

# СИСТЕМЫ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И СЕТЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

DOI: 10.24143/2072-9502-2021-3-64-81  
УДК 656.628

## СИНТЕЗ ПОДСИСТЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ ВЕДОМСТВЕННОГО СИТУАЦИОННОГО ЦЕНТРА

*В. В. Каретников, Н. П. Будко, В. В. Аллакин*

*Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация*

Задача исследования – на основе проведения анализа особенностей развития современных информационно-телекоммуникационных сетей (ИТКС) общего пользования, заключающихся в географической рассредоточенности сетевых ресурсов, источников и получателей информации; пульсирующем характере сетевого трафика; разнородности элементов и применяемых сетевых технологий; случайности функционирования; «нетерпимости» к управлению; существенной нестационарности основных характеристик и невозможности полного математического описания обосновать невозможность использования существующих методов контроля информационно-телекоммуникационной системы и необходимость осуществления синтеза ее подсистемы интеллектуального мониторинга, а также разработки новых методов на базе интеллектуальных подходов. Цель работы – повышение эффективности системы поддержки принятия решений ситуационного центра Министерства транспорта Российской Федерации за счет сопряжения формируемой его подсистемы интеллектуального мониторинга с сетевыми элементами подконтрольного пространства. Структуризация контролируемого пространства терминами «зона мониторинга», «критически важный элемент» и «классы технического состояния» составляют основу нового подхода к интеллектуальному мониторингу независимо от постоянного совершенствования (эволюционирования) и неоднородности гетерогенных сетевых инфраструктур. Полученные в ходе параметрического синтеза значения приемлемых оптимальных значений степени загрузки каналов измерительной информацией дают возможность рассчитать пропускные способности технологических каналов телеизмерений-телесигнализации и необходимый объем буферной памяти при известной топологии сети и заданной матрице тяготения, обеспечивающих среднее минимальное время доставки интеллектуальных агентов (пакетов измерительной информации) и значение максимальной вероятности отказа в их обслуживании в допустимых пределах. На основе предложенного гиперграфа топологической взаимосвязи зон мониторинга ИТКС ведомства построена структура ее подсистемы мониторинга на уровнях разукрупнения при агрегации контролируемых процессов. Полученные результаты структурного и параметрического синтеза ложатся в основу концептуальной модели интеллектуального мониторинга ИТКС ведомства.

**Ключевые слова:** информационно-телекоммуникационная сеть, подсистема интеллектуального мониторинга, структурный синтез, параметрический синтез, зона мониторинга.

**Для цитирования:** Каретников В. В., Будко Н. П., Аллакин В. В. Синтез подсистемы интеллектуального мониторинга информационно-телекоммуникационной сети ведомственного ситуационного центра // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2021. № 3. С. 64–81. DOI: 10.24143/2072-9502-2021-3-64-81.

## Введение

Возрастающая роль ситуационных центров (СЦ)<sup>1</sup> в вопросах создания и развития экономики нового уклада в России на основе современных информационных технологий сегодня общепризнанный факт, закрепленный многими руководящими документами уровня Президента Российской Федерации (РФ) и Правительства РФ [1]. Тем не менее, на данный момент только половина федеральных органов исполнительной власти (ОИВ), а также федеральных служб и агентств имеют полноценные СЦ, создаваемые в соответствии с Указом Президента РФ № 648 от 25 июля 2013 г. «О формировании системы распределенных ситуационных центров, работающих по единому регламенту взаимодействия».

Иерархически структура сети СЦ ОИВ включает в себя три уровня: высший уровень – СЦ Президента РФ, СЦ Правительства РФ, СЦ Администрации Президента РФ и Совета безопасности РФ; второй уровень – СЦ полномочных представителей Президента РФ в федеральных округах, руководителей министерств и ведомств; третий уровень – СЦ глав субъектов РФ, корпораций и крупных предприятий [1]. В тех ОИВ, где уже приступили к созданию СЦ, на наш взгляд, программы цифровизации государственного управления могут развиваться более эффективно, обеспечивая переход от задач мониторинга к комплексному анализу, планированию и прогнозу.

Для Министерства транспорта РФ задача создания СЦ не нова, поскольку в каждом федеральном агентстве Минтранса существуют инфраструктуры подобного типа, построенные на информационно-телекоммуникационных сетях (ИТКС), объединяющие в своем составе наземные сегменты (развернутые вдоль автомобильных и железнодорожных магистралей) со средствами сигнализации и связи при управлении автотранспортом и движением поездов (ДП), систем связи и радиотехнического обеспечения при организации системы управления воздушным движением (ВД), систем автоматизированного управления движением судов (ДС) на внутренних водных путях (ВВП) и в морских акваториях. Здесь уже проявляется иерархический принцип построения ИТКС от телекоммуникационных структур автомобильных и железных дорог, районов ВД и районных администраций бассейнов рек (озер) до единых центров управления (ЕЦУ) ДП, ЕЦУ ВД, ЕЦУ ДС. Однако сложности создания СЦ Минтранса РФ обусловлены тем, что существующие ЕЦУ движением различных категорий транспорта являются изначально гетерогенными<sup>2</sup> даже в рамках одной системы (только международная глобальная морская система связи при бедствиях – *GMDSS* (англ. *Global Maritime Distress and Safety System*) использует средние – СЧ (*MF*), высокие – ВЧ (*HF*), очень высокие – ОВЧ (*VHF*), ультравысокие – УВЧ (*UHF*) и сверхвысокие – СВЧ (*SHF*) частоты), не говоря уже о внутриведомственной или межведомственной специфике их объединения в интересах выстраивания логистического взаимодействия при движении пассажиропотоков и грузоперевозок внутри РФ и при выходе на мировой уровень.

Организационно СЦ состоит из сегментов: *руководства* ОГУ, *мониторинга* состояния подконтрольного пространства (распределенной ИТКС), *ситуационного анализа* и *поддержки принятия решений*, *администрирования* и *эксплуатации* аппаратно-программных средств (АПС) СЦ (рис. 1).

Одним из основных сегментов СЦ является сегмент мониторинга, который представлен комплексом АПС, предназначенных для сбора, обработки и хранения метрик объектов мониторинга, а также выдачи оповещений о нестандартных ситуациях на подконтрольном пространстве.

<sup>1</sup>Ситуационный центр – программно-технический комплекс, концентрирующий информацию о подконтрольном пространстве от разных источников и обеспечивающий ситуационное управление, принятие управленческих решений с широким использованием информационно-коммуникационных технологий, моделей и методов ситуационного анализа [1].

<sup>2</sup>Под гетерогенными имеются в виду, как правило, сетевые структуры, образующиеся объединением различных ведомственных сетей, имеющих разные принципы построения, сетевые технологии доставки и/или защиты информации, и/или программно-аппаратные средства [2].

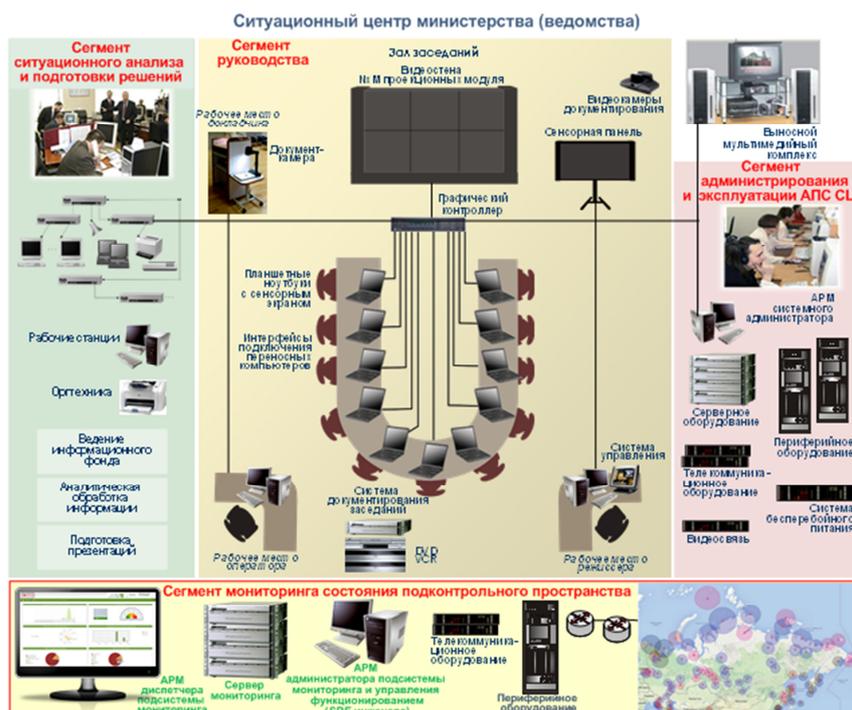


Рис. 1. Вариант типового решения программно-технического комплекса ситуационного центра ведомства

Ключевыми элементами сегмента мониторинга СЦ является АРМ диспетчера подсистемы мониторинга и сервер мониторинга, который с позиции области применения и наблюдаемого пространства может формироваться по областям применения различно, но с позиции ИТКС должен состоять из сборщика сырых данных, базы данных временных рядов и *HTTP* сервера, функционирующих во взаимодействии с объектами мониторинга, подсистемой оповещения и подсистемами отображения иных сегментов СЦ [3].

В соответствии с поставленной задачей по созданию СЦ Минтранса требуется осуществить сопряжение разнородных сегментов ИТКС Росавтодора, Росжелдора, Росавиации, Росморречфлота и Ространснадзора в территориально-распределенную инфраструктуру с построением на ней подсистемы мониторинга состояния ее элементов. Это пересекается с общей тенденцией развития и совершенствования современных сетей связи, направленной на переход от узкопрофильных гомогенных внутриведомственных к гетерогенным межведомственным ИТКС в рамках Единого информационного пространства России. При этом важно понимать, что для эффективного управления современными ИТКС необходимо знание актуального функционального состояния сетевых элементов (в режиме реального времени), а также каналов связи между ними, что требует их полного охвата процедурами контроля и мониторинга. Учитывая указанные особенности в развитии ИТКС, а также высокую скорость эволюции современных систем управления, комплексов связи и их средств контроля, прошедшие этапы автоматизации (1970–1990 гг.), интеграции (1990–2010 гг.) и унификации (2010–2030 гг.), важно отметить, что мы вплотную подошли к рубежу, когда такими сложными распределенными гетерогенными структурами невозможно управлять вручную. Все это говорит о несовершенстве существующих систем контроля и научно-методического аппарата, ориентированных на использование в гомогенных сетевых структурах, а также о необходимости поиска новых технологий и подходов к построению подсистем распределенного мониторинга функционального состояния элементов современных ИТКС на основе новых методов *интеллектуального мониторинга*.

Исторически сложилось, что задача синтеза территориально-распределенных ИТКС рассматривается с точки зрения трех основных этапов: структурного синтеза, параметрического синтеза и выбора (разработки) методов управления на них [2, 4]. В этом случае подсистемы мониторинга распределенных сетевых структур, как правило, имеют трехуровневую структуру,

состоящую из сенсорного уровня (на котором осуществляется сбор информации о функциональном состоянии сетевых элементов), телекоммуникационного уровня (объединяющего каналы телесигнализации для передачи измерительной информации (ИИ) от сенсоров (датчиков) в центр ее обработки) и *диспетчерского уровня* (осуществляющего сбор ИИ, ее обработку и представление результатов обработки в удобном виде для принятия решения на управление сетью). Учитывая, что структуры подсистем мониторинга накладываются на структуры ИТКС, используя в интересах своего телекоммуникационного уровня (каналов телесигнализации) общие каналы, может показаться, что этап синтеза подсистемы мониторинга сводится к синтезу самой сети. Однако необходимо отметить наличие существенных отличий технологий контроля и мониторинга от технологий управления современными ИТКС, что требует для распределенных гетерогенных структур решения самостоятельной задачи синтеза подсистемы мониторинга.

Информационно-телекоммуникационные сети справедливо относят к системам с высокой степенью доступности и непрерывным режимом функционирования, при котором необходимо обеспечить безотказность работы узлов системы и их сервисов круглосуточно 365 дней в году. Это связано не только с тем, что каждая минута простоя для телеком-операторов и их клиентов влечет существенные финансовые и репутационные издержки. Для транспортной отрасли это сопряжено еще и с тем, что при неудовлетворительной работе ИТКС и ее критически важных приложений (сетей технологической связи) может наступить уголовная ответственность [5] водителя (машиниста, пилота, капитана) или администрации (организатора движения). При этом не только отсутствие, но и низкое качество сетевых услуг могут лечь в основу судебных претензий (при включении вопроса качества услуг в *SLA*-договор [6] с оператором). Таким образом, контроль функционирования сетевого оборудования важен не только телеком-оператору, но и потребителю (судовладельцу, судоводителю и т. д.). Причем важно отметить, что сетевой мониторинг на сегодня является единственным объективным и надежным методом оценки параметров эффективного функционирования ИТКС, что требует разработки и совершенствования его инструментария. Так, из доклада *ACFE* [7] следует, что организации, применяющие в повседневной деятельности инструменты мониторинга и прогноза в ИТКС, снижают потери на 60 % по сравнению с организациями, их игнорирующими.

*Цель статьи:* поиск путей повышения эффективности системы поддержки принятия решений (СППР) СЦ Министерства транспорта РФ за счет сопряжения формируемой его подсистемы интеллектуального мониторинга с сетевыми элементами подконтрольного пространства.

### **Анализ научно-методического аппарата**

Учет тенденций развития транспортной отрасли РФ по направлениям как наземных, воздушного, так и водных видов транспорта, наличествующих топологических неоднородностей, поддерживающих их телекоммуникационные инфраструктуры, вариативности применения при обслуживании сезонного транспортного трафика, когда даже кратковременное нарушение функционального состояния сетевых элементов и отдельных сегментов ИТКС (их деградация, блокировка), контролируемых с помощью существующих средств измерений, является неприемлемой с точки зрения выполнения требований транспортной безопасности и надежности, требует новых подходов, методов контроля и постоянного мониторинга технического состояния (ТС) для их обеспечения. В настоящее время необходимы такие методы контроля, которые фактически будут являться «нечувствительными» к свойству постоянного совершенствования, эволюционирования и другим особенностям современных ИТКС. При этом важно повышение информативности оценки ТС сетевых элементов, сокращение ресурсных (временных и технических) затрат на ведение измерений. Такую задачу можно декомпозировать на ряд частных задач, основными из которых являются задачи анализа и синтеза процессов мониторинга ТС сетевых элементов, обладающих динамическими свойствами и определяемых характером их применимости на межведомственной ИТКС.

Существующие научные направления в области контроля ТС сложных технических (динамических) систем, а именно научные школы О. В. Абрамова, А. В. Назарова, Ф. Л. Черноусько, В. В. Федоренко, Г. Г. Раннева и других выдающихся российских и зарубежных ученых, ведут поиск решения научных задач как в теории контроля, так и на стыке других теорий, однако их разработки не обеспечивают контроль ТС систем, комплексов связи с учетом описанных

выше свойств (эволюционного развития и динамичности структур). Аналогичные подходы в других областях знаний данное свойство также не учитывали, однако могут быть адаптированы к задаче контроля в этих условиях и могут способствовать пониманию физической природы контролируемых процессов сложных динамических систем и комплексов связи при взаимоувязанном применении известных математических аппаратов (теорий динамических систем, случайных процессов, контроля, классификации и др.) с соблюдением требований оперативности, достоверности и точности контроля.

Особый интерес представляют активно развивающиеся в последнее время интеллектуальные системы контроля ТС сложных динамических систем [8, 9], отличающиеся от адаптивных большей оперативностью, чувствительностью к аварийности, характеризуемые возможностью аккумуляции и обновления совокупности знаний о наблюдаемом состоянии объектов контроля (ОК) (в виде правил применения различных методов оценивания ТС), а также отсутствием ограничений (например, по масштабу процесса контроля), свойственных адаптивным системам контроля. С учетом этого интеллектуальный подход, учитывающий вышеописанные свойства современных средств телекоммуникаций, позволит компенсировать «временной разрыв», техническую и технологическую отсталость существующих средств контроля и мониторинга от опережающего развития ИТКС.

Согласно [10] под *мониторингом ТС* понимается составная часть технического обслуживания, заключающаяся в наблюдении за объектом с целью получения информации о его ТС и рабочих параметрах. Причем мониторинг может проводиться в процессе функционального контроля непрерывно (рис. 2) или через запланированные интервалы времени (контроллинг).

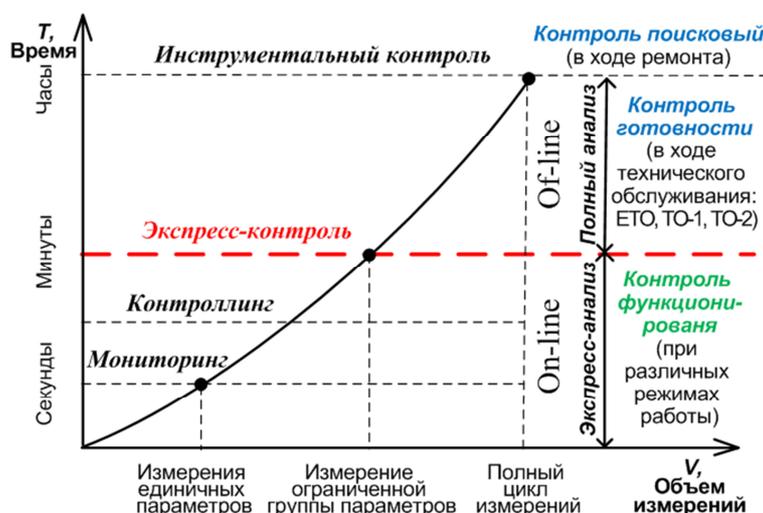


Рис. 2. Место мониторинга и экспресс-контроля ТС элементов ИТКС в теории диагностики

На основе данных мониторинга осуществляется контроль ТС или остаточного ресурса объекта.

Таким образом, подсистема контроля ТС сетевых элементов ИТКС является составной частью подсистемы мониторинга ИТКС и представляется в настоящей работе совокупностью территориально-распределенных средств контроля (сенсоры, подсистемы обработки, передачи измерительной информации и др.) ограниченного действия (как правило, на локальном уровне), эффективность работы которых зависит от их оптимального функционирования и распределения между ОК.

Вопросами построения оптимальных систем диагностики (контроля) занимались ученые Н. П. Байда, А. К. Дмитриев, Р. М. Юсупов, С. П. Ксенз, Г. Д. Петров, А. И. Птушкин, А. Г. Дмитриенко, В. В. Федоренко и др. В теоретическом плане задача оптимизации подсистем мониторинга ТС средств телекоммуникации как элементов ИТКС может быть отнесена к классу задач оптимизации сложных систем. Спектр научных работ в этой области достаточно обширен, данными вопросами занимались О. В. Абрамов, Р. Беллман, Л. С. Понтрягин, Ф. П. Васильев, Ф. Л. Черноусько, Г. Зойтендейк, В. Н. Калинин, И. В. Кузьмин, Б. А. Резников, Е. И. Варакин

и др. Однако анализ моделей и методов, изложенных в этих работах, и анализ особенностей процессов функционирования подсистем контроля в современных условиях показывают, что приведенные в упомянутых работах модели и методы не в полной мере пригодны для решения задачи оптимизации подсистемы интеллектуального мониторинга ТС территориально-распределенной ИТКС. Это объясняется отсутствием учета в результатах контроля вопроса (аспекта) интеллектуальной обработки измерительной информации, поступающей в режиме реального времени (мягкого реального времени), с учетом различий в ее приоритетности.

### Синтез подсистемы интеллектуального мониторинга ИТКС

**Структурный синтез.** Анализ этапов развития ИТКС показал экспоненциальный рост их структур, а значит и контролируемого пространства, порождаемый увеличением территориальной распределенности и неоднородности сегментов сети. При этом большая ее степень размерности, с учетом многоуровневой структуры и гетерогенности  $\Psi(t)$ , совокупности наблюдаемых параметров (метрик), предполагает наличие такой модели подсистемы мониторинга, которая позволит учитывать принципы построения и требования, предъявляемые к системам контроля, что позволит решить задачу уровня сложности  $\Psi(t) = \{Y(t), W(t)\}$ , где  $Y(t)$  и  $W(t)$  – компоненты, характеризующие топологию структуры подсистемы мониторинга и ее функциональные свойства соответственно.

Для редуцирования (сокращения) контролируемого пространства, характеризуемого пространственно-временной и топологической неоднородностью, представим ИТКС как развивающуюся систему, построенную на основе кластерной технологии, где каждый кластер (сегмент сети) с учетом эволюционного развития и динамичности структуры можно представить совокупностью зон мониторинга  $Z_v(t)$ , разделенных на критически важные элементы (КВЭ), масштабируемые на любом этапе развития (рис. 3).

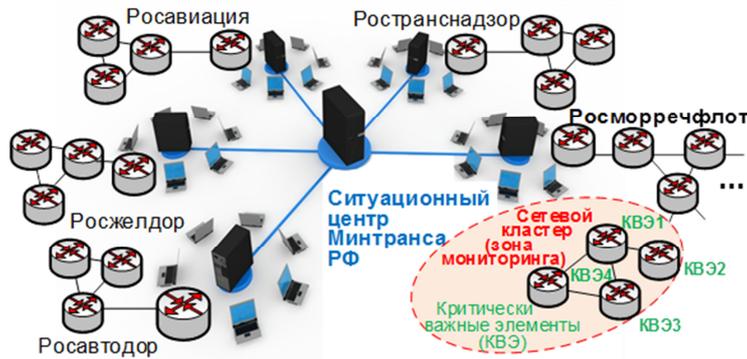


Рис. 3. Гиперграф топологической взаимосвязи зон мониторинга на примере ИТКС Минтранса (вариант)

Следовательно, наблюдаемая ИТКС комплексировается и агрегируется в процессе эволюции в одну общую систему, что предполагает соответствующее развитие ее свойства контролируемости:  $Y(t) = \{H_v(t), L_d(t)\}$ ,  $H_v(t) = \{Z_v(t), J_p(t)\}$ , где  $H_v(t)$  – множество вершин гиперграфа (с учетом большой размерности совокупности сетевых элементов, объединенных в кластеры (зоны мониторинга) и их структур,  $v = \overline{1, x}$ ), представляемых, к примеру, на рис. 3, федеральными агентствами (Росморречфлот, Росавиация, Росавтодор, Росжелдор) и службой Ространснадзора, т. е.  $x \leq 5$ ;  $L_d(t)$  – множество дуг гиперграфа, представляемых  $d$ -взаимосвязями между сетевыми элементами;  $J_p(t)$  – множество дуг гиперграфа, представляемых из  $p$  отношений между КВЭ в зонах мониторинга.

На основе изложенного подхода контролируемые неоднородные сетевые элементы ИТКС представляются упорядоченной по значимости совокупностью зон мониторинга, под которыми следует понимать кластеры ИТКС с разной степенью неоднородности, состоящие из КВЭ. При этом КВЭ могут быть как однородными (например, коммутаторы), но образовывать разные, не связанные непосредственно зоны мониторинга, так и разнородными (например, для Росморреч-

флота – оборудование связи, контрольно-корректирующие станции дифференциальной навигационной подсистемы, базовые станции автоматической идентификационной системы и т. п.), образующими непосредственно связанные зоны. При этом КВЭ представляется технологическим ресурсом, состоящим из неоднородных сетевых элементов, отказ которых приводит к тому, что ОК полностью переходит из предотказного (предаварийного) в неработоспособное (аварийное) состояние:  $Z_v(t) = \{K_{vg}(t); g = 1, 2, \dots, m(t), \dots, l(t)\}$ , где  $K_{vg}(t)$  – совокупность из  $g$  КВЭ, причем  $m$  – необходимое и достаточное число КВЭ, а  $l$  – общее число КВЭ в процессе мониторинга ИТКС.

Предлагается следующее определение КВЭ как элемента агрегации сетевых устройств относительно подсистемы мониторинга ИТКС: это отдельные элементы ИТКС на различных уровнях ее разукрупнения, показатели надежности которых в наибольшей степени влияют на показатели надежности всего сетевого кластера (зоны мониторинга).

Относительно контролируемого пространства КВЭ представляются сетевыми элементами с «разукрупнением вниз», контрольный опрос «ниже» которых *может быть нецелесообразен*. Тогда в качестве ограничений и допущений в работе предлагается обнаружение и идентификацию аварийных ситуаций в процессе мониторинга ТС ИТКС проводить в зонах мониторинга, ограничиваясь КВЭ, обеспечивающим функционирование других элементов, согласно топологии подконтрольного пространства, в пределах рассматриваемых зон мониторинга. Основываясь на результатах анализа функционирования ИТКС, каждый КВЭ имеет свою топологическую структуру. Возможна нумерация КВЭ с учетом их принадлежности к зоне мониторинга, что позволяет помимо редуцирования образовывать счетное контролируемое пространство, функционирующее на разных организационно-технических уровнях.

Взаимодействие подсистемы мониторинга с конкретным КВЭ соответствующих зон мониторинга без проведения опроса всего сетевого оборудования при поиске неисправности на разных уровнях разукрупнения ИТКС позволяет значительно экономить время и материальные ресурсы (рис. 4).

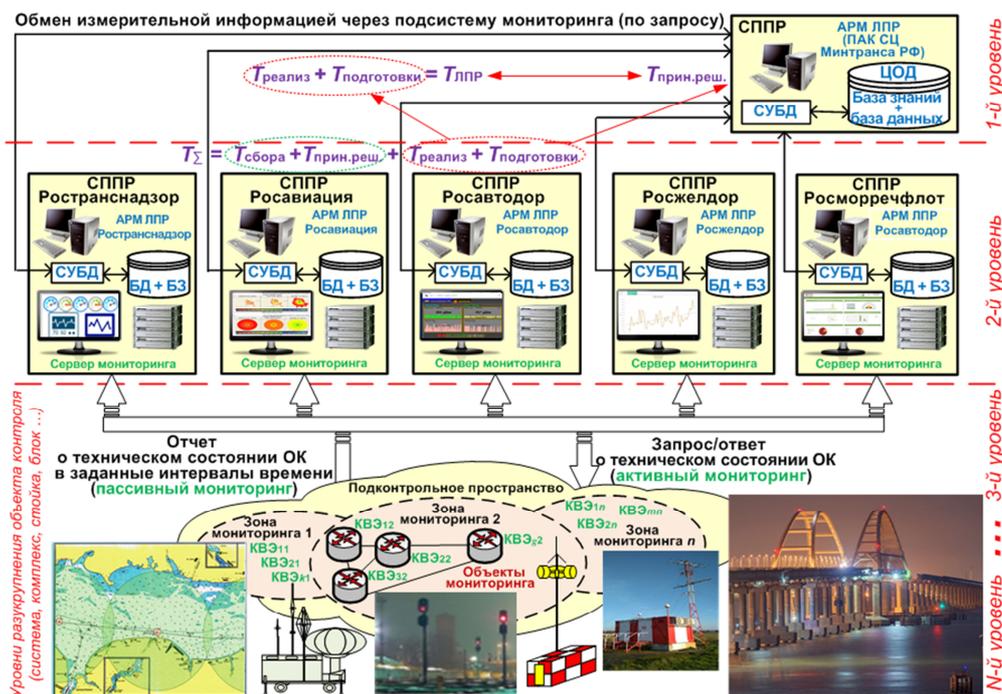


Рис. 4. Структура подсистемы мониторинга ИТКС ОП на примере СЦ Минтранса РФ (вариант)

За счет такой структуры ИТКС, состоящей из определенных зон мониторинга, которые имеют в качестве пограничных элементов КВЭ (центры сопряжения, узлы коммутации, маршрутизаторы и пр.), можно осуществлять мониторинг сети более эффективно. Такое представление контролируемого пространства дает возможность рассматривать *концептуальную модель мониторинга* для определения соответствия эксплуатационных параметров средств телекомму-

никаций установленным требованиям, объединяя концепции измерений, анализа и тестирования. Особенностью предлагаемого ситуационного управления является процесс передачи ИИ о ТС КВЭ в зонах мониторинга ИТКС (зона связи, зона навигации, линии связи и пр.) для последующего анализа, что позволит обеспечивать управление системой, ее элементами и осуществлять диагностику, а при необходимости – реконфигурацию ИТКС (дистанционный переход на резерв, переключение каналов, ввод новых элементов в сеть или вывод их из эксплуатации и т. д.). На этой основе возможно своевременное обнаружение и устранение неисправностей – от автоматического процесса сбора ИИ до выработки и принятия решений в СППР СЦ (ЕЦУ ДС, ЕЦУ ДП, ЕЦУ ВД), представляющих собой человеко-машинные системы, – что повышает оперативность, точность (за счет исключения человеческого фактора) и в целом дает прирост устойчивости ее функционирования.

Описание контролируемой ИТКС в терминах зон мониторинга и КВЭ, редуцирующих (снижающих размерность) подконтрольное пространство до значимого элемента, позволит осуществлять сбор ИИ о ТС сетевых элементов помимо лиц, принимающих решения (ЛПР) СЦ уровня ведомства (или его департамента), а также в автоматическом режиме проводить анализ и обработку полученной ИИ на уровне межсерверного взаимодействия, что повысит оперативность мониторинга. Для повышения достоверности ИИ о ТС КВЭ предлагается расширить количество видов ТС (включая предотказное), классифицируя их до шести [11–13]. При этом свойства КВЭ в зонах контроля  $W(t)$  можно характеризовать квалиметрическими параметрами  $B_{kg}(t)$ . Таким образом, расширение числа классов ТС позволит не только осуществлять прогноз состояния ОК, но и более гибко учитывать применение методов их оценки. Такая совокупность предложений позволит на концептуальном уровне редуцировать пространство мониторинга и обеспечивать доставку ИИ до СППР за минимальное время  $W(t) = \{B_{kg}(t), k = 1, 2, \dots, s(t), \dots, q(t)\}$ , где  $s(t) = 6$  – необходимое и достаточное число квалиметрических параметров (классов ТС), полученных путем классификации областей работоспособности КВЭ с использованием метода распределенного многоуровневого контроля [14, 15].

На основе результатов мониторинга принимаются управляющие решения по использованию материальных и временных ресурсов для процедуры мониторинга и дальнейшего управления ИТКС. Причем в соответствии с выражением  $U_{\Sigma}(t) = R_{\Sigma}^v(t) - R_g^z(t)$  управление является функцией времени  $U_{\Sigma}(t)$  в зависимости от суммарного расходуемого ресурса с учетом времени  $t_k \ll t_k^{\text{дон}}$ , необходимого на проведение контроля сетевых элементов, где  $R_{\Sigma}^v(t)$  – суммарный ресурс ОК и подсистемы мониторинга высшего уровня управления (ведомства),  $R_g^z(t)$  – «зональный» ресурс в рамках зоны мониторинга, определяемый числом в ней КВЭ. Очевидно, что ограничение на «зональный» ресурс включает ограничение и на время, расходуемое на контроль ТС элементов сети, расположенных ниже КВЭ. Ограничивая контролируемое пространство до КВЭ приоритетных зон мониторинга, ЛПР получает временной выигрыш на принятие оперативных решений по управлению ИТКС. Данные особенности ОК составляют основу методов интеллектуального контроля, являющихся «нечувствительными» к свойству постоянного эволюционирования (совершенствования) и неоднородности ведомственных и межведомственных ИТКС. Разработка таких методов должна охватывать процессы формирования, оценки и передачи ИИ с целью принятия оперативных решений по результату аварии для обеспечения устойчивого функционирования ИТКС. Исходя из свойств автономности функционирования, топологической и пространственно-временной неоднородности, проявляющихся на гетерогенных ИТКС, процесс контроля их ТС должен осуществляться в режиме реального времени, а их подсистемы мониторинга – проектироваться с учетом адаптации к внешним факторам и внутренним режимам функционирования.

Описание подконтрольного пространства эволюционирующих (изменяющихся) ИТКС и многоуровневая структура телекоммуникационных систем предполагают их разукрупнение в зависимости от степени топологической неоднородности на зоны мониторинга с КВЭ (см. рис. 4). На основе организационно-технических структур примером уровней разукрупнения для Минтранса РФ (1 уровень) являются департаменты (агентства и службы) со своими ИТКС (2 уровень), ниже идут структуры, определяемые родовыми признаками предназначения, например для Росморречфлота – структуры морского и речного флота с разбиением на администрации бассейнов ВВП РФ, взаимодействующих с ЕЦУ ДС, и далее – на районы водных путей и судоходства (как *низовой* уро-

вень), обеспечивающие эффективное функционирование средств телекоммуникационного и навигационного оборудования на ВВП РФ.

Статический и динамический характер функционирования ИТКС на всех уровнях разукрупнения, в зависимости от смены вариантов применения (день/ночь, начало и окончание навигации и пр.) и режимов работы, определяет вариативность ее свойств, характеризуемых протекающими в ОК процессами, что выражается в виде пространственно-временной неоднородности. С учетом этого интеллектуальные методы контроля должны обеспечивать выявление зон неоднородности сетевых элементов ИТКС, проявляемых не только топологически, согласно их структуре (по зонам мониторинга и КВЭ), но и по протекающим в них процессам (рис. 5).

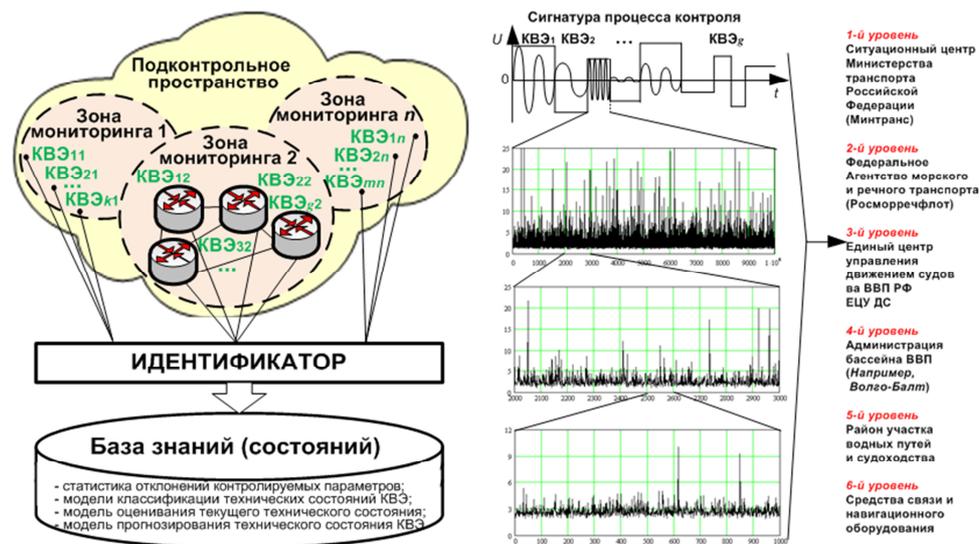


Рис. 5. Структура  $m$  уровней разукрупнения при агрегации  $n$  контролируемых процессов (на примере Минтранса РФ)

Синтез данных, поступающих от контролируемых сетевых элементов ИТКС, осуществляемый на основе систем их интеллектуальной обработки, поможет реализовать новое интегративное качество, позволяющее спрогнозировать и предупредить негативное развитие процессов согласно определенным законам распределения, характеризующим виды ТС (работоспособное, предотказное, неработоспособное и др.) различных КВЭ и ИТКС в целом.

**Параметрический синтез.** Формируемая в ходе структурного синтеза подсистема мониторинга Минтранса РФ в различных ее проявлениях должна определить исходные данные для решения задачи параметрического синтеза при сопряжении аппаратных и канальных ресурсов сегментов ИТКС.

Понятие эффективности использования ресурсов является ключевым при анализе и синтезе ИТКС. Так, в некоторых источниках [2] задача синтеза сводится к задаче управления ее ресурсами. При этом эффективность использования ресурсов подсистемой мониторинга как сетевой структуры оценивается протекающей по ветвям сети ИИ по отношению к пропускным способностям (ПС) этих ветвей технологической связи. В структуре, синтезированной по методам замены [16] сети, ПС каждой ветви берется равной проходящей по ней нагрузке. Поскольку в реальных ИТКС создающие нагрузку потоки измерительной и управляющей информации являются случайными, то согласно основным результатам теории массового обслуживания (ТМО) среднее время обслуживания и длины очередей на входе в каждый канал будут стремиться к бесконечности, а вероятность потерь будет превышать все разумные пределы. Поэтому определенное превышение ПС данной ветви над протекающей по ней ИИ принципиально необходимо для обеспечения требований к качеству функционирования подсистемы мониторинга, что и является объектом оптимизации. Это означает, что эффективность использования ресурсов подсистемой мониторинга и качество мониторинга (как услуги) в сети являются взаимосвязанными понятиями. Как известно из ТМО, чем выше требуемое качество услуги, тем больший

объем ПС необходим для ее предоставления и тем ниже эффективность использования ресурсов сети, т. е. в конкретной ИТКС с определенным набором механизмов управления произведение качества услуги на эффективность есть фиксированная величина:  $Q \cdot E = C$ , где  $Q$  – абстрактное значение качества услуги, предоставляемой подсистемой мониторинга;  $E$  – абстрактное представление значения эффективности использования ресурсов подсистемы мониторинга;  $C$  – некоторая постоянная величина, характеризующая сеть с точки зрения качества мониторинга. Возникает вопрос, какие качественные показатели подсистемы можно интерпретировать как абстрактные значения качества услуг мониторинга? Это замечание относится и к понятию абстрактного значения эффективности использования ресурсов ИТКС.

Как следует из ТМО, зависимость  $Q \cdot E = C$  существует реально, если в качестве абстрактного значения эффективности использования ресурсов рассматривать величину  $\chi$ , определяющую комплексный коэффициент загрузки ИИ технологических каналов и равную  $\chi_i = F_i / (n_i V_i)$ , где  $F_i$  – поток в ветви подсистемы мониторинга, связывающей узлы ее сенсорного и диспетчерского уровней  $i$  и  $j$ ;  $V_i$  – ПС этой ветви;  $n_i$  – количество каналов в заданном направлении. Если положить  $U_i = n_i V_i$  канальной емкостью заданного направления, то  $\chi_i U_i = F_i$ , где  $U_i$  может выступать в качестве абстрактного значения качества услуги мониторинга с некоторыми оговорками. Произведение  $U = nV$  представляет собой ПС пучка каналов телеизмерений-телесигнализации (ТИ-ТС) в выбранном направлении передачи ИИ, необходимую для обеспечения определенного уровня мониторинга.

В общем случае очереди ИИ связаны с входом в каждый канал ТИ-ТС, образованный пучком из  $n$  каналов и коллективно используемой памятью. Применяемые для оптимизации сетей функционалы, заимствованные из ТМО, помимо ограниченности условий использования являются монотонно стремящимися к бесконечности выпуклыми функциями и не содержат экстремумов. В этой связи задача рационального использования ресурсов подсистемой мониторинга ИТКС формулируется как задача условной оптимизации, требующая задания функций стоимости, которые связывают оптимизируемые параметры функциональной зависимостью. Справедливое желание в этих условиях как-то оптимизировать показатели качества сети привело к использованию множества разнообразных форм функций стоимости без достаточной аргументации для конкретных условий решаемой задачи. Возникло даже авторитетное мнение [14], что в качестве функции стоимости следует использовать ту, которую легче оптимизировать. Иначе говоря, отсутствие естественных уравнений связи вносит определенный субъективизм в результаты решения сетевых оптимизационных задач. Так, проведенные исследования позволили сформулировать две задачи, допускающие решения, удобные для интерпретации результатов, и в качестве уравнений связи используют естественные условия. *Первая задача* минимизации среднего времени задержки заявки (памяти) в сети при обеспечении вероятности отказа в обслуживании не более допустимой  $\bar{T}_{\text{зад}}^{\min} = \min_{V,F} \bar{T}_{\text{зад}}$ , при  $\bar{P}_{\text{отк}} \leq \bar{P}_{\text{отк}}^{\text{доп}}$ ; *вторая задача* определения максимально допустимой вероятности отказа в обслуживании при обеспечении допустимого среднего времени задержки пакета:  $\bar{P}_{\text{отк}}^{\max} = \max_{V,F} \bar{P}_{\text{отк}}$ , при  $\bar{T}_{\text{зад}} \leq T_{\text{зад}}^{\text{доп}}$ . При этом обе задачи могут

рассматриваться как двойственная задача нелинейного программирования. Поэтому в данной работе каждый  $i$ -й сегмент подсистемы мониторинга ИТКС моделируется в виде системы массового обслуживания (СМО) типа  $M/M/n/m$  с ограниченной очередью ( $n$ -канальная СМО с ожиданием), на которую поступает пуассоновский поток заявок с интенсивностью  $\lambda_i$ , интенсивностью обслуживания  $\mu_i$  и числом мест в очереди для  $i$ -го сегмента сети  $m_i$ . В общем случае очереди связаны с входом в каждый сегмент, образованный пучком из  $n$  каналов и коллективно используемой памятью (объемом  $m$  ячеек) в каждом направлении.

Первая задача решена в [15] для ИТКС путем оптимизации среднего времени задержки  $\bar{T}_{\text{зад}}$  ИИ по комплексному показателю  $\chi_i$  для каждого  $i$ -го сегмента сети  $\chi_i = f(n_i, m_i)$ . В [2] предлагается решение второй задачи по оптимизации параметров подсистемы мониторинга ИТКС. При этом необходимо отметить, что расчет величины средней максимальной вероятности отказа  $\bar{P}_{\text{отк}}^{\max}$ , предлагаемый в настоящей работе, лишен элементов субъективизма, т. к. определяется количественными, а не стоимостными характеристиками параметров сети  $F_j$ ,  $V_i$ ,  $n$ ,  $m$  (величиной трафика ИИ, ПС каналов ТИ-ТС, их числом и емкостью буферной памяти), для которого ТМО

дает строгие аналитические зависимости. При этом среднее число занятых каналов в каждом сегменте определяется [15] как

$$\bar{z}_i = \rho_i \left( 1 - \frac{\rho_i^{n_i+m_i}}{n_i^{m_i} n_i!} P_0 \right), \quad (1)$$

где  $\rho_i = \lambda_i/\mu_i$  – приведенная интенсивность потока заявок;

$$\frac{\rho_i^{n_i+m_i}}{n_i^{m_i} n_i!} P_0 = P_{i\text{отк}} \quad (2)$$

– вероятность отказа (потери пакета ИИ) в обслуживании очередному поступившему в узел диспетчерского уровня пакету ИИ по причине отсутствия мест в очереди;  $P_0$  – вероятность того, что каналы ТИ-ТС свободны, нет очереди и нет заявок на обслуживание в СМО:

$$P_0 = \left( \sum_{\alpha=0}^{n_i-1} \frac{(n_i \chi_i)^\alpha}{\alpha!} + \frac{(n_i \chi_i)^n}{n_i!} \frac{1 - \chi_i^{m_i+1}}{1 - \chi_i} \right)^{-1}.$$

Среднее число заявок, находящихся в очереди сегмента подсистемы мониторинга, найдем как

$$\bar{r}_i = P_{i\text{отк}} \sum_{\alpha=1}^{m_i} \alpha \chi_i^{-(m_i-\alpha)}, \quad (3)$$

где  $\chi_i = \rho_i/n_i$  – степень загрузки канала  $i$ -го сегмента подсистемы мониторинга.

Тогда среднее число заявок в СМО определим как

$$\bar{W}_i = \bar{z}_i + \bar{r}_i. \quad (4)$$

С учетом (1)–(3) выражение (4) примет вид

$$\bar{W}_i = n_i \chi_i (1 - P_{i\text{отк}}) + P_{i\text{отк}} \sum_{\alpha=1}^{m_i} \alpha \chi_i^{-(m_i-\alpha)}. \quad (5)$$

Соотношение (5) справедливо для любого сегмента изотропной сети, в которой  $\rho$  не зависит от направления передачи в каналах ТИ-ТС и вероятности потерь в каждом  $i$ -м сегменте подсистемы мониторинга, поскольку  $\chi_i = \rho/n_i \approx \chi$ ,  $P_{i\text{отк}} \approx \bar{P}_{\text{отк}}$ .

Используя формулу Литтла и клейнроковскую аппроксимацию независимостью для  $k$  сегментов подсистемы мониторинга ( $k = 5$ : Росморречфлот, Росавиация, Росжелдор, Росавтодор, Ространснадзор, см. рис. 4) имеем:

$$\gamma \bar{T}_{\text{зад}} = k \bar{W}_i. \quad (6)$$

В данном случае формула Литтла является практически единственным средством выхода на сетевой уровень *OSI*. Тогда с учетом выражения (5) среднее время задержки заявки (пакета ИИ) составляет

$$\bar{T}_{\text{зад}} = \frac{1}{\gamma} k [\bar{P}_{\text{отк}} \sum_{\alpha=1}^{m_i} \alpha \chi^{-(m_i-\alpha)} + n \chi (1 - \bar{P}_{\text{отк}})]. \quad (7)$$

Задавшись допустимым временем задержки пакета ИИ в подсистеме мониторинга, т. е.  $\bar{T}_{\text{зад}} \leq T_{\text{зад}}^{\text{доп}}$ , можно из (7) определить среднюю максимальную вероятность потери заявок (пакетов ИИ) в подсистеме мониторинга в пределах допустимого времени их задержки [2]:

$$\bar{P}_{\text{отк}}^{\text{max}} = \frac{\gamma \bar{T}_{\text{зад}} - kn \chi}{k \sum_{\alpha=1}^{m_i} \alpha \chi^{-(m_i-\alpha)} - kn \chi}. \quad (8)$$

Функция (8) имеет экстремум (максимум), поиск которого является задачей безусловной оптимизации. Путем вычисления частной производной  $\partial \bar{P}_{отк} / \partial \chi = 0$  получаем абсолютный экстремум, который в силу унимодальности  $\bar{P}_{отк}^{\max}$  является глобальным. Данный подход абсолютно исключает субъективизм при выборе функции стоимости для конкретных условий задачи. В силу аддитивности функции (6) и условия (4) после вычисления частной производной получаем уравнение, которое является функцией одной независимой переменной (свойство сепарабельности), т. е.  $\partial \bar{P}_{отк} / \partial \chi = d\bar{P}_{отк} / d\chi = 0$ .

Для упрощения расчетов обозначим  $A = \gamma/k \cdot T_{зад}^{доп}$ , тогда (8) примет вид

$$\bar{P}_{отк} = \frac{A - n_i \chi}{\sum_{\alpha=1}^{m_i} \alpha \chi^{-(m_i-\alpha)} - n_i \chi}. \quad (9)$$

С другой стороны,  $A - n_i \chi = \frac{\sum_{\alpha=1}^{m_i} \alpha \chi^{-(m_i-\alpha)} - n_i \chi}{1 + \frac{1}{n_i} \sum_{\alpha=1}^{m_i} \alpha (m_i - \alpha) \chi^{-[m_i-(\alpha-1)]}}$ . Тогда, подставив данное выражение

в (9), определим среднюю максимальную вероятность отказа для условий передачи ИИ за время  $T_{зад}^{доп}$ :

$$\bar{P}_{отк}^{\max} = \frac{1}{1 + \frac{1}{n_i} \sum_{\alpha=1}^{m_i} \alpha (m_i - \alpha) \chi^{-[m_i-(\alpha-1)]}}. \quad (10)$$

С другой стороны, имеют место выражения для *первой* и *второй задач* оптимизации (показанных выше), которые в совокупности, с учетом (4), можно представить как

$$\bar{P}_{отк}^{\max} = \frac{(n_i \chi)^{n_i+m_i}}{n_i! n_i^{m_i}} \frac{1}{\sum_{\alpha=0}^{n_i} \frac{(n_i \chi)^{\alpha}}{\alpha!} + \frac{(n_i \chi)^{n_i}}{n_i!} \sum_{\alpha=1}^{m_i} \chi^{\alpha}}. \quad (11)$$

После преобразования (11) получим:

$$\bar{P}_{отк}^{\max} = \frac{1}{\frac{n_i!}{\chi_i^{m_i}} \sum_{\alpha=0}^{n_i} \frac{(n_i \chi_i)^{-(n_i-\alpha)}}{\alpha!} + \sum_{\alpha=1}^{m_i} \chi_i^{-(m_i-\alpha)}}. \quad (12)$$

Левые части выражений (10) и (12) равны, следовательно, правомерна следующая запись:

$$\frac{n_i!}{\chi_i^{m_i}} \sum_{\alpha=0}^{n_i} \frac{(n_i \chi_i)^{-(n_i-\alpha)}}{\alpha!} + \sum_{\alpha=1}^{m_i} \chi_i^{-(m_i-\alpha)} = 1 + \frac{1}{n_i} \sum_{\alpha=1}^{m_i} \alpha (m_i - \alpha) \chi_i^{-[m_i-(\alpha-1)]}. \quad (13)$$

После несложных преобразований (13) получаем равенство

$$\sum_{\alpha=0}^{n_i} \frac{n_i!}{\alpha!} (n_i \chi_i)^{-(n_i-\alpha)} = \sum_{\alpha=1}^{m_i-1} \left( \frac{\alpha (m_i - \alpha)}{n_i \chi_i} - 1 \right) \chi_i^{\alpha}, \quad i = \overline{1, k}. \quad (14)$$

Выражение (14) идентично полученному в [2] при оптимизации среднего времени задержки пакетов в сети в пределах допустимой вероятности их потерь, соответствующему выражению  $\bar{T}_{зад}^{\min} = \min_{V,F} \bar{T}_{зад}$  при  $\bar{P}_{отк} \leq \bar{P}_{отк}^{доп}$ , т. е. *первой задаче* оптимизации. Определим корни уравнения (14), изменяющиеся в пределах  $0 \leq \chi \leq 1$  как приемлемые (пр) значения степени загрузки каналов  $\chi_{пр}$ , т. к. в соответствии с ТМО при  $\chi \geq 1$  среднее времени задержки пакетов в сети и вероятность их потерь значительно возрастают, превышая все допустимые значения.

Таким образом, полученный результат (14) позволяет говорить об однозначном соответствии приемлемых оптимальных значений степени загрузки  $\chi_{пр}^{opt}$  каналов ТИ-ТС как минимальному среднему времени задержки пакетов ИИ в подсистеме мониторинга при заданной допу-

стимой вероятности их потерь, так и средней максимальной вероятности потерь пакетов ИИ в подсистеме мониторинга при заданном допустимом времени их задержки, зависящих, в свою очередь, как от требуемого значения вероятности потерь пакетов ИИ  $P_{отк}^{доп}$ , так и от допустимого времени их задержки  $T_{зад}^{доп}$  и являющихся функциями дискретных значений числа измерительных каналов  $n$  и числа мест в очереди  $m$ .

### Оценка полученных результатов

Уравнение системы (14) является функцией одной переменной  $\chi$  и дает возможность независимо определить приемлемое значение степени загрузки ИИ канала ТИ-ТС для каждого сегмента подсистемы мониторинга  $\chi_i^{mp}$ . Однако получить точное аналитическое решение выражения (14) не представляется возможным ввиду его трансцендентности, но оно может быть решено программно-численным методом либо графическим методом. Программно-численный метод решения несложно реализовать с помощью программы Mathcad, которая через номограммы, представленные на рис. 6, позволяет определить приемлемые значения  $\chi_i^{mp}$  в зависимости от оптимальных значений, соответственно  $\bar{T}_{зад}^{min}$  и  $\bar{P}_{отк}^{max}$ , а также сочетаний числа каналов ТИ-ТС  $n$  и количества мест в буфере  $m$ .

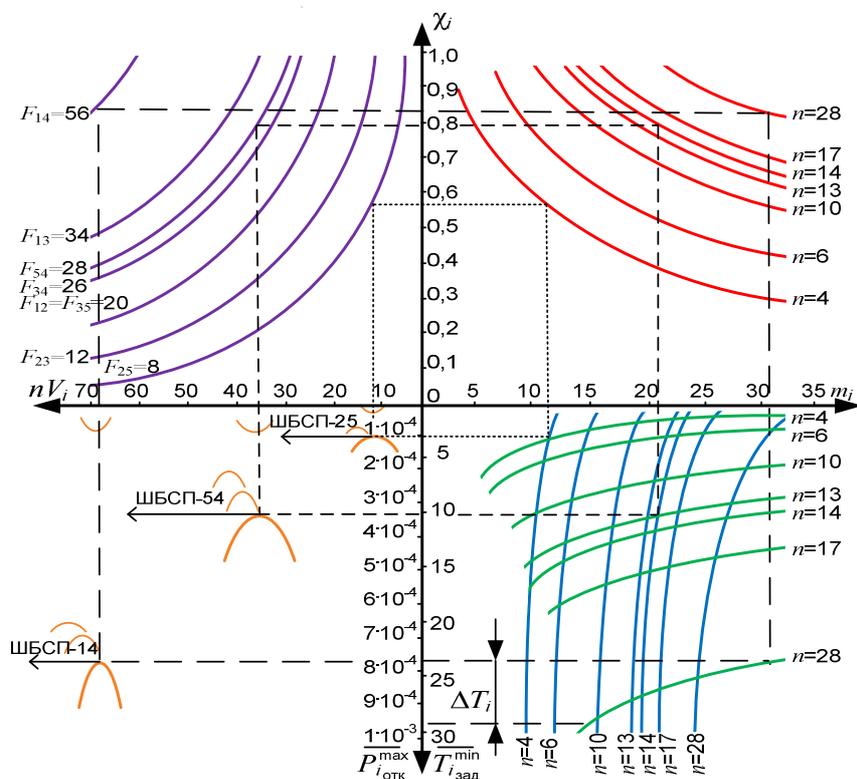


Рис. 6. Номограммы согласования параметров и характеристик подсистемы мониторинга Минтранса РФ: ШБСП – ширина переменных битовых скоростей передачи

Причем определив значения  $\chi_{i\text{ пр}}^{opt}$  и величину суммарного потока ИИ на входе  $i$ -го сегмента подсистемы мониторинга, можно определить необходимое количество каналов ИИ  $i$ -го сегмента сети и их ПС, исходя из соотношения

$$\chi_{i\text{ пр}}^{opt} = \frac{\lambda_i}{n_i \mu_i} = \frac{L \lambda_i}{n_i L \mu_i} = \frac{F_i}{V n_i}; \quad \chi_{i\text{ пр}}^{opt} = f(m_i, n_i). \quad (15)$$

Параметрический синтез подсистемы мониторинга по комплексному показателю  $\chi_{\text{пр}}^{\text{opt}}$  (15) позволяет варьировать величинами  $V_i$  и в зависимости от потока ИИ (класса трафика  $F_i$ ), предоставляя автоматизированным измерительным комплексам сегментов сети (Росморречфлот, Росавиация, Росжелдор, Росавтодор, Ространснадзор) любую совокупность измерительных каналов (каналов ТИ-ТС) с ШПБСП, формируя каждый раз виртуальный канал с переменной ПС независимо от требуемого  $T_{\text{зад}}^{\text{доп}}$ , при этом вероятность отказа в обслуживании заявки (пакета ИИ) будет оставаться в пределах допустимой. Совмещение условий (1), (2), (7), (8), (14), (15), представленных на рис. 6, позволяет сделать вывод, что в пределах установленных значений параметров временной прозрачности сети можно осуществить обмен ПС канала ТИ-ТС на объем буферной памяти на входе в данный канал. Отсюда следует, что такой обмен может быть осуществлен при условии поддержания постоянства таких качественных показателей подсистемы мониторинга и ее автоматизированного измерительного комплекса по сегментам сети, как время задержки и вероятность потери заявок (пакетов ИИ) в допустимых пределах. Причем в случае значительной разности проектной величины для передачи телеизмерительной нагрузки между сенсорным и диспетчерским уровнями системы с целью экономии ее ресурса целесообразно при планировании используемого ресурса исходить из временной прозрачности каждого сегмента ИТКС, а не сети в целом.

Расчеты по выражениям (7), (8), (14) позволяют определить, исходя из имеющихся ресурсов в сегментах подсистемы мониторинга ( $n_i, m_i, V_{ij}$ ), ширину битовых скоростей передачи, в пределах которой допустимо изменять скорость передачи в каналах ТИ-ТС, сочетая ее с необходимым количеством мест в буферной памяти сегмента ИТКС и сохраняя при этом временную прозрачность сегментов сети и ИТКС в целом. Так, на рис. 6 для удобства показаны лишь три ШПБСП для заданного числа каналов ТИ-ТС  $n_i$  в сегментах ИТКС и требуемых для нее  $P_{\text{отк}}^{\text{доп}}$ ,  $T_{\text{зад}}^{\text{доп}}$ . При этом «левые» границы ШПБСП, определяемые значениями  $m_i, V_{ij}$  на сегментах подсистемы мониторинга на рис. 6, не приведены.

### Заключение

Изложенный в работе подход к синтезу подсистемы мониторинга ИТКС позволил сформулировать следующие основные выводы, направленные на повышение эффективности СППР ситуационного центра Министерства транспорта РФ за счет сопряжения формируемой его подсистемы интеллектуального мониторинга с сетевыми элементами гетерогенного межведомственного подконтрольного пространства:

- анализ этапов развития современных сетевых инфраструктур, а также переход от гомогенных к гетерогенным межведомственным ИТКС показал непрерывный, экспоненциальный рост контролируемого пространства, порождаемый увеличением территориальной распределенности и неоднородности телекоммуникационных систем в процессе их функционирования, что предполагает соответствующий охват средствами интеллектуального мониторинга наблюдаемых сетевых элементов;

- для сокращения (редуцирования) контролируемого пространства, характеризуемого топологической и пространственно-временной неоднородностью, показано, что любая развивающаяся система связи, с учетом свойств эволюционного развития, динамичности структуры и вариативности данных аспектов, может быть представлена как совокупность зон мониторинга, разделенных на КВЭ, масштабируемые на любом этапе развития ИТКС. Редуцирование контролируемого пространства позволяет рассматривать концептуальную модель интеллектуального мониторинга для нахождения соответствия эксплуатационных параметров сетевых элементов установленным требованиям, объединяющей концепции измерений, анализа и тестирования, что позволит обеспечить управление ИТКС, ее элементами, а также реконфигурацию сети, своевременно обнаруживать и устранять неисправности и, в целом, способствует обеспечению устойчивого ее функционирования;

- структуризация контролируемого пространства терминами «зона мониторинга», «критически важный элемент» и «классы ТС» составляют основу новых методов интеллектуального мониторинга (разрабатываемых авторами), являющихся «нечувствительными» к свойству постоян-

ного совершенствования (эволюционирования) и неоднородности гетерогенных сетевых инфраструктур. При этом в ходе проведенного структурного синтеза подсистемы интеллектуального мониторинга ИТКС на основе гиперграфа топологической взаимосвязи зон мониторинга ведомства (на примере Минтранса РФ) построена структура подсистемы мониторинга ИТКС на  $m$  уровнях разукрупнения при агрегации  $n$  контролируемых процессов (на примере Росморречфлота РФ);

– функционирование подсистемы интеллектуального мониторинга основано на обращении к базе правил (базе знаний), накапливаемых в процессе эксплуатации сетевых элементов, относительно работы которой нет ограничений как по масштабу территориальной распределенности ИТКС, так и по их неоднородности, и основанной на когнитивных методах. Пополняемая, обновляемая и аккумулирующая в себе опыт эксплуатации и процессов контроля ТС ИТКС база знаний позволяет вести более быструю оценку ТС ОК и сконцентрироваться там, где выявлено наиболее уязвимое, разрушающее, деструктивное воздействие и, как следствие, наиболее вероятен отказ КВЭ, за счет анализа уровней разукрупнения. Определение степени аварийных состояний ОК осуществляет идентификатор подсистемы интеллектуального мониторинга за счет выбора соответствующего метода анализа при обращении к БЗ;

– полученные в ходе параметрического синтеза подсистемы мониторинга ИТКС значения  $\chi_{i\text{пр}}^{\text{opt}}$  наряду с формулой (15) позволяют рассчитать ПС каналов ТИ-ТС  $V_i$  и нужный объем буферной памяти  $m_i$  при известной топологии (этап структурного синтеза) и заданной матрице тяготения  $\|F_{ij}\|$  сенсоров сетевых элементов ИТКС к СЦ, обеспечивающие среднее минимальное время доставки ИИ и значение максимальной вероятности отказа в обслуживании пакета ИИ в допустимых пределах.

Дальнейшие исследования будут посвящены разработке методов интеллектуального мониторинга на сенсорном, телекоммуникационном и диспетчерском уровнях функционирования ИТКС.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зацаринный А. А., Шабанов А. П. Технология информационной поддержки деятельности организационных систем на основе ситуационных центров. М.: ТОРУС ПРЕСС, 2015. 232 с.
2. Будко П. А., Кулешов И. А., Курносков В. И., Мирошников В. И. Инфокоммуникационные сети: энциклопедия / под ред. проф. В. И. Мирошникова. М.: Наука, 2020. Кн. 4. Гетерогенные сети связи: принципы построения, методы синтеза, эффективность, цена, качество. 683 с.
3. Аллакин В. В. Формирование сервера мониторинга функциональной безопасности информационно-телекоммуникационной сети общего пользования на основе оценки SRE-метрик // Техника средств связи. 2021. № 1 (153). С. 77–85.
4. Будко П. А. Управление ресурсами информационно-телекоммуникационных систем. Методы оптимизации: моногр. СПб.: Изд-во ВАС, 2012. 512 с.
5. Сторожук М. Использование систем мониторинга сетей для обеспечения работы критически важных приложений // Первая миля. 2021. № 1. С. 40–44.
6. ГОСТ Р ИСО/МЭК 20000-1-2010. Информационная технология. Менеджмент услуг. Ч. 1. Спецификация (ISO/IEC 20000-1: 2005). М.: Стандартинформ, 2010. 20 с.
7. Report to the Nations on Occupational Fraud and Abuse. URL: <https://www.acfe.com/rtnn/docs/2014-report-to-nations.pdf> (дата обращения: 06.12.2020).
8. Пузанков Д. В., Мирошников В. И., Пантелеев М. Г., Серегин А. В. Интеллектуальные агенты, много-агентные системы и семантический Web: концепции, технологии, приложения. СПб.: Технолит, 2008. 292 с.
9. Винограденко А. М. Методология интеллектуального контроля технического состояния автоматизированной системы связи специального назначения. СПб.: Научно-технологические технологии, 2020. 180 с.
10. ГОСТ 27.002-2015. Надежность в технике. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2016. 30 с.
11. Будко Н. П. Сокращение объема измерительной информации на основе интеллектуального подхода к построению системы мониторинга информационно-телекоммуникационной системы // Техника средств связи. 2021. № 1 (153). С. 86–97.
12. Пат. 2450335 Российская Федерация. МПК G06F 15/00, G05B 23/02. Способ распределенного контроля и адаптивного управления многоуровневой системой и устройство для его осуществления. / Будко Н. П., Будко П. А., Винограденко А. М., Дорошенко Г. П., Рожнов А. В., Минеев В. В., Мухин А. В.; заявл. 11.07.2011; опубл. 10.05.2012, Бюл. № 13.

13. *Винограденко А. М., Будко Н. П.* Адаптивный контроль технического состояния автономных сложных объектов на основе интеллектуальных технологий // Т-Comm. Телекоммуникации и транспорт. Т. 14. № 1. С. 25–35.

14. *Мизин И. А., Богатырев В. А., Кулешов А. П.* Сети коммутации пакетов / под ред. В. С. Семенихина. М.: Радио и связь, 1986. 408 с.

15. *Вентцель Е. С.* Исследование операций. М.: Наука, 1989. 275 с.

16. *Абдуллаев Д. А., Арипов М. Н.* Передача дискретных сообщений в задачах и упражнениях. М.: Радио и связь, 1985. 128 с.

Статья поступила в редакцию 18.05.2021

### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ**

*Владимир Владимирович Каретников* – д-р техн. наук, доцент; зав. кафедрой судоходства на внутренних водных путях; Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова; Россия, 198035, Санкт-Петербург; kaf\_svvp@gumrf.ru.

*Никита Павлович Будко* – соискатель кафедры судоходства на внутренних водных путях; Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова; Россия, 198035, Санкт-Петербург; kaf\_svvp@gumrf.ru.

*Владимир Васильевич Аллакин* – соискатель кафедры судоходства на внутренних водных путях; Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова; Россия, 198035, Санкт-Петербург; kaf\_svvp@gumrf.ru.



## **SYNTHESIS OF SUBSYSTEM OF INTELLIGENT MONITORING OF INFORMATION AND TELECOMMUNICATION NETWORK OF DEPARTMENTAL SITUATIONAL CENTER**

*V. V. Karetnikov, N. P. Budko, V. V. Allakin*

*Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,  
Saint-Petersburg, Russian Federation*

**Abstract.** The problem statement: based on the analysis of the features of the development of modern public information and telecommunications networks (ITN), which consist in the geographical dispersion of network resources, sources and recipients of information; the pulsating nature of network traffic; heterogeneity of elements and applied network technologies; randomness of functioning; “intolerance” to management; the essential inconsistency of the main characteristics and the impossibility of a complete mathematical description, make it impossible to use the existing methods of control of the information and telecommunications system and the need to synthesize its subsystem of intellectual monitoring, as well as to develop new methods based on intelligent approaches. The purpose of the work is to provide synthesis of the subsystem of intelligent monitoring of the information and telecommunications network of the Ministry of Transport of the Russian Federation, as one of the key segments of the situation center of the department being created at the present time. Structuring of the controlled space by the terms “monitoring zone”, “critical element” and “technical condition classes” form the basis of a new approach to intelligent monitoring, regardless of the constant improvement (evolution) and heterogeneity of heterogeneous network infrastructures. The values obtained in the course of parametric synthesis of acceptable optimal values of the degree of loading of channels with measuring information make it possible to calculate the throughput of technological channels of tele-

measurement-tele-signaling and the necessary amount of buffer memory with a known network topology and a given gravity matrix, providing the average minimum delivery time of intelligent agents (packets of measuring information) and the value of the maximum probability of failure in their service within acceptable limits. Based on the proposed hypergraph of the topological relationship of the monitoring zones of ITN of a household, the structure of its monitoring subsystem is constructed at the levels of fragmentation during the aggregation of controlled processes. The obtained results of the structural and parametric synthesis form the basis of the conceptual model of intelligent monitoring of ITN of the department.

**Key words:** information and telecommunications network, intelligent monitoring subsystem, structural synthesis, parametric synthesis, monitoring zone.

**For citation:** Karetnikov V. V., Budko N. P., Allakin V. V. Synthesis of subsystem of intelligent monitoring of information and telecommunication network of departmental situational center. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics*. 2021;3:64-81. (In Russ.) DOI: 10.24143/2072-9502-2021-3-64-81.

#### REFERENCES

1. Zatsarinnyi A. A., Shabanov A. P. *Tekhnologiya informatsionnoi podderzhki deiatel'nosti organizatsionnykh sistem na osnove situatsionnykh tsentrov* [Technology of information support for activities of organizational systems based on situational centers]. Moscow, TORUS PRESS, 2015. 232 p.
2. Budko P. A., Kuleshov I. A., Kurnosov V. I., Miroshnikov V. I. *Infokommunikatsionnye seti: entsiklopediia* [Infocommunication networks: encyclopedia]. Pod redaktsiei professora V. I. Miroshnikova. Moscow, Nauka Publ., 2020. Book 4. Geterogennyye seti svyazi: printsipy postroeniia, metody sinteza, effektivnost', tsena, kachestvo. 683 p.
3. Allakin V. V. Formirovanie servera monitoringa funktsional'noi bezopasnosti informatsionno-telekommunikatsionnoi seti obshchego pol'zovaniia na osnove otsenki SRE-metrik [Formation of server for monitoring functional security of public information and telecommunications network based on assessment of SRE-metrics]. *Tekhnika sredstv svyazi*, 2021, no. 1 (153), pp. 77-85.
4. Budko P. A. *Upravlenie resursami informatsionno-telekommunikatsionnykh sistem. Metody optimizatsii: monografiia* [Resource management of information and telecommunication systems. Optimization methods: monograph]. Saint-Petersburg, Izd-vo VAS, 2012. 512 p.
5. Storozhuk M. Ispol'zovanie sistem monitoringa setei dlia obespecheniia raboty kriticheski vazhnykh prilozhenii [Using network monitoring systems to ensure operation of critical applications]. *Pervaya milia*, 2021, no. 1, pp. 40-44.
6. GOST R ISO / IEC 20000-1-2010 *Informacionnaya tekhnologiya. Menedzhment uslug. CHast' 1. Spetsifikatsiia* [Information Technology. Service management. Part 1. Specification]. (ISO/IEC 20000-1: 2005). Moscow, Standartinform Publ., 2010. 20 p.
7. *Report to the Nations on Occupational Fraud and Abuse*. Available at: <https://www.acfe.com/rtnn/docs/2014-report-to-nations.pdf> (accessed: 06.12.2020).
8. Puzankov D. V., Miroshnikov V. I., Pantelev M. G., Seregin A. V. *Intellektual'nye agenty, mnogoagentnye sistemy i semanticheskii Web: kontseptsii, tekhnologii, prilozheniia* [Intellectual agents, multi-agent systems and semantic Web: concepts, technologies, applications]. Saint-Petersburg, Tekhnolit Publ., 2008. 292 p.
9. Vinogradenko A. M. *Metodologiya intellektual'nogo kontrolya tekhnicheskogo sostoiianiia avtomatizirovannoi sistemy svyazi spetsial'nogo naznacheniiia* [Methodology of intellectual control of technical state of special purpose automated communication system]. Saint-Petersburg, Naukoemkie tekhnologii, 2020. 180 p.
10. GOST 27.002-2015. *Nadezhnost' v tekhnike. Terminy i opredeleniia* [GOST 27.002-2015. Reliability in technology. Terms and Definitions]. Moscow, Standartinform Publ., 2016. 30 p.
11. Budko N. P. Sokrashchenie ob'ema izmeritel'noi informatsii na osnove intellektual'nogo podkhoda k postroeniui sistemy monitoringa informatsionno-telekommunikatsionnoi sistemy [Reduction of volume of measuring information on basis of intelligent approach to construction of monitoring system for information and telecommunication system]. *Tekhnika sredstv svyazi*, 2021, no. 1 (153), pp. 86-97.
12. Budko N. P., Budko P. A., Vinogradenko A. M., Doroshenko G. P., Rozhnov A. V., Mineev V. V., Mukhin A. V. *Sposob raspredelennogo kontrolya i adaptivnogo upravleniia mnogourovnevoi sistemoi i ustroistvo dlia ego osushchestvleniia* [Method of distributed control and adaptive multilevel control system and device for its implementation]. Patent 2450335 Rossiiskaia Federatsiia; 10.05.2012.
13. Vinogradenko A. M., Budko N. P. *Adaptivnyi kontrol' tekhnicheskogo sostoiianiia avtonomnykh slozhnykh ob"ektov na osnove intellektual'nykh tekhnologii* [Adaptive control of technical state of autonomous complex objects based on intelligent technologies]. *Comm. Telekommunikatsii i transport*, vol. 14, no. 1, pp. 25-35.
14. Mizin I. A., Bogatyrev V. A., Kuleshov A. P. *Seti kommutatsii paketov* [Packet switching networks]. Pod redaktsiei V. S. Semenikhina. Moscow, Radio i svyaz' Publ., 1986. 408 p.

15. Venttsel' E. S. *Issledovanie operatsii* [Operations Research]. Moscow, Nauka Publ., 1989. 275 p.

16. Abdullaev D. A., Aripov M. N. *Peredacha diskretnykh soobshchenii v zadachakh i uprazhneniiakh* [Transmission of discrete messages in problems and exercises]. Moscow, Radio i sviaz' Publ., 1985. 128 p.

The article submitted to the editors 18.05.2021

### ***INFORMATION ABOUT THE AUTHORS***

***Vladimir V. Karetnikov*** – Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor; Head of the Department of Navigation on Inland Waterways; Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping; Russia, 198035, Saint-Petersburg; kaf\_svsp@gumrf.ru.

***Nikita P. Bydko*** – Competitor of the Department of Navigation on Inland Waterways; Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping; Russia, 198035, Saint-Petersburg; kaf\_svsp@gumrf.ru.

***Vladimir V. Allakin*** – Competitor of the Department of Navigation on Inland Waterways; Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping; Russia, 198035, Saint-Petersburg; kaf\_svsp@gumrf.ru.

