

11. Кукла, А. Л. Импедансный анализатор для идентификации марок водно-спиртовых напитков [Текст] / А. Л. Кукла, А. С. Павлюченко, А. С. Майстренко, А. В. Мамыкин // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2012. – № 1. – С. 15–21.
12. Скачек, В. А. Определение физико-химических свойств жидкостей методом измерения иммитанса [Текст] / В. А. Скачек, А. В. Сотцев, А. В. Скачек // Междуна. научно-техн. конф. «Совершенствование систем автоматизации технологических процессов». – Минск: БНТУ, 2010. – С. 38.

Розглядається можливість підвищення функціональності процесу моніторингу параметрів динамічних характеристик інформаційно-комунікаційних мереж шляхом імплементації функцій прогнозування моментів появ позаштатних ситуацій. Представлена архітектура системи предиктивного моніторингу

Ключові слова: предиктивний моніторинг, динамічні характеристики інформаційно-комунікаційної мережі, прогнозування, поліноміальна екстраполяція

Рассматривается возможность повышения функциональности процесса мониторинга параметров динамических характеристик информационно-коммуникационных сетей путем имплементации функций прогнозирования моментов возникновения внештатных ситуаций. Представлена архитектура системы предиктивного мониторинга

Ключевые слова: предиктивный мониторинг, динамические характеристики информационно-коммуникационной сети, прогнозирование, полиномиальная экстраполяция

УДК 621.391
DOI: 10.15587/1729-4061.2015.47598

ПОВЫШЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОСТИ МОНИТОРИНГА ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИНФОРМАЦИОННО- КОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

Ю. О. Бабич

Старший преподаватель*

E-mail: babich159@gmail.com

Л. А. Никитюк

Кандидат технических наук,

профессор, заведующий кафедрой*

E-mail: nikityuk_l@mail.ru

*Кафедра сетей связи

Одесская национальная

академия связи им. А. С. Попова

ул. Кузнечная, 1, г. Одесса, Украина, 65029

1. Введение

Современный этап эволюционного развития сетей связи характеризуется конвергентными процессами, которые происходят одновременно в сетях, технологиях и услугах [1, 2]. Вследствие этого сети связи нового поколения приобретают признаки информационно-коммуникационных сетей (ИКС) [3], то есть сетей, способных предоставлять услуги неограниченного спектра и нового качества. Это, в свою очередь, предъявляет особые требования к обеспечивающим системам, выполняющим функции управления и технического обслуживания ИКС. Перевод этих систем на интеллектуальную платформу, с целью повышения эффективности и гибкости принимаемых решений по обеспечению работоспособности сети, требует и новых подходов к организации процесса мониторинга технических и технологических параметров объекта.

Следует отметить, что, несмотря на все многообразие современных видов мониторинга, применяемых

в сетях связи [4–7], все они в основном нацелены на обеспечение достоверного отражение и констатацию текущего состояния объекта. Представляется актуальным повысить функциональность существующих видов мониторинга, путем имплементации процедур прогнозирования возникновения внештатных ситуаций или деградации рабочих характеристик объекта, с целью обеспечения возможности упреждения негативных последствий их воздействия.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Отдельные подходы к реализации прогностического мониторинга можно наблюдать в ряде существующих научных работ [8–21].

Так, в работе [18], подтверждается целесообразность реализации приведенных выше требования к процессу мониторинга, однако отсутствует четкая

формализация процедур самих процедур мониторинга (не конкретизируются фазы прогнозирования в соответствии с периодами упреждения).

В работах [8–12, 19] рассматривается прогностический мониторинг в сенсорных сетях, использующий подход Бокса-Дженкинса [22] и модели цепей Маркова для описания состояний каждого сенсора, что в итоге позволило сократить объем передаваемой служебной информации и уменьшить энергопотребление сенсоров. Однако в указанных работах не обсуждается возможность применения предложенного подхода к широкому диапазону параметров мониторинга, к примеру тех, что описывают динамические характеристики ИКС.

В ряде работ [13–17, 20, 21] для реализации процедур прогностического мониторинга предлагается использование искусственных нейронных сетей (ИНС). Это позволило получить решение ряда практических задач в различных сферах, например таких, как:

- обоснование целесообразности добавления новых каналов в сетях уровня ядра на основе мониторинга пропускной способности соединений протокола TCP [21];

- своевременное выявление и прогноз ухудшения состояния здоровья у пациентов путем снятия кардиограммы, изменения таких показателей, как давление, содержание кислорода в крови и т. п. [13, 14];

- прогнозирование сбоев в доставке грузов или внештатные ситуации с поездами путем анализа и прогноза динамики соответствующих бизнес-процессов [15, 16];

- нахождение оптимального соотношения кислорода и топлива для уменьшения вредных выбросов (SO_2 , NO_2 , CO_2) мусоросжигательного завода [17].

Однако следует отметить ряд факторов, существенно ограничивающих применение указанных методов для реализации процедур прогностического мониторинга в информационно-коммуникационных сетях, а именно:

- использование ИНС предполагает процесс обучения, который является сложным и затратным по времени. Кроме того, поведение обученной ИНС не всегда четко прогнозируемо, вследствие эвристических подходов к ее построению, что повышает риски при управлении большими и сложными объектами;

- точность прогнозирования зависит от ограниченного числа примеров, которые применялись во время обучения;

- высокие требования к вычислительным возможностям аппаратной реализации.

В данной предлагается концепция *предиктивного мониторинга* (от англ. predict – предусматривать, прогнозировать) динамических характеристик ИКС, основанная на использовании математических методов статистического анализа временных рядов и статистического прогнозирования, что значительно упрощает имплементацию процедур прогнозирования в существующие виды мониторинга и позволяет заблаговременно принимать решение о необходимости реконструкции либо реконструкции объекта мониторинга.

3. Цель и задачи исследования

Целью данной работы является повышение функциональности мониторинга динамических характе-

ристик ИКС, путем дополнения его процедурами прогнозирования возможных моментов возникновения внештатных ситуаций.

Поставленная цель достигается решением следующих задач:

- определение процедур предиктивного мониторинга и критериев для принятия решений о необходимости реконфигурации ресурсов сети либо реконструкции объекта мониторинга в зависимости от результатов прогнозирования появления внештатных ситуаций;

- разработка архитектуры системы предиктивного мониторинга, выполняющей соответствующие процедуры.

4. Процедуры предиктивного мониторинга динамических характеристик ИКС

Поведение информационно-коммуникационной сети как объекта технического обслуживания и управления отображается множеством параметров Y , мощностью m , которые описывают ее динамические характеристики. Указанные параметры, с учетом архитектурных особенностей ИКС, могут быть классифицированы как: параметры технического состояния, параметры качества сервиса и параметры качества контента. Постоянное отслеживание значений всех перечисленных категорий параметров является основной задачей процедуры мониторинга.

Задачей предиктивного мониторинга является предоставление информации о возможности возникновения внештатной ситуации на объекте мониторинга с заданным периодом упреждения, в течение которого могут быть предприняты контрмеры или действия, направленные на уменьшение последствий воздействия негативных факторов.

Предлагаемый подход базируется на поэтапном прохождении фаз, которые определены в данной работе как краткосрочное, ситуационное и долгосрочное прогнозирование.

Краткосрочное прогнозирование – прогнозирование с периодом упреждения L_K , который соответствует одному шагу измерения параметра $y_k \in Y (k = \overline{1, m})$, подлежащего мониторингу.

Ситуационное прогнозирование – прогнозирование с периодом упреждения L_C , в течение которого изменение параметра $y_k \in Y (k = \overline{1, m})$ достигает порогового значения y_{kp} .

Долгосрочное прогнозирование – прогнозирование с периодом упреждения L_D , который охватывает жизненный цикл объекта мониторинга. В отличие от краткосрочного и ситуационного прогнозирования, исходными данными для долгосрочного прогнозирования является выборка значений частоты F прогнозируемых появлений внештатных ситуаций на протяжении периода наблюдения T_F .

Краткосрочное прогнозирование осуществляется для вычисления следующего значения $y_k(i+1)$ параметра $y_k(i) \in Y (k = \overline{1, m})$, подлежащего мониторингу, с момента накопления соответствующей репрезентативной выборки n_{\min}^K . Такое значение параметра $y_k(i)$ может быть использовано для обеспечения полноты выборки ситуационного прогнозирования n_{\min}^C в слу-

чае, когда такое следующее значение не может быть получено от средств мониторинга вследствие технических сбоях. Таким образом, период упреждения для краткосрочного прогнозирования составляет $L_K=1$.

Ситуационное прогнозирования направлено на выявление внештатной ситуации, предотвращение которой требует реконфигурации объекта мониторинга. Выработка соответствующей рекомендации идентифицируется моментом времени t_z^{kp} , в пределах периода упреждения L_C , и указывает на возможность достижения наблюдаемым параметром $y_k(i) \in Y(k=1, m)$ порогового значения и или выхода за него, то есть

$$\widehat{y}_k(n_{\min}^C + L_C) \leq y_{kp1} \vee \widehat{y}_k(n_{\min}^C + L_C) \geq y_{kp2}, \quad (1)$$

где y_{kp1} и y_{kp2} – соответственно нижнее и верхнее пороговые значения параметра; n_{\min}^C – соответствующая репрезентативная выборка.

Ситуация, которая требует реконфигурации ИКС, может возникать, например, вследствие резкого возрастания сетевой нагрузки.

Долгосрочное прогнозирование осуществляется с целью выработки рекомендации о необходимости реконструкции объекта мониторинга. Такая необходимость может возникнуть, когда частота F появления внештатных ситуаций (ЧПВС) для всего множества Y параметров объекта, подлежащих мониторингу в течение заданного периода наблюдения T_F , достигает, определенного порогового значения $F \geq F_p$, установленного на основе экспертных оценок. В данном случае, ЧПВС выступает некоторой интегральной характеристикой состояния объекта. Период упреждения L_D долгосрочного прогнозирования может быть определен как временной интервал, необходимый для выполнения реконструкционных задач.

Исходными данными для работы предиктивного мониторинга являются:

- периоды упреждения прогноза соответственно L_K, L_C и L_D ;
- перечень параметров $y_k(i) \in Y(k=1, m)$, которые описывают динамические характеристики объекта мониторинга;
- пороговые значения $y_{kp} \in Y_p \forall y_k(i) \in Y(k=1, m)$, где Y_p – множество пороговых значений наблюдаемых параметров, мощностью m ;
- F_p – пороговое значение ЧПВС и соответствующий период наблюдения T_F .

Процедура осуществления предиктивного мониторинга динамических характеристик ИКС выполняется в бесконечном цикле и состоит в следующем (рис. 1, а, б).

После накопления необходимой репрезентативной выборки значений $(n_{\min}^K, n_{\min}^C, n_{\min}^D)$ наблюдаемого параметра, выполняется прогнозирование с соответствующим периодом упреждения (L_K, L_C, L_D) .

Так, с момента достижения $i = n_{\min}^K$ может быть осуществлено краткосрочное прогнозирование, то есть определено прогнозируемое $\widehat{y}_k(i+1)$ значение параметра $y_k(i) \in Y(k=1, m)$, которое ожидается в следующий момент времени. Для этого серийная выборка значений $\{y_k(i)\}$, размером n_{\min}^K , анализируется на наличие свойства стационарности. В

зависимости от результатов проверки, определяется математическая модель описания изменения данного параметра. В случае наличия свойства стационарности $\{y_k(i)\}$:

$$y_k(i+L_K) = a_1 y(i-1+L_K) + a_2 y(i-2+L_K) + \dots + a_p y(i-p+L_K) + e(i) - b_1 e(i-1+L_K) - b_2 e(i-2+L_K) - \dots - b_q e(i-q+L_K), \quad (2)$$

где p – порядок авторегрессии; q – порядок скользящего среднего; a_α ($\alpha = \overline{1, p}$); b_β ($\beta = \overline{1, q}$) – коэффициенты модели ARIMA, полученной подходом Бокса-Дженкинса [22].

В случае нестационарности $\{y_k(i)\}$:

$$\widehat{y}_k(i+L_K) = \widehat{Tr}(i+L_K) + e(i), \quad (3)$$

где $\widehat{Tr}(i+L_K)$ – прогнозируемое значение трендовой составляющей, формализованной полиномиальной моделью [23]; $e(i)$ – случайная составляющая, с постоянной дисперсией и нулевым математическим ожиданием, последовательные значения которой являются независимыми.

С течением времени прогнозируемое значение $\widehat{y}_k(i+1)$ параметра $y_k(i) \in Y(k=1, m)$ может меняться, благодаря циклическому обновлению значений $\{y_k(i)\}$.

Ситуационное прогнозирование можно начать с момента $i = n_{\min}^C$, т. е. накопления соответствующей репрезентативной выборки значений наблюдаемого параметра. Его отличительной особенностью является тот факт, что осуществление прогнозирования с периодом упреждения L_C , возможно только при наличии трендовой составляющей во временном ряду значений $\{y_k(i)\}$ в пределах репрезентативной выборки n_{\min}^C . Для отслеживания тренда репрезентативная выборка должна обновляться с каждым последующим шагом мониторинга, что создает эффект «скользящего окна» во временном ряду значений наблюдаемого параметра (рис. 1).

В случае выявления трендовой составляющей, с целью экстраполяции значений в пределах периода упреждения (L_K, L_C) , находим соответствующую математическую функцию для описания тренда, которая в общем случае имеет вид:

$$Tr(i) = a_0 + a_1 \cdot i + a_2 \cdot i^2 + \dots + a_{\lambda_n} \cdot i^{\lambda_n}; \quad (4)$$

$$Tr(j) = a_0 + a_1 \cdot j + a_2 \cdot j^2 + \dots + a_{\lambda_n} \cdot j^{\lambda_n};$$

где $\eta = K \vee C$; a_χ ($\chi = \overline{0, \lambda}$) – статистические оценки экстраполирующего полинома степени λ .

В случае выполнения условия $y_{kp1} < \widehat{y}_k(i+L_C) < y_{kp2}$ констатируем штатный режим работы объекта. В противном случае ожидается появление внештатной ситуации $(y_k(i+L_C) \leq y_{kp1} \vee y_k(i+L_C) \geq y_{kp2} \forall i \geq n_{\min}^C)$ в момент времени t_z^{kp} , о чем система предиктивного мониторинга выдает соответствующее сообщение.

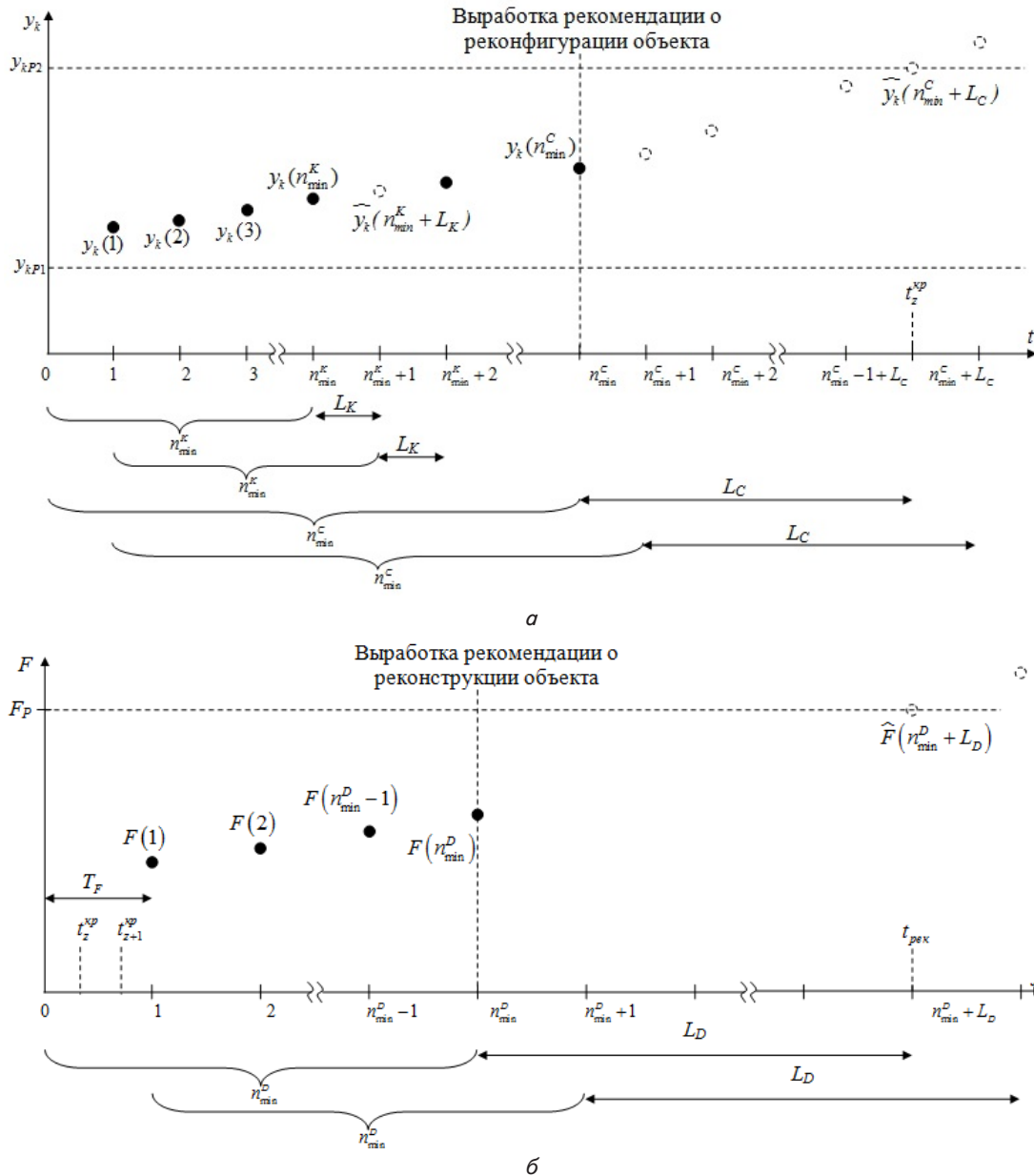


Рис. 1. Прогнозирование: а – краткосрочное и ситуационное; б – долгосрочное

Долгосрочное прогнозирование выполняется после накопления соответствующей репрезентативной выборки значений ЧПВС $\{F(j)\}$, размерностью n_{min}^D . Здесь аналогичным образом использует эффект «скользящего окна», в пределах которого значения временного ряда $\{F(j)\}$ анализируются на наличие трендовой составляющей. При обнаружении возрастающего тренда проверяется условие

$$\hat{F}(j+L_D) \geq F_P, \forall j \geq n_{min}^D, \tag{5}$$

где F_P – установленное пороговое значение; L_D – период упреждения, соответствующий долгосрочному прогнозированию.

Выполнение условия (5) является критерием для принятия решения о целесообразности реконструкции объекта мониторинга.

5. Архитектура системы предиктивного мониторинга ИКС

На рис. 2 приведена предлагаемая архитектура системы предиктивного мониторинга ИКС, которая состоит из двух функциональных подсистем: *подсистемы анализа* и *подсистемы интерпретации результатов*. В подсистеме анализа выполняется аналитика предиктивного мониторинга, а в подсистеме интерпретации – интерпретация и выработка соответствующих рекомендаций для системы управления.

Повышение функциональности существующих видов мониторинга процедурами предиктивного мониторинга может быть проиллюстрировано в терминах концепции Telecommunications Management Network (TMN) [24], имплементацией дополнительной функции системы операций предиктивного мониторинга (Predictive Monitoring Operations Systems Function – PM-OSF), которая взаимодействует с существующей OSF через интерфейс q (рис. 3).

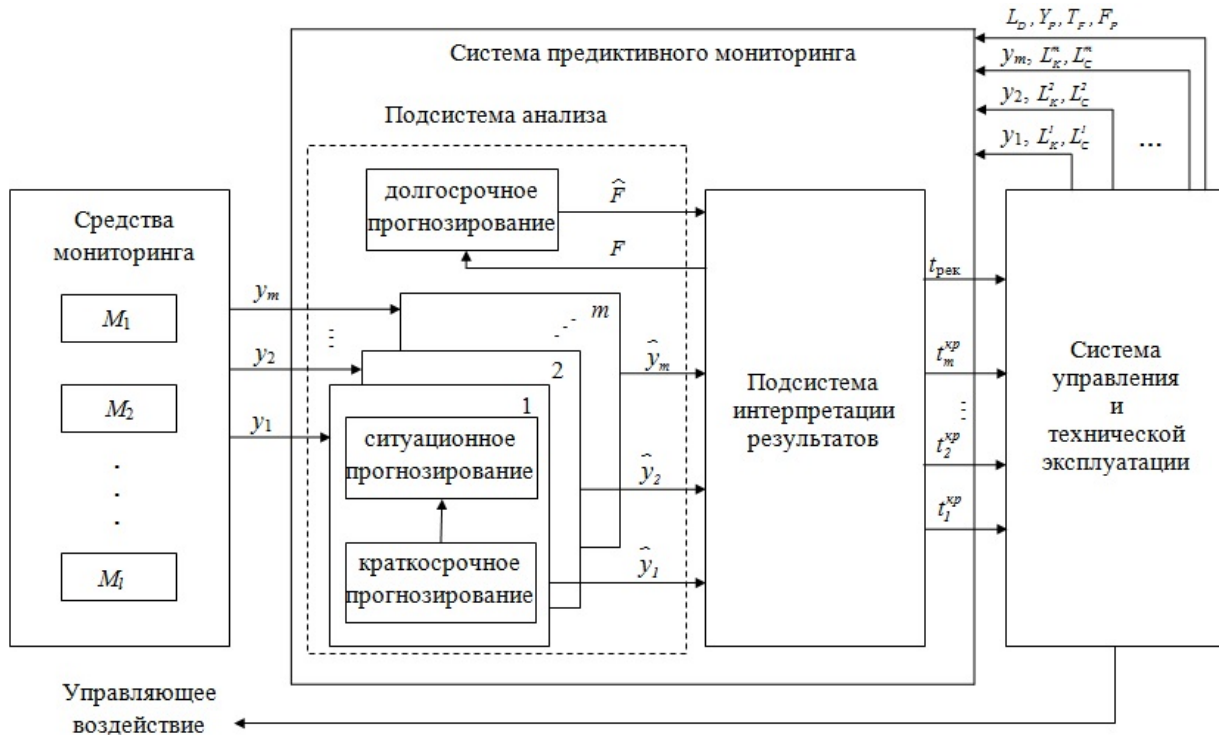


Рис. 2. Архитектура системы предиктивного мониторинга

Функция Work Station Function (WSF) реализует интерфейс «человек-машина» для интерпретации информации TMN, в частности для информирования о прогнозируемых внештатные ситуациях.

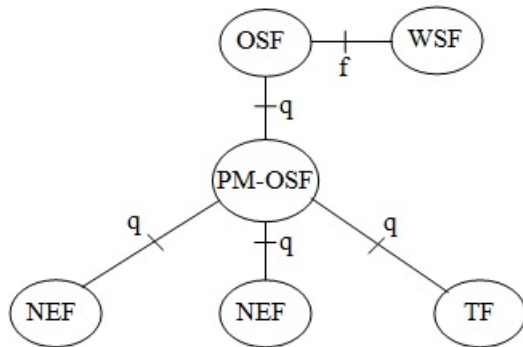


Рис. 3. Имплементация Operations Systems Function предиктивного мониторинга

Функциональный блок Network Element Function (NEF) предоставляет выборку значений параметров, подлежащих мониторингу, и реализует функции необходимые для реконфигурации. Функциональный блок Transformation Function (TF) обеспечивает взаимодействие оборудования с различными коммуникационными механизмами, например оборудования различных технологических поколений.

Аналогично, повышение функциональности существующих видов мониторинга процедурами предиктивного мониторинга, в плоскости программного обеспечения, может быть проиллюстрировано в терминах концепции Telecommunications Information Networking Architecture (TINA) [25] добавлением соответствующего приложения предиктивного мониторинга (Predictive

Monitoring Application – PMA) в плоскости приложений TINA. Данная плоскость включает приложение телекоммуникационных услуг (Telecommunication Service Applications – TSA), приложение управления телекоммуникационными услугами (Telecommunication Service Management Applications – TSMA) и приложение управления сетью и ее элементами (Network and Element Management Applications – NEMA). PMA взаимодействует с TSMA и NEMA (рис. 4).

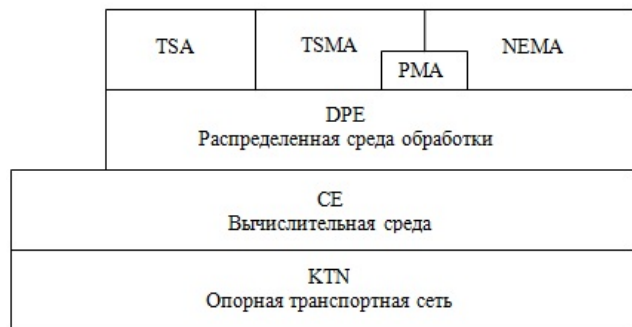


Рис. 4. Расположение приложения предиктивного мониторинга в плоскости приложений TINA

Как видно из рис. 4, расположение PMA позволяет дополнить процедурами предиктивного мониторинга не только управление телекоммуникациями (Telecommunication management), которое включает управление телекоммуникационными услугами и телекоммуникационными сетями, но и процессы управления вычислением (Computing management), через доступ к распределенной среде обработки (Distributed Processing Environment – DPE), вычислительной среде (Computer Environment – CE), опорной транспортной сети (Kernel Transport Network – KTN) [25].

6. Выводы

Процедуры предиктивного мониторинга динамических характеристик информационно-коммуникационной сети, основанные на методах теории статистического прогнозирования, реализуют последовательное прохождение этапов краткосрочного, ситуационного и долгосрочного прогнозирования с целью заблаговременного выявления моментов возникновения внешних ситуаций на сети. Имплементация указанных процедур в процесс мониторинга позволит существенно повысить его функциональность и обеспечить возможность заблаговременного предоставления ин-

формации для принятия решений о необходимости реконфигурации ресурсов сети или ее реконструкции.

Предложенная архитектура системы предиктивного мониторинга опосредует взаимодействие существующих средств мониторинга и систем управления и технической эксплуатации. Показана реализация процедур предиктивного мониторинга в функциональной плоскости концепции TMN, добавлением дополнительной функции системы операций предиктивного мониторинга PM-OSF и в плоскости программного обеспечения, в терминах концепции TINA, внедрением приложения предиктивного мониторинга РМА.

Литература

- Poikselka, M. The IMS: IP multimedia concepts and services [Text] / M. Poikselka, G. Mayer. – West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd, 2009. – 560 p.
- Ghetie, J. Fixed-Mobile Wireless Networks Convergence. Technologies, Solutions, Services [Text] / J. Ghetie. – New York: Cambridge University Press, 2008. – 464 p.
- Воробієнко, П. П. Телекомунікаційні та інформаційні мережі [Текст] / П. П. Воробієнко, Л. А. Нікітюк, П. І. Резніченко. – К.: САММІТ-КНИГА, 2010. – 640 с.
- ITU-R Recommendation V.662-3 Terms and definitions [Text]. – Approved 2005. – Geneva: ITU, 2005. – 19 p.
5. Рекомендация МСЭ-R ВТ.1790 Требования к контролю радиовещательных цепей в ходе эксплуатации [Текст]. – Женева: ITU, 2007. – 6 с.
- ITU-T Recommendation G.8001 Terms and definitions for Ethernet frames over Transport [Text]. – Approved 2008-03-29. – Geneva: ITU, 2008. – 12 p.
- ITU-T Recommendation I.113 Vocabulary of terms for broadband aspects of ISDN [Text]. – Approved 1997-06-20. – Geneva: ITU, 1997. – 35 p.
- Ali, A. MPM: Map Based Predictive Monitoring for Wireless Sensor Networks [Text] / A. Ali, A. Khelil, F. K. Shaikh, N. Suri // Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering. – 2010. – Vol. 23. – P. 79–95. doi:10.1007/978-3-642-11482-3_6
- Achir, M. Power consumption prediction in wireless sensor networks [Electronic resource] / M. Achir, L. Ouvry // The Pennsylvania State University. – Available at: \www/URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.60.1065&rep=rep1&type=pdf>
- Landsiedel, O. Accurate prediction of power consumption in sensor networks [Electronic resource] / O. Landsiedel, K. Wehrle, S. Gotz // The Pennsylvania State University. – Available at: \www/URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.112.6036&rep=rep1&type=pdf>
- Mini, A. F. A probabilistic approach to predict the energy consumption in wireless sensor networks [Electronic resource] / A. F. Mini, B. Nath, A. F. Loureiro // The Pennsylvania State University. – Available at: \www/URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.11.4906&rep=rep1&type=pdf>
- Wang, X. Robust Forecasting for Energy Efficiency of Wireless Multimedia Sensor Networks [Text] / X. Wang, J.-J. Ma, L. Ding, D.-W. Bi // Sensors. – 2007. – Vol. 7, № 11. – P. 2779–2807. doi:10.3390/s7112779
- Clifton, L. Predictive Monitoring of Mobile Patients by Combining Clinical Observations With Data From Wearable Sensors [Text] / L. Clifton, D. A. Clifton, M. A. F. Pimentel, P. J. Watkinson, L. Tarassenko // IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics. – 2014. – Vol. 18, № 3. – P. 722–730. doi:10.1109/jbhi.2013.2293059
- Moorman, J. R. Predictive monitoring for early detection of subacute potentially catastrophic illnesses in critical care [Text] / J. R. Moorman, C. E. Rusin, Hoshik Lee, L. E. Guin, M. T. Clark, J. B. Delos, J. Kattwinkel, D. E. Lake // 2011 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. – Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE), 2011. – P. 5515–5518. doi:10.1109/iembs.2011.6091407
- Metzger, A. Comparing and Combining Predictive Business Process Monitoring Techniques [Text] / A. Metzger, P. Leitner, D. Ivanovic, E. Schmieders, R. Franklin, M. Carro, S. Dustdar, K. Poh // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems. – 2015. – Vol. 45, № 2. – P. 276–290. doi:10.1109/tsmc.2014.2347265
- Franceschinis, M. Predictive monitoring of train wagons conditions using wireless network technologies [Text] / M. Franceschinis, F. Mauro, C. Pastrone, M. A. Spirito, M. Rossi // 2013 XXIV International Conference on Information, Communication and Automation Technologies (ICAT). – Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE), 2013. – P. 1–8. doi:10.1109/icat.2013.6684032
- Zain, S. M. Development of a neural network Predictive Emission Monitoring System for flue gas measurement [Text] / S. M. Zain, Kien Kek Chua // 2011 IEEE 7th International Colloquium on Signal Processing and its Applications. – Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE), 2011. – P. 314–317. doi:10.1109/cspa.2011.5759894

18. Бобало, Ю. Я. Моніторинг об'єктів в умовах апріорної невизначеності джерел інформації. Теорія і практика [Текст] / Ю. Я. Бобало, Ю. Г. Даник, Л. О. Комарова, О. О. Лук'янов, В. М. Максимович, О. О. Писарчук, Ю. Б. Сторонський, Б. М. Стрихалюк. – Львів: Коло, 2014. – 252 с.
19. Yoo, W. Network Bandwidth Utilization Forecast Model on High Bandwidth Network [Text] / W. Yoo, A. Sim // 2015 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC). – Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE), 2015. – P. 494–498. doi:10.1109/icnc.2015.7069393
20. Zaman, F. A recommender system architecture for predictive telecom network management [Text] / F. Zaman, G. Hogan, S. Der Meer, J. Keeney, S. Robitzsch, G. Muntean // IEEE Communications Magazine. – 2015. – Vol. 53, № 1. – P. 286–293. doi:10.1109/mcom.2015.7010547
21. Mirza, M. A machine learning approach to TCP throughput prediction [Text] / M. Mirza, J. Sommers, P. Barford, X. Zhu // Proceedings of the 2007 ACM SIGMETRICS international conference on Measurement and modeling of computer systems – SIGMETRICS '07. – June 2007. – Vol. 35, № 1. – P. 97–108. doi:10.1145/1254882.1254894
22. Сажин, Ю. В. Анализ временных рядов и прогнозирование [Текст] / Ю. В. Сажин, А. В. Катынь, Ю. В. Сарайкин. – Саранск: Изд-во Мордов. Ун-та, 2013. – 192 с.
23. Четыркин, Е. М. Статистические методы прогнозирования [Текст] / Е. М. Четыркин. – М.: Статистика, 1977. – 200 с.
24. ITU-T Recommendation M.3010 Principles for a telecommunications management network [Text]. – Approved 2000-02-04. – Geneva: ITU, 2000. – 44 p.
25. Chapman, M. TB_MDC.018_1.0_94. Overall Concepts and Principles of TINA [Electronic resource] / M. Chapman, S. Montesi. – Telecommunications Information Networking Architecture Consortium, 17th Feb. 1995. – Available at: \www/URL: http://www.tinac.com/specifications/documents/overall.pdf

В даній статті представлена методика розрахунку параметрів комплексного акустичного резонатору, ґрунтуючись на методі гідрогазодинамічних аналогій, а також сформовано узагальнені залежностей розрахунку параметрів комплексного резонатору. Представлена методика дозволяє отримати взаємозв'язки параметрів комплексного акустичного резонатору. Результати досліджень можуть бути використані при проектуванні систем керування відривними течіями в лопаткових вінцях турбомашин

Ключові слова: ступінь осьового вентилятора, комплексний акустичний резонатор, коливальний контур, газодинамічні аналогії, відривні течії

В статтє представлена методика расчета параметров комплексного резонатора, основываясь на методе гидрогазодинамических аналогий, а также сформированы обобщенные зависимости расчета параметров комплексного резонатора. Представленная методика позволяет получить взаимосвязь между параметрами комплексного акустического резонатора. Результаты исследований могут быть использованы при проектировании систем управления отрывными течениями в лопаточных венцах турбомашин

Ключевые слова: степень осевого вентилятора, комплексный акустический резонатор, колебательный контур, газодинамические аналогии, отрывные течения

УДК 629.735.03:621.43.031.3:681.84.086 (045)
DOI: 10.15587/1729-4061.2015.46500

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ КОМПЛЕКСНОГО АКУСТИЧНОГО РЕЗОНАТОРУ

М. Ю. Богданов

Старший викладач*

E-mail: BogdanovNY@gmail.com

Ф. І. Кірчу

Кандидат технічних наук, доцент*

E-mail: fkirchu@gmail.com

*Кафедра авіаційних двигунів
Національний авіаційний університет
пр. Космонавта Комарова, 1,
м. Київ, Україна, 03058

1. Вступ

Ефективність осьових вентиляторів та компресорів авіаційних газотурбінних двигунів (ГТД) є однією з важливих умов, що визначають їх надійність та рівень безпеки польотів [1]. Нестійкість роботи ступеня осьового вентилятора (ОВ) в системі двигуна є при-

чиною зменшення ефективності останнього, а також є причиною інтенсивних коливань тиску робочого тіла в проточній частині ГТД.

Першоджерелом зменшення ефективності ступенів вентиляторів є відрив потоку в міжлопаткових каналах. В першу чергу відрив потоку локалізується на стінках аеродинамічного профілю та по мірі зміни