температур и т.д. Накопленная статистика позволяет определить степень возможной деградации контролируемых оптических волокон. Для распознавания событий используются методы идентификации посредством специально подобранных аналитических функций, например, метод наименьших квадратов, критерий Вильямса и Клута, и прогнозирования параметров рефлектограммы [2].

Возможность применения прогностического контроля требует схемотехнических изменений в системе мониторинга. Данные изменения направлены, в первую очередь, на использование время-импульсного рефлектометра или анализатора спектра. При этом в качестве оптического сигнала, на основе которого будет выполнен анализ, используется отведенная мощность информационного сигнала при реализации схемы прогностического контроля на основе импульсно-временного рефлектометра – рисунок 1.

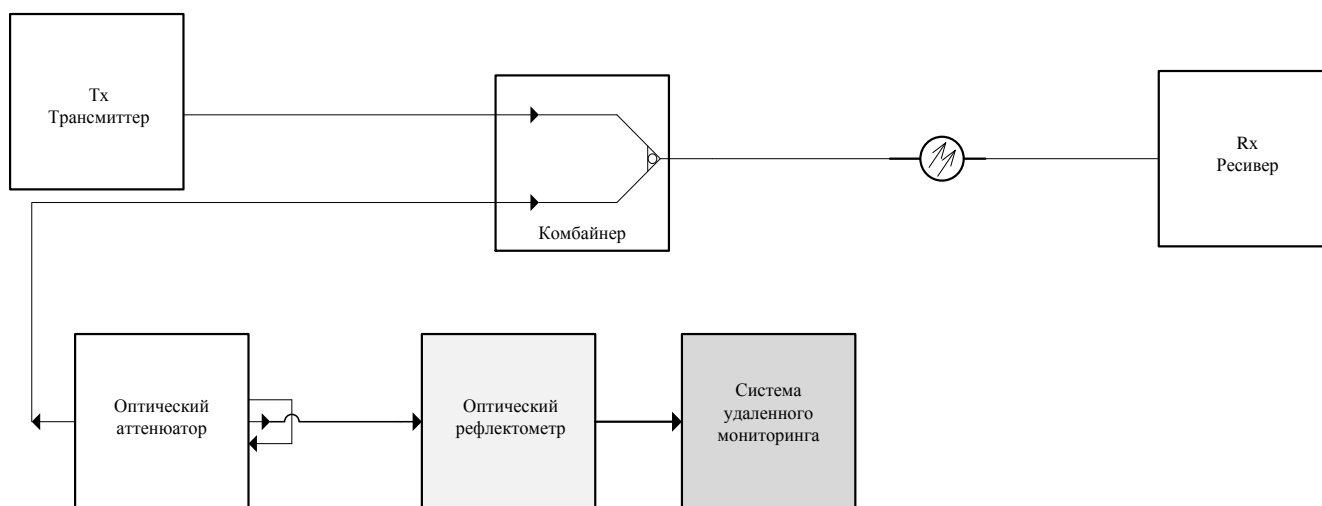


Рис. 1. Схема реализации дистанционного мониторинга на основе импульсно-временного рефлектометра  
Fig. 1. Scheme for implementing remote monitoring based on a pulse-time reflectometer

В настоящее время существует большое разнообразие систем мониторинга, которые в той или иной степени решают задачу непрерывного контроля ВОЛС, например, RFTS (Remote Fiber Test System) [3].

Все системы RFTS, как правило, строятся по одной и той же схеме. При этом выделяют следующие функциональные элементы и устройства:

- аппаратная часть;
- система управления сетью.

Также определены и интегрированные элементы:

- геоинформационная система (ГИС) привязки топологии сети к карте местности;
- база данных, содержащая информацию об оборудовании сети, критериев и результатов мониторинга ВОЛС и сети в целом и другие внешние базы данных.

Предлагается в систему управления сетью добавить аналитический программный модуль. Основой данного модуля является набор функций детального описания событий, задания критериев их обнаружения и установления на них масок с целью выявления изменений рефлектограммы, прогнозирования состояния объектов мониторинга. Помимо сведений о характере событий, выдается аналитическая функция, описывающая конкретное событие и ошибку измерения каждого из его параметров, что дает возможность рассматривать полученную рефлектограмму не как совокупность точек, а как множество объектов, на которые она разбивается. Решая таким образом прямую задачу – анализ рефлектограммы, объектное представление позволяет решать и обратную

задачу – строить естественным путем модели рефлектограмм, а также прогнозировать их изменения в будущем.

Предлагается следующая архитектура дистанционного мониторинга ВОЛС (см. рисунок 2).

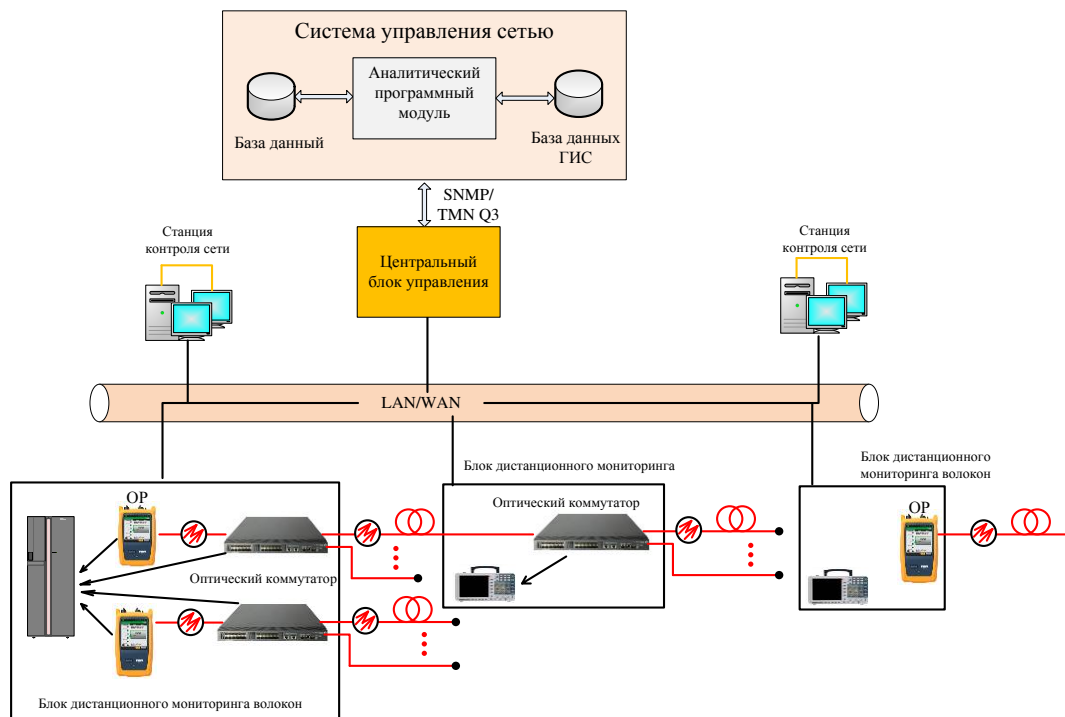


Рис. 2. Архитектура системы дистанционного мониторинга ВОЛС

Fig. 2. The architecture of the FOCL remote monitoring system

Оптический рефлектометр периодически снимает данные по затуханию с подключаемых к нему оптических волокон сети [4]. Каждая полученная рефлектограмма сравнивается с эталонной, отражающей обычно исходное состояние волокна. Если отклонение от нормы превышает определенные, заранее установленные пороги (предупреждающий или аварийный), то соответствующий блок дистанционного мониторинга волокон автоматически посылает на центральный сервер системы предупреждение или сообщение о неисправности. Все рефлектограммы также поступают на центральный сервер, который сохраняет их в базе данных для дальнейшей обработки.

Для повышения достоверности прогнозов в управленческой деятельности специалистов в отношении технического состояния ВОЛС следует использовать определенную формализацию процесса предвидения и специально разработанные прогнозные модели. Эти модели имитируют динамический процесс развития объекта исследования при обязательном подключении интеллекта человеческой личности. Во взаимодействии специалиста и модели, размещённой в памяти компьютера, вырабатываются прогнозные решения. Они представляют собой подмножество допустимых решений из области возможных, из которых выбирается, по какому-либо критерию, предпочтительный вариант.

Функции прогнозирования технического состояния объектов в управленческой деятельности специалистов обладают важным свойством. Они позволяют не только получить информацию о состоянии в настоящем или в будущем, но и приобрести новые знания об объекте, сопоставить причины и следствия развития процессов и, в конечном итоге, принять решения, направленные на предотвращение отказов.

Выбор критерия вариантов отбора является одной из важных процедур в общей задаче прогнозирования. Обычно выбор или разработка критерия отбора альтернатив возможны только при четко определенной цели исследования и корректно сформулированной проблеме. Известно,

что выбор варианта решения поставленной задачи, способа достижения поставленных целей является одной из ключевых задач управления.

Прогнозирование следует рассматривать как часть системы управления эксплуатацией технических объектов. Предвидение, оценка результатов всегда были свойственны управленческой деятельности. Известно, что любое решение в той или иной мере содержит прогноз. Этот прогноз часто основывался на интуиции и здравом смысле специалистов. Но с усложнением техники, с увеличением объема информации при одновременном росте ее неопределенности, и часто в условиях значительных временных и ресурсных ограничений возрастает вероятность принятия ошибочных решений.

Для решения задачи прогнозирования в условиях ограниченности и неопределенности исходных данных о процессах старения и износа элементов ВОЛС предлагается использовать метод прогнозирования на основе минимаксного оценивания. Суть минимаксного оценивания состоит в определении гарантированных, относительно исходных данных, пределов изменения оцениваемой величины. Для решения данной задачи предлагается использовать свойства экстремальных полиномов С. Карлина.

Следует отметить, что интервальный прогноз может быть выполнен и на основе известных статистических процедур типа максимального правдоподобия, наименьших квадратов и т.п., однако его достоверность невозможно оценить (гарантировать) без привлечения дополнительных данных (гипотез) о стохастических свойствах процесса. В этом, собственно, и состоит принципиальная особенность и отличие минимаксного подхода к решению задач прогнозирования технического состояния ВОЛС [5].

Принцип минимакса, т.е. расчет на наихудший случай по сравнению с принятым в классической статистике принципом минимизации среднего риска, позволяет:

- решить задачу без учета гипотез и допущений о стохастических свойствах прогнозируемого процесса;
- полностью использовать заданную исходную информацию;
- обеспечить гарантированную достоверность и точность результатов прогноза.

На основании вышеизложенного предложена структурно-функциональная схема подсистемы мониторинга и прогнозирования состояния ВОЛС, представленная на рисунке 3.

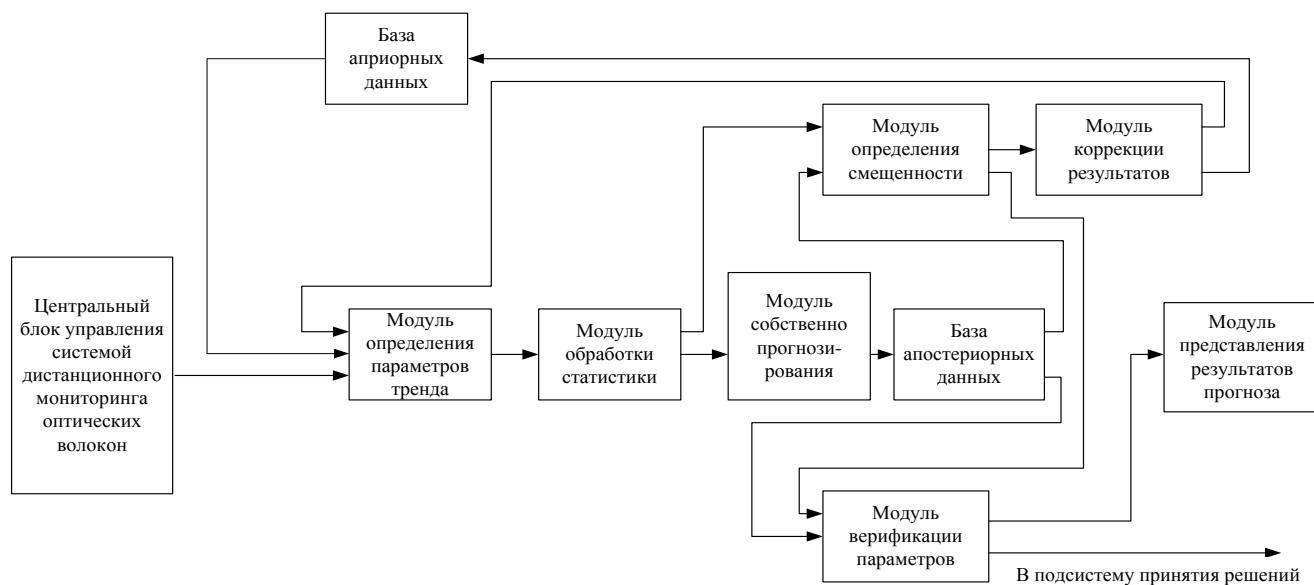


Рис. 3. Структурно-функциональная схема подсистемы мониторинга и прогнозирования состояния ВОЛС  
Fig. 3. The structural and functional diagram of the subsystem for monitoring and predicting the state of the fiber optic link



Кроме типовых функций обработки данных мониторинга ВОЛС в аналитический программный модуль предлагается добавить процедуры прогностического контроля, основанные на предлагаемом методе прогнозирования значений параметров ВОЛС.

В соответствии с предложенным методом гарантированного прогнозирования предлагается следующий состав аналитического программного модуля:

- база априорных данных;
- база апостериорных данных;
- модуль определения параметров принятого вида зависимости параметра от времени (параметров тренда);
- модуль обработки статистики;
- модуль определения смещения прогноза;
- модуль собственно прогнозирования;
- модуль верификации параметров;
- модуль коррекции результатов прогноза;
- модуль представления результатов прогноза.

В качестве входной информации используется база априорных данных:

- о моделях воздействия параметров окружающей среды на объекты ВОЛС;
- о моделях изменения статистики объектов ВОЛС под воздействием управляющих воздействий;
- основные виды зависимостей параметров ВОЛС от времени;
- режимы функционирования, контролируемого в данный момент объекта ВОЛС;
- измерительная информация, поступающая из центрального блока управления.

При синтезе процедур обработки информации особое значение приобретает сглаживание и фильтрация процессов изменения параметров. Поэтому на модуль определения параметров принятого вида зависимости параметра от времени возложены функции определения вида зависимости параметров от времени, что связано с образованием и хранением совокупности априорных сведений о характере изменения параметров. Определение вида зависимости параметров от времени служит для минимизации систематической составляющей погрешности прогнозирования, возникающей при вычислении собственно состояния объекта контроля [6-8]. Выделение этих модулей оправдано также с точки зрения работы модулей коррекции результатов прогнозирования, поскольку в результате коррекции должны изменяться в первую очередь либо параметры указанных зависимостей параметров от времени, либо сами зависимости. Естественно, что модулю коррекции результатов прогноза должен предшествовать модуль определения смещенности оценок прогнозирования. На основе этих оценок подсистемой принятия решений должны вырабатываться управляющие воздействия. Управляющие воздействия обеспечивают [9]:

- коррекцию измеряемых (контролируемых) параметров;
  - изменение регламента технического обслуживания ВОЛС;
  - выработку сигнала на замену элементов ВОЛС;
- изменение режима эксплуатации элементов ВОЛС путем принятия менее жестких режимов функционирования в случае серьезных последствий отказа элементов ВОЛС.

Таким образом, проведенные исследования позволили сделать следующие выводы:

- анализ возможности одновременного распространения в световоде информационного и тестового сигнала показал о возможности распространения двух и более длин волн в одном световоде. Данные решения предлагается применить при построении системы дистанционного мониторинга ВОЛС;

– непрерывный контроль волокон позволяет системе сигнализировать об ухудшении качества кабеля, если это вызывает превышение пороговых значений пользователя по техническим характеристикам, а также расширить функции системы прогностическим контролем, взяв за основу алгоритм гарантированного прогнозирования значений параметров ВОЛС на основе свойств экстремальных полиномов С. Карлина;

– на основании проведенного синтеза предложена структурно-функциональная схема подсистемы мониторинга и прогнозирования состояния ВОЛС;

– вышеизложенные положения предложено учитывать при создании любой системы дистанционного мониторинга ВОЛС. Недоучет какого-либо из этих положений как правило ведет к синтезу системы с низким уровнем достоверности результатов прогнозирования. Однако в каждом конкретном случае специфика объекта контроля и цель прогнозирования приводят к некоторым изменениям. В большинстве случаев эти изменения определяются математическим обеспечением прогностического контроля.

#### Список литературы

1. Дмитриева С.А., Волоконно-оптическая техника: современное состояние и новые перспективы. – 3-е изд. – М.: Техносфера, 2010. – 608с.
2. Родина О.В. Волоконно-оптические линии связи. Практическое руководство. – М.: Горячая линия – Телеком, 2009. 400 с.
3. Химмельблау Д. Анализ процессов статистическими методами. – М.: Мир, 1973. – 957 с.
4. Листвин А.В., Листвин В.Н., Рефлектометрия оптических волокон. – М.: ЛЕСАРарт, 2005. 208 с., с ил.
5. Карлин С., Стадден В. Чебышевские системы и их применение в анализе и статистике / пер. с англ. под ред. С.М.Ермакова. – М.: Наука, 1976. – 586 с.
6. Гаврилова Т. А., Хорошевский В. Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. СПб.: Питер, 2001. 382 с.
7. Гросдидиер П. Залог успеха проектов прогрессивных средств управления процессами // Нефтегазовые технологии. 2005. № 2, С. 56–58.
8. Сахаров А.А. Концепции построения и реализации информационных систем, ориентированных на анализ данных // СУБД. 1996. № 4. С. 55–70.
9. Camacho E.F., Bordons C. Model predictive control. London: Springer-Verlag, 2004. 405 p.

#### References

1. Dmitrieva S.A., Fiber optic technology: current status and new perspectives. – 3rd ed. – М.: Technosphere, 2010. – 608 p.
2. Homeland O.V. Fiber optic communication lines. A practical guide. – М.: Hot line – Telecom, 2009. 400 p.
3. Himmelblau D. Analysis of processes by statistical methods. – М.: Mir, 1973. – 957 p.
4. Listvin A.V., Listvin V.N., Reflectometry of optical fibers. – М.: LESARart, 2005. 208 p.
5. Karlin S., Stadden V. Chebyshev systems and their application in analysis and statistics / Per. from English under the editorship of S.M. Ermakova. – М.: Nauka, 1976. – 586 p.
6. Gavrilova T.A., Khoroshevsky V.F. Knowledge bases of intelligent systems. St. Petersburg: Peter, 2001. 382 p.
7. Grosdidier P. The key to success of projects of progressive process control tools // Oil and Gas Technologies. 2005. No. 2, pp. 56–58.
8. Sakharov A.A. The concept of building and implementing information systems oriented to data analysis // DBMS. 1996. No. 4. P. 55–70.
9. Camacho E.F., Bordons C. Model predictive control. London: Springer-Verlag, 2004. 405 p.

**Сансевич Валерий Константинович**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры многоканальной электросвязи

**Александров Даниил Дмитриевич**, студент Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации

**Косов Егор Олегович**, студент Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации

**Архипов Сергей Николаевич**, кандидат технических наук, сотрудник Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации

**Sansevich Valery Konstantinovich**, candidate of technical sciences, Senior Research Fellow, Associate Professor of the Department of Multichannel Telecommunications

**Aleksandrov Daniil Dmitrievich**, student Academy of the Federal security service of the Russian Federation

**Cosov Egor Olegovich**, student Academy of the Federal security service of the Russian Federation

**Arkhipov Sergey Nikolaevich**, candidate of technical sciences, Academy of the Federal security service of the Russian Federation