

*А. М. Винограденко*

Кандидат технических наук, доцент, докторант кафедры Технического обеспечения связи и автоматизации Военной академии связи

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ТЕОРИИ ЭНТРОПИЙНЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ

**АННОТАЦИЯ.** Проведен анализ возникновения состояний неопределенности при функционировании сложных технических объектов, а также выделены основные причины снижения эффективности функционирования систем мониторинга технического состояния. Предложен подход учета состояний неопределенности контролируемых параметров в системах мониторинга технического состояния сложных технических объектов. Описаны основные понятия теории энтропийных потенциалов, рассмотрены их свойства и возможности по описанию состояний неопределенности. Представлена вероятностная модель аварийных сигналов в системе мониторинга.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** система мониторинга, техническое состояние, состояния неопределенности, энтропийные потенциалы, измерительная информация.

### Введение

Территориальное разнесение объектов распределенной системы управления, жесткие условия их функционирования и необходимость обеспечения безопасной работы обусловили широкое использование систем мониторинга. Непрерывно возрастающие потоки измерительной информации (ИИ) при контроле сложных технических объектов (СЛО) и технологических процессов приводят к необходимости сокращения объема ИИ, сообщений, передаваемых по линиям связи [1].

Для уменьшения избыточности ИИ при сохранении полноты контроля объектов по каналу связи целесообразно передавать не все результаты измерения параметров, а только сообщения о выходе параметров объекта за пределы установленных допусков. Системы, реализующие данный метод сбора ИИ, в некоторых источниках называются адаптивными системами допускового контроля [2, 3].

Процесс уменьшения избыточности ИИ порождает, в свою очередь, возникновение неопределенности в оценке состояний таких объектов

контроля (ОК), что наоборот снижает эффективность мониторинга. Подобные состояния неопределенности в системах мониторинга технического состояния (ТС) территориально-распределенных объектов, обусловленные «дефицитом» ИИ, являются ее характерными свойствами [4–5].

Таким образом, наличие состояний неопределенности является объективной реальностью при функционировании систем мониторинга, изучении контролируемых объектов, прогнозировании эволюций (изменений) их технического состояния и организации управления контролируемыми объектами и системами в целом. Поэтому, разработка подходов и методов описания и учета состояний неопределенности при контроле СЛО, будет способствовать повышению эффективности проводимых исследований и решению (практических) задач мониторинга их ТС.

*Цель исследования:* разработка системного подхода в оценке состояний неопределенности ИИ, снимаемой с контролируемых объектов в системах мониторинга их ТС.

### Анализ функционирования систем мониторинга ТС СлО

Существующие системы мониторинга контролируемых СлО представляют собой информационно-измерительные, информационно-телеметрические системы, автоматические или автоматизированные измерительные комплексы и др., как правило, включающие в себя подсистему получения ИИ и формирования аварийных сигналов, характеризующих ТС СлО, подсистему средств и линий связи и подсистему диспетчерского управления. Первая подсистема состоит из датчиков и контроллеров, осуществляющих регистрацию параметров сигналов и их сравнение с допустимыми пределами [3, 4]. Заявками на обслуживание являются пакеты информационных символов, сформированные на выходе измерительных датчиков в случае выхода значения контролируемого технологического параметра за пределы установленных допусков [5]. Изменение какого-либо параметра наблюдаемого процесса проявляется разбросом его значений в течение определенного периода времени. Выход любого параметра полученного измерительного сигнала  $Y_i(t)$  за соответствующие пределы  $Y_{ни}(t)$ ,  $Y_{ви}(t)$  должен рассматриваться как сигнал об отказе аппаратуры, поступающий с датчика, а его анализ (обработка ИИ), соответственно, оценивать ТС контролируемого объекта. Интенсивность таких заявок определяется количеством датчиков, временными характеристиками контролируемых случайных процессов и числом установленных допусковых уровней для каждого процесса. ИИ поступает на контроллеры, осуществляющие программный опрос датчиков, не регулярно, а в виде случайного потока сигналов о состоянии аппаратуры, проходящего через определенные пороговые уровни, которые в случае выхода значений технологических параметров за пределы допусков формируют пакеты заявки наделают их статусом приоритетности [4, 5].

К особенностям функционирования и эксплуатации большинства систем мониторинга относят необходимость использования дорогостоящего оборудования, привлечения высококвалифицированного персонала, а также значительные затраты времени на проведение самих измерений и оценку их результатов [4, 5].

Анализ проведенных исследований показал, что основными причинами относительно низкой эффективности функционирования систем мониторинга ТС СлО являются:

- 1) условия априорной неопределенности, обусловленные дефицитом (недостаточным объемом) исходной ИИ;
- 2) низкая достоверность исходной ИИ;
- 3) различные «веса» и приоритеты целевых функций и т. д.;
- 4) проблема разработки системного подхода к оценке состояний неопределенности и оптимизации структуры и объемов ИИ, снимаемой с ОК, для организации эффективного мониторинга и управления такими объемами.

### Обоснование применимости теории энтропийных потенциалов к решению поставленной задачи

Проведенный анализ рассматриваемой проблематики выявил существующие подходы к решению поставленной задачи, сформулированные (выраженные, реализованные) в виде совокупности методов [6, 7]:

- методы интервальных оценок;
- статистического моделирования;
- методы, основанные на теории эллиптического оценивания;
- теории нечетких и размытых множеств;
- робастного оценивания, основанные на использовании различных подходов;
- методы, основанные на использовании экспертных систем;
- методы и технологии искусственных нейронных сетей;
- Байесовские интеллектуальные технологии;
- методы описания состояний неопределенности на основе понятия вероятностной энтропии и др.

Достоинством «энтропийного» подхода является то, что на его основе представляется возможным найти решение максимально удовлетворяющее требованиям (описать требования или переформулировать).

Общая идея применения методов теории энтропийных потенциалов (ТЭП) для организации системы мониторинга ТС состоит в следующем. Как уже было отмечено, функционирование любого СлО характеризуется изменением его параметров. Эти изменения, могут быть охарактеризованы соответствующими состояниями

неопределенности, а, следовательно, и величинами энтропийных потенциалов (ЭП) [8–11]. Даже если изменения какого-либо параметра в процессе функционирования ОК описываются детерминированной зависимостью, то его отдельные реализации могут рассматриваться как случайные величины, характеризуемые функцией распределения вероятностей и состоянием неопределенности. Поэтому, анализируя изменение величин ЭП и определяющих их параметров (среднеквадратическое отклонение (СКО) энтропийных коэффициентов, базовых значений и др.) можно отслеживать состояние ОК и тенденции (динамику) их изменений.

Таким образом, одним из перспективных для исследования вариативных свойств технологических параметров СЛО в условиях неопределенности является подход, сформированный на основе положений ТЭП [8–12], возможности которой позволяют проводить исследования «параметрической неопределенности» ТС СЛО при ограниченном объеме ИИ, в условиях ограниченной выборки реализаций контролируемых параметров.

### Оценка параметрической неопределенности на основе энтропийного подхода

ТЭП базируется на использовании следующих понятий: энтропийный потенциал, комплексный ЭП (КЭП), многомерный КЭП (МКЭП). В общем виде всю совокупность понятий ЭП —  $E$  можно определить в виде следующей зависимости:

$$E = \langle X, N_E, L_{E,Z}, P_E \rangle, \quad (1)$$

где  $X = \{\Omega_i(\vec{\xi})\}$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$  — множество параметров, используемых для описания ТС СЛО;  $\vec{\xi}$  — вектор факторов, определяющий вариацию величин  $i$ -го параметра;  $N_E$  — набор отображений для множеств параметров из  $\Omega_i(\vec{\xi})$ . В качестве таковых в моделях ЭП используются отображения для получения характеристик рассеяния СКО —  $\sigma_i$ , базовых значений параметров —  $X_{ni}$ , величин энтропийных коэффициентов —  $K_{ei}$ , а также, при необходимости, соответствующих весовых коэффициентов —  $c_i$ ;  $L_{E,Z}$  — набор форм отношений для отображения элементов из  $N_E$  в  $P_E$ ,  $Z$  — номер варианта форм  $Z = 1, 2, \dots, n$ ;  $P_E$  — набор понятий, критериев, характеризующих состояния неопределенности элементов из  $X$ : ЭП, КЭП, МКЭП.

Растущая сложность объектов контроля, увеличение числа контролируемых параметров, миниатюризация размеров элементов, а также низкий уровень использования систем, выполняющих функции прогнозирования и диагностирования предаварийного состояния, актуализируют задачи прогнозирования отказов в рабочем режиме, снижение времени восстановления, уменьшение ресурсов сил и средств, требуемых для диагностирования, а соответственно обуславливают необходимость АСК осуществлять контроль по нескольким параметрам [13, 14]. Это позволяет повысить достоверность результатов идентификации ТС СЛО, осуществляя идентификацию отклонений контролируемых параметров по нескольким признакам, расширить области применения технических средств контроля и др.

Примером подобных систем мониторинга ТС СЛО является система многоуровневого комплексного контроля ТС территориально-распределенных объектов связи (рис. 1), предназначенная для комплексного контроля и диагностики радиоэлектронной аппаратуры, реализуемого за счет анализа, комплексирования ИИ, поступающей от тепловизора, датчиков напряженности магнитного поля, напряжения и влажности воздуха [12, 14]. Тем не менее, функционирование этой системы также сопровождается соответствующими состояниями неопределенности при идентификации различных параметров, как и во многих системах мониторинга.

Таким образом, решение задачи многоуровневого комплексного контроля возможно с использованием методов ТЭП. Приведенное определение (1) допускает дальнейшее развитие и пополнение перечня вводимых понятий для описания состояний неопределенности в задачах мониторинга ТС, а также при использовании различных групп параметров.

В соответствии с (1) вводится общее понятие состояние неопределенности  $m$ -мерного вектора — МКЭП (критерии  $La_z$ ) в следующем виде

$$La_z = \left( \sum_{i=1}^m (c_i |L_{\Delta i}|)^z \right)^{\frac{1}{z}} = \left( \sum_{i=1}^m \left( c_i \frac{\Delta_{ei}}{|X_{ni}|} \right)^z \right)^{\frac{1}{z}} = \left( \sum_{i=1}^m \left( c_i \frac{K_{ei} \sigma_i}{|X_{ni}|} \right)^z \right)^{\frac{1}{z}}, \quad (2)$$

где  $L_{\Delta i}$  — КЭП  $i$ -го параметра  $i = 1, 2, \dots, m$ .

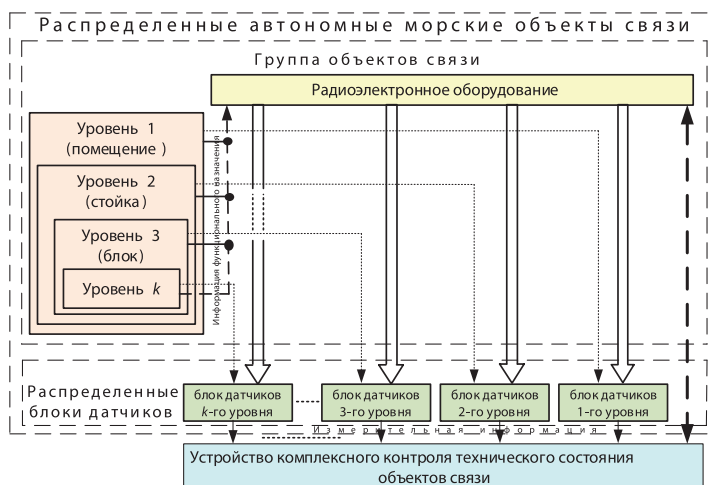


Рис. 1. Структурная схема системы многоуровневого комплексного контроля ТС СЛО

$$L_{\Delta_i} = \frac{\Delta_{ei}}{|X_n|} = \sigma \frac{K_{ei}}{|X_n|}, \quad (3)$$

где  $X_n$  — величина базового значения, относительно которого рассматривается состояние неопределенности;  $\Delta_{ei}$  — энтропийный потенциал  $i$ -го параметра.

В качестве базы может быть выбрана величина математического ожидания параметра —  $m_x$  или величина его номинального значения. Если изменения параметра происходят в окрестности нуля, то в качестве величины  $X_n$  могут быть использованы величина диапазона изменения этого параметра, величина предельно-допустимого значения и др.

Энтропийным потенциалом  $\Delta_{ei}$  параметра  $x$  называется половина диапазона изменения ограниченного распределения, имеющего такую же информационную энтропию  $H(x) = -\sum_{(i)} P(X_i) \times \log_a P(X_i)$  что и закон распределения этого параметра, где  $P(X_i)$  — вероятность появления значения величины  $X_i$ .

В качестве базы для нахождения величины ЭП целесообразно выбрать распределение, имеющее ограниченный диапазон изменения, равный  $[-\Delta_e; \Delta_e]$ , а также функцию плотности вероятности  $p(x)$  симметричную относительно центра этого диапазона. То есть

$$x \in [-\Delta_e; \Delta_e]. \quad (4)$$

В этом случае соответствующая плотность распределения вероятностей будет зависеть от величины  $\Delta_e$ :

$$p(x) = p(x, \Delta_e). \quad (5)$$

Величина энтропии базового распределения также будет зависеть от величины  $\Delta_e$  в соответствии с (5).

Приравняв энтропию рассматриваемого параметра с произвольным законом распределения  $H(x)$ , энтропии базового распределения с ограниченным диапазоном изменения параметра  $H(x, \Delta_e)$ , получим

$$H(x) = H(x, \Delta_e). \quad (6)$$

Решая уравнение (6) относительно  $\Delta_e$ , получим выражение для нахождения величины ЭП в общем виде

$$\Delta_e = F\{H(x)\}. \quad (7)$$

Величина ЭП имеет размерность рассматриваемого параметра. Поэтому ее можно выразить как масштабное изображение каких-либо величин (например, СКО —  $\sigma$ , размаха выборки и др.), имеющих такую же размерность. В частном случае, состояние неопределенности параметра может быть выражено через характеристику его рассеяния —  $\sigma$  и коэффициент  $K_e$ , характеризующий дестабилизационные свойства закона распределения в виде

$$\Delta_e = K_e \sigma. \quad (8)$$

Понятия величин ЭП являются взаимосвязанными и основаны на принципах «вложения»: понятия более высокого уровня выражаются через величины ЭП предыдущих уровней. И, наоборот,

упрощение описания состояния неопределенности осуществляется путем исключения дополнительных характеристик неопределенности (варианта многопараметрической модели, базового значения, энтропийного коэффициента и др.). В результате «диапазон» изменения «сложности моделей» состояний неопределенности, в зависимости от ситуации, может изменяться от уровня критерия  $La_z$  (в различных вариантах) до величины СКО или размаха выборки контролируемого параметра.

### Вероятностная модель аварийных сигналов в системе мониторинга

Для передачи по каналу связи результаты контроля технологического параметра  $x(t)$  подлежат преобразованию в электрический сигнал, кодированию с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП), модуляции и т. д. В качестве классического варианта построения АЦП рассмотрим преобразователь с двойным интегрированием. Основу такого преобразователя составляет интегратор с конденсатором емкостью  $C$  и активным сопротивлением  $R$ .

Как уже было отмечено, возникновение аварийного сигнала представляет собой реакцию на событие, состоящее в достижении напряжением с датчика некоторого порогового (аварийного) уровня  $U_{\Pi}$  в случайный момент времени  $t_i$ . Напряжение, отражающее процесс  $u_{\xi i}$  в момент  $t_i$ , также является случайной величиной. На непрерывной временной оси  $t \in [0, T]$  все физически реальные случайные процессы, в том числе и технологические процессы  $u_{\xi}(t)$  контролируемых объектов, представляют собой непрерывные функции времени. При этом, как отмечено выше, ставится задача минимизации объемов ИИ, обеспечивающей получение «правдоподобных» оценок соответствующих параметров [15].

При поступлении аварийного сигнала с подачей соответствующего разностного напряжения  $u_{\xi}(t) - U_{\Pi} = u_{\Delta}(t)$  на интегратор АЦП его конденсатор заряжается в течении фиксированного промежутка времени  $t_1$ . При этом, чем больше значение  $u_{\Delta}(t)$ , тем до большего значения напряжения будет заряжен конденсатор за время  $t \in [0, t_1]$ . Максимальное напряжение интегратора в составе аналого-цифрового преобразователя (АЦП) определяется выражением:

$$U_m = \frac{1}{RC} \int_{t_0}^{t_0+t_1} [u_{\xi}(t) - U_{\Pi}] dt. \quad (9)$$

Важным моментом в практической реализации предложенных решений является организация (процесс) вычислений оценок величин ЭПов и определяющих их параметров на основании результатов измерений.

В конечном счете, решение задачи сводится к рациональному выбору частот дискретизации  $\omega_d$  или периодов проведения измерений  $T_d = 2\pi / \omega_d$ , с последующим квантованием и кодированием анализируемых параметров объекта, или к оптимизации режимов процедуры аналого-цифрового преобразования. Последующая обработка «оцифрованного» сигнала осуществляется в вычислительном устройстве по заданным зависимостям и алгоритмам. При решении большинства практических задач проблема квантования сигналов является ключевой, хотя наличие различных эффектов (например, шумов квантования, переполнения разрядной сетки в процессе вычисления и др.) могут оказать влияние на качество выполнения этой операции. Точность квантования сигнала определяется выбором метода округления. В настоящее время задачи квантования сигналов достаточно хорошо проработаны на математическом и программном уровнях. Так, например, в системе MATLAB имеется значительный арсенал функций для округления различными методами (*round*, *ceil*, *fix*, *floor*), а также большие наборы специальных функций для квантования сигналов в пакетах *SignalProcessing*, *FilterDesign* и др.

Наиболее проблематичным является выбор периода дискретизации при снятии исходного сигнала. Проблема состоит в следующем. Увеличение периода дискретизации позволяет уменьшить количество измерений  $X_i (i \in I)$ , результаты которых используются для вычислений значений величин ЭП на основе выражений (2)–(8) и, следовательно, уменьшить затраты на проведение измерений и обработку информации. При этом возрастает вероятность того, что представление исходного параметра набором «редких» дискретных значений  $X_i$  приведет к потере информации, т. е. исходный сигнал не сможет быть восстановлен по значениям таких отсчетов. Соответственно вышеуказанные оценки величин энтропийных

потенциалов и определяющих их параметров, рассчитанные на основании этих дискретных значений, не будут являться «надежными» и объективными. И наоборот, повышение частоты дискретизации будет способствовать устранению этих недостатков, а, следовательно, повышению эффективности мониторинга и управления, а также повышению стоимости исследований и выпускаемой продукции. Отсюда возникает необходимость нахождения компромисса между этими противоречиями или так называемой «золотой середины». Для этого целесообразно использовать следующий подход.

Дискретизация исходного сигнала параметра  $X(t)$  осуществляется путем представления его последовательностью числовых значений  $X_i$ , отстоящих друг от друга по времени на величину  $T_d$ . Поэтому его можно представить в виде последовательности смещенных дельта-функций  $\delta(t - iT_d)$ ; ( $i \in I$ ), в масштабах значений исходного аналогового сигнала в соответствующие моменты дискретизации,

$$x_d(t) = \sum_{(i)} x(iT_d)\delta(t - iT_d) = x(t)\sum_{(i)} \delta(t - iT_d). \quad (10)$$

Процесс дискретизации исходного сигнала параметра  $X(t)$  приведет к возрастанию разностного напряжения  $u_{\Delta}(t)$  на интеграторе АЦП, и, следовательно, вероятности выявления аварийного сигнала.

Условие, при котором исходный сигнал может быть представлен дискретными отсчетами без потери информации, описывается теоремой Котельникова. Применительно к рассматриваемой ситуации эта формулировка будет следующей. Для неискаженного представления информации, содержащейся в сигнале  $x(t)$ , дискретными отсчетами  $X_i = x(iT_d)$ ; ( $i \in I$ ), необходимо чтобы величина периода дискретизации удовлетворяла условию

$$T_d \leq \frac{\pi}{\omega_{\max}} = \frac{1}{2f_{\max}}, \quad (11)$$

где  $\omega_{\max}$  и  $f_{\max}$  максимальная круговая и циклическая частоты спектрального состава этого сигнала,  $\omega = 2\pi f$  [12, 13].

Если спектр сигнала является бесконечным или достаточно большим, то в качестве  $\omega_{\max}$  может быть выбрана, так называемая, эффективная ширина его спектра. Исходя из изложенных соображений, целесообразно осуществлять

процедуру дискретизации сигналов параметров при мониторинге СЛО и др. Для удобства практического использования при решении подобных задач представляется необходимым заранее определить значения величин  $T_d$  для важнейших параметров СЛО различного назначения. Это позволит значительно упростить процедуру проведения исследований и решения задач мониторинга и управления этими объектами. Определение значений величин  $T_d$  может быть осуществлено различными способами: на основании спектрального анализа сигналов параметров, исходя из имеющихся аналогий, на основе «физического смысла» работы объекта и др.

В табл. 1 приведены диапазоны варьирования величин  $T_d$  для ряда параметров распространенных технологических процессов (например, контроль рабочей температуры материнской платы ЭВМ (процессора ЭВМ) с использованием тепловизора, см. рис. 2). Эти данные получены на основании ограниченных исследований для отдельных видов типового оборудования и при необходимости могут быть скорректированы и дополнены. (Динамика изменения влияющих факторов технологических процессов и формируемых параметров ОК, помимо причин, указанных в примечании к табл. 1, также зависит от характеристики конструктивных особенностей используемого оборудования).

## Заключение

Моделирование систем мониторинга с использованием методов ТЭП позволит осуществить получение информационных (энтропийных) портретов состояний неопределенности, в результате анализа которых возможно осуществление прогнозирования случаев возникновения аварийных ситуаций.

С использованием предложенных понятий и методов представляется возможным оценить изменение технического состояния отдельных элементов СЛО по их «информационному следу», а также выявить степень влияния составляющих величин ЭП на состояния неопределенности системы СЛО в целом.

Приведенные данные необходимы для получения оценок затрат на проведение исследований, а также для оценки эффективности функционирования систем мониторинга

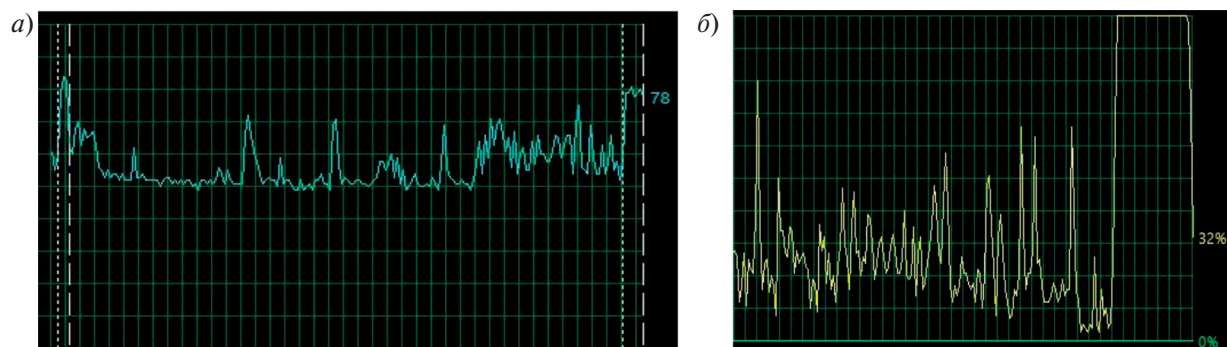


Рис. 2. График изменения температуры (а) и загрузки процессора ЭВМ (б)

Таблица 1

Ориентировочные значения величин  $T_d$  для температуры материнской платы ЭВМ

Объект контроля	Параметры	Значения $T_d$ , °С	Примечание
Материнская плата ЭВМ, процессор (Intel)	Температура отдельных элементов платы номинальная температура процессора максимальная температура процессора	5–45 5–55 5–80	Вариации $T_d$ зависят от режимов работы ЭВМ (процессора)

и управления процессами. Кроме того, значения реальных значений величин  $T_d$  позволяют обосновать требования по быстродействию к методам и аппаратуре для проведения соответствующих измерений.

Изложенный подход, основанный на использовании методов ТЭП, направлен на повышение эффективности функционирования систем мониторинга и управления, особенно в условиях априорной неопределенности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Будко П. А. Способ мониторинга предаварийного состояния контролируемых объектов / П. А. Будко, А. М. Винограденко, А. И. Литвинов, А. С. Юров // Датчики и системы. — 2014, № 9 (184). — С. 8–14.
2. Винограденко А. М. Оперативный контроль технического состояния подвижных электротехнических объектов / А. М. Винограденко, А. П. Веселовский, О. Н. Бурьянов // Современные проблемы создания и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники: тезисы докладов III Всероссийской научно-практической конференции (Санкт-Петербург, 2016 г.). — СПб., 2016. — С. 178–184.
3. Винограденко А. М. Система мониторинга технического состояния подвижных объектов военного назначения с использованием беспроводных технологий / А. М. Винограденко, О. В. Ладонкин, А. С. Юров // Т-Сomm: Телекоммуникации и транспорт. — 2015, № 1. — С. 51–55.
4. Винограденко А. М. Система для контроля технического состояния радиоэлектронных объектов / А. М. Винограденко, И. В. Федоренко // Патент на полезную модель RU90916 U1, опубл. 05.08.2009, бюл. № 2.
5. Винограденко А. М. Система для контроля параметров технологических объектов / А. М. Винограденко, И. В. Федоренко, А. В. Семенов // Патент на полезную модель RU96676 U1, опубл. 09.03.2010, бюл. № 2.
6. Управление в условиях неопределенности: монография / С. В. Прокопчина, М. Ю. Шестопалов, Л. В. Уткин, М. С. Куприянов, В. Л. Лазарев, Д. Х. Имаев, В. Л. Горохов, Ю. А. Жук, А. В. Спесивцев // Под ред. С. В. Прокопчиной. — СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014. — 312 с.
7. Охтилев М. Ю. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов / М. Ю. Охтилев, Б. В. Соколов, Р. М. Юсупов. — М.: Наука, 2006. — 410 с.
8. Лазарев В. Л. Исследование вариаций параметров на основе значений энтропийного коэффициента / В. Л. Лазарев // Материалы XXI Международной конференции по мягким вычислениям и измерениям (SCM-2018), СПбГЭТУ «ЛЭТИ». — С. 7–10.
9. Лазарев В. Л. Теория энтропийных потенциалов. — СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2012. — 127 с.

10. **Лазарев В. Л.** Нахождение оценок энтропийных потенциалов в условиях неопределенности / В. Л. Лазарев, В. Л. Иванов, О. Л. Жданова // Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI в. 2017. — С. 105–108.

11. **Лазарев В. Л.** Системный подход к оценке состояний неопределенности. Особенности реализации для задач мониторинга и управления / В. Л. Лазарев, В. Л. Иванов // Вестник МАХ. Холод: техника и технологии. — 2014, № 2. — С. 25–29.

12. **Lazarev V. L.** Representiv information models for monitoring and control in the conditions of uncertainty // Proceedings of the 18th International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2015. SaintPetersburg, RussiaPublisher: IEEE. Pp. 54–57. DOI:10.1109/SCM.2015.7190408.

13. **Будко П. А.** Реализация метода многоуровневого комплексног контроля технического состояния

морского робототехнического комплекса / П. А. Будко, А. М. Винограденко, В. К. Гойденко, С. В. Кузнецов // Системы управления, связи и безопасности. — 2017, № 4. — С. 71–101.

14. **Будко П. А.** Метод многомерного статистического контроля технического состояния радиоэлектронного оборудования на основе комплексирования показаний нескольких типов датчиков / П. А. Будко, А. М. Винограденко, В. К. Гойденко, Л. И. Тимошенко // Датчики и системы. — 2018, № 3 (223). — С. 3–11.

15. **Федоренко В. В.** Вероятностно-временные характеристики телеметрического сигнала с переменной разрядностью / В. В. Федоренко, Ю. Г. Кононов, В. В. Самойленко, И. В. Самойленко, А. М. Винограденко // Материалы II Международной научной конференции по проблемам управления в технических системах (ПУТС-2017), СПбГЭТУ«ЛЭТИ». — 2017. — С. 151–155.