

А. В. ГУЛАЙ, В. М. ЗАЙЦЕВ, В. А. ГУЛАЙ

СООТНОШЕНИЕ СВОЙСТВ VITA-СРЕДЫ И ИХ ИНТЕРПРЕТАЦИЙ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ

Белорусский национальный технический университет

Показано, что максимально полное описание vita-среды «субъективной сенсорной системой» на базе формулируемых синтаксических свойств подразумевает введение сложных высказываний экспертов, построенных на элементарных оценках. На множество моделей, соответствующее всем сенсорным элементам, контролирующим свойства vita-среды, налагаются естественные условия детерминированности и полноты. Рассмотрена степень истинности высказываний экспертов и мера неадекватности представления свойств vita-среды в процессе сенсорного контроля.

Обобщенное описание vita-среды при сенсорном контроле ее свойств возможно с использованием представлений термодинамики информационных процессов. Для выяснения термодинамических закономерностей процедуры сенсорного контроля рассматривается последовательная цепь преобразований: свойство объекта – контролируемый параметр – искажение характеристики – обобщенная координата – информационная модель. При высокоточном контроле количество информации определяется логарифмом относительной точности, а при сравнительно грубом определении параметров vita-среды оно зависит от квадрата относительной точности сенсорного контроля.

Рассмотрены причины и последствия искажения сенсорных образов при использовании технических средств изложения событий и представления свойств vita-среды. Показан противоречивый, двойственный характер воздействия на процесс контроля дополнительных технических средств, включаемых между объектом контроля и «субъективной сенсорной системой». Проанализирована вероятность обеспечения средствами интеллектуальной системы успешного сбора, обработки, накопления или обновления информации о параметрах vita-среды.

Ключевые слова: интеллектуальная vita-среда; модель информационного взаимодействия; энтропийная эффективность контроля; искажение сенсорных образов.

Введение

В настоящей работе развивается предложенный авторами подход к описанию интеллектуальной vita-среды на основе информационных сенсорных образов, формируемых с использованием «субъективной сенсорной системы». С целью выявления соотношений между свойствами vita-среды и результатами их системотехнической интерпретации представлены методы формализованного описания vita-среды. Проанализированы способы формирования информационных потоков и сенсорных образов в процессе выполнения операций контроля состояния vita-среды.

В качестве перспективного интегративного подхода к исследованию vita-среды использованы положения термодинамики информационных процессов, при этом сенсорный контроль рассматривается как термодинамический процесс перехода системы из одного равновес-

ного состояния в другое. Совокупность указанных вопросов трактуется как проблема соотношения свойств vita-среды и их возможных интерпретаций в интеллектуальной модели. В контексте данной проблемы рассмотрены механизмы искажения сенсорных образов при использовании дополнительных технических средств для определения свойств vita-среды. Проанализирована вероятность обеспечения средствами интеллектуальной системы успешной обработки информации о параметрах vita-среды.

«Субъективная сенсорная система» в технологии моделирования vita-среды

Представление «субъективной сенсорной системой» объектов vita-среды и использование полученных оценок в технологиях моделирования требует определенной формализации. Она может выполняться по известным прин-

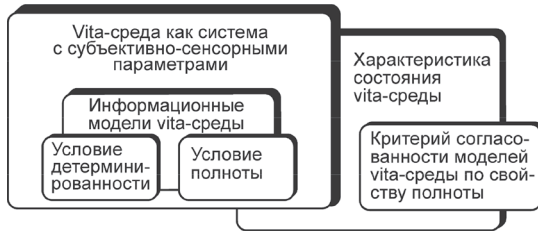


Рис. 1. Формализация результатов сенсорного контроля vita-среды

ципам формализованного субъективного описания сложных систем [1]; обобщенная схема такого представления показана на рис. 1. Полное представление о синтаксических свойствах vita-среды требует введения сложных высказываний экспертов, построенных на элементарных оценках. Элементарные высказывания $A_i(\alpha_i^k)$ – это высказывания на естественном языке о том, что свойства A_i по соответствующей шкале $\{\alpha_i\} = \{\alpha_i^1, \dots, \alpha_i^m\}$ имеют оценки α_i^k ; $i = 1, 2, \dots, n$; $k = 1, 2, \dots, m_i$. Основой формального выражения сложных высказываний является аксиоматическая теория L – исчисление высказываний с пропозициональными переменными $A_i(\alpha_i^k)$.

В процессе контроля эксперт ставит в соответствие сложным высказываниям истинностные значения («истинно», «ложно»), зависящие от его понимания тех элементарных составляющих A_i (и их значений), которые соответствуют сложному свойству. Поскольку истинность составных высказываний полностью определяется ее значениями на элементарных высказываниях, то в процессе контроля каждый эксперт реализует некоторую модель логики L . Моделью s теории L называется отображение T_s формул теории L в двухэлементное множество $\{0, 1\}$ [1]. Оно формируется за счет того, эксперт приписывает истинному элементарному высказыванию «1», а ложному «0» и тем самым создает модель T_s .

На множество моделей S , соответствующее всем сенсорным элементам, контролирующим свойства системы, налагаются естественные условия детерминированности и полноты [1]. Содержательно условие детерминированности $T_s[A_i(\alpha_i^j) \wedge A_i(\alpha_i^k)] = 0$; $\alpha_i^j \neq \alpha_i^k$ соответствует тому, что в каждой модели $s \in S$ истинной является только одна из оценок каждого свойства vita-среды по определенной шкале. В соответствии с этим условием каждому параметру информационного образа можно при-

писать в данный момент только одно значение. Условие полноты $T_s[A_i(\alpha_i^k)] = 1$ при этом гарантирует для каждой модели $s \in S$ обязательное существование оценки у любого свойства vita-системы по выбранной шкале.

Поскольку возможно формирование различных моделей, интерпретирующих одну и ту же совокупность элементарных высказываний логики L , при определении vita-системы предлагается не только выделять логику высказываний, но и фиксировать некоторое конечное множество моделей S этой логики. С этой точки зрения системой с субъективно-сенсорными переменными можно назвать совокупность переменных $(\{A_i(\alpha_i^k)\}, S)$, то есть некоторое множество высказываний $\{A_i(\alpha_i^k)\}$ и фиксированный набор моделей S логики высказываний L . С учетом данного определения можно уточнить понятие состояния vita-среды, причем такое уточнение возможно как для прямого сенсорного контроля ее свойств, так и для случая косвенного контроля.

Определение. Состояние vita-системы – это значения величин, определяемых в результате сенсорного контроля и характеризующих все основные свойства системы или их определенную часть, через которую оставшаяся часть свойств выражается однозначно.

Контроль, проводимый «субъективными сенсорными приборами» S , ставит в соответствие каждой величине, характеризующей объект (свойству A_i), множество тех α_i^k , для которых существует некоторая совокупность $s \in S$, считающих высказывание $A_i(\alpha_i^k)$ истинным и, следовательно, фиксирующих значение α_i^k как результат контроля A_i . Формально такая ситуация характеризуется введением некоторой средней величины $f[A_i(\alpha_i^k)]$, называемой степенью истинности высказывания $A_i(\alpha_i^k)$. Численно степень истинности характеризуется функцией, сопоставляющей каждому высказыванию Q логики L относительное число моделей из S , в которых это высказывание истинно: $f[Q] = \sum p(s)T_s[Q]$, где функция $p(s)$ удовлетворяет условиям $0 \leq p(s) \leq 1$; $\sum p(s) = 1$ и задает некоторое распределение вероятностей на множестве S .

При рассмотрении системы $(\{A_i(\alpha_i^k)\}, S)$ с состоянием $p(s)$ совокупность моделей S приписывает свойству A_i определенное значение, если существует такое α_i^j , для которого

погрешность контроля $\Delta A_i \ll 1$. В этом случае $f[A_i(\alpha_i^j)] = \max f[A_i(\alpha_i^k)]$; при этом величину $\delta(A_i) = 1 - \max f[A_i(\alpha_i^k)]$ называют мерой неадекватности представления свойства A_i системой $(\{A_i(\alpha_i^k)\}, S)$ с состоянием $p(s)$. Условие, достаточное для единственности максимума, записывается в виде $\delta(A_i) < 1/2$ и принимается в качестве критерия согласованности моделей S по свойству A_i .

Термодинамическая модель процесса сенсорного контроля *vita*-среды

Для обобщенного описания информационных процессов в объеме *vita*-среды при ее сенсорном контроле возможно использование представлений термодинамики [2]. В данном случае может быть установлена энергетическая цена информации, то есть значение энергии Q , которую необходимо рассеять для достижения определенного информационного эффекта – получения заданной точности сенсорного контроля. Термодинамическая модель информационного взаимодействия отражает преобразование энтропии в информацию, а последней – в негэнтропию. Негэнтропийный принцип информационных процессов для сенсорного контроля записывается в виде: $\Delta S_T > I > \Delta N$, где $\Delta S_T = Q/T$ – рост энтропии; T – температура; I – количество информации, полученной в процессе сенсорного контроля; ΔN – негэнтропия. Приведенные неравенства характеризуют основные причины того, что энергетическая эффективность информационных процессов составляет $\eta = \Delta N/\Delta S_T < 1$ (более того, $\eta \ll 1$). Во-первых, энергетическая цена информации обязательно больше T (при этом $\Delta S_T > I$), во-вторых, при упорядочении негэнтропийный эффект всегда меньше информационного ($I > \Delta N$). Указанное значение η говорит о том, что все способы получения информации о макросостояниях системы и процедуры упорядочения информации строго необратимы.

Для термодинамического анализа процесс сенсорного контроля требует особого определения: необходимо представить сенсорный

контроль как термодинамический процесс перехода системы из одного равновесного состояния в другое. Поэтому для выяснения общих термодинамических закономерностей процесса сенсорного контроля рассматривается последовательная цепь преобразований из нескольких этапов (рис. 2). Здесь приняты следующие условные обозначения: l – свойство объекта; λ – контролируемый параметр; δ – искажение параметра; q – обобщенная координата; ξ – параметр модели.

Контролируемое свойство l *vita*-среды не всегда может быть определено напрямую как величина, воспринимаемая «субъективной сенсорной системой». Поэтому промежуточный этап преобразования $l \rightarrow \lambda$ учитывает, что контролируемая величина l входит во внутренний параметр объекта λ и отображается данным параметром, пригодным для восприятия «субъективным сенсором». Введение в состав *vita*-среды дополнительных технических средств может привести к искажению параметра λ , что можно представить как $\lambda \pm \delta$. Следующим этапом является преобразование (которое производится с помощью сенсорной системы) контролируемого параметра λ в обобщенную координату q ($\lambda \rightarrow q$). В свою очередь, обобщенная координата q входит в виде параметра в модель изучаемого объекта, представляет собой элемент создаваемого информационного сенсорного образа ($q \rightarrow \xi$). Объем этого образа, разнообразие его элементов определяется информационной емкостью *vita*-среды.

Определение. Информационная емкость *vita*-среды характеризуется полным объемом ее существенных свойств, которые трансформируются непосредственно или через промежуточные величины в набор параметров, контролируемых с использованием сенсорной системы.

Конкретизировать общий подход к термодинамическому моделированию процесса сенсорного контроля можно следующим образом. Сенсорный контроль связан с взаимодействием таких компонентов *vita*-среды как исследу-

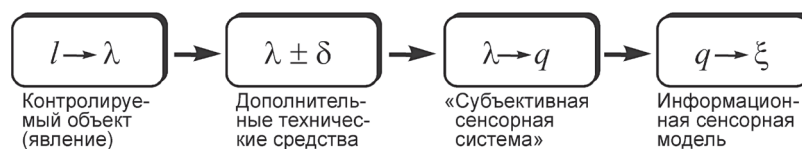


Рис. 2. Преобразование параметров *vita*-среды при сенсорном контроле

емый объект, обладающий комплексом свойств (информативных параметров), и сенсорная система, контролирующая эти параметры. Причем это взаимодействие обуславливает обмен энергией между указанными компонентами, вследствие чего изменяется значение регистрируемого параметра. Диссипативные процессы, связанные с энергетическим обменом, являются единственной причиной необратимости сенсорного контроля свойств *vita*-среды.

Первостепенное значение для термодинамики информационных процессов в сенсорной системе имеет относительная точность, которая определяется как величина, обратная относительной погрешности σ . Количество информации при сенсорном контроле, являющееся функцией σ , можно представить следующим выражением [3]:

$$I = (1/2) \ln(1/\sigma^2 + 1) \approx \begin{cases} \ln(1/\sigma) & \text{при } \sigma^2 \ll 1, \\ 1/2\sigma^2 & \text{при } \sigma^2 \gg 1. \end{cases} \quad (1)$$

Таким образом, при $\sigma^2 \ll 1$ количество информации определяется логарифмом относительной точности, а в случае $\sigma^2 \gg 1$ данный параметр зависит от квадрата относительной точности сенсорного контроля. При увеличении погрешности контроля (уменьшении полезного эффекта) энтропийная эффективность η растет, однако она никогда не достигает значения 1: $\eta < (\sigma/2) \ln(1/\sigma) \ll 1$; $\sigma \ll 1$. Необходимо подчеркнуть, что энтропийная эффективность тем ниже, чем выше полезный неэнтропийный эффект, который равен количеству полученной информации.

Механизмы искажения информационных сенсорных образов *vita*-среды

На формируемый информационный образ *vita*-среды оказывают существенное воздействие дополнительные технические средства, включаемые между объектом контроля и «субъективной сенсорной системой». С одной стороны, их использование дает возможность наиболее полно отобразить реальные факты, точнее показать различные стороны моделируемого события. Технические средства обладают способностью, например, приближать изображения, укрупнять детали, выделять фрагменты, изменять скорости, улавливать мгновения, трансформировать образы. С другой сто-

роны, технические средства с легкостью могут использоваться для искажения фактов, варьирования параметров, искривления характеристик.

Наличие дополнительных технических средств позволяет формировать непрерывный поток ситуационных образов, и в то же время оно создает эффект, запускает механизм произвольной интерпретации этих образов, в том числе искаженного их представления. С функциональной точки зрения роль дополнительных технических средств можно определить как преобразование свойств данного объекта в совокупность промежуточных параметров, в дальнейшем воспринимаемых сенсорами. Указанное преобразование сопровождается произвольным варьированием весовых коэффициентов, усиливающих или, наоборот, ослабляющих восприятие сенсорной системой тех или иных свойств объекта, что в конечном итоге проявляется в искажении информационных потоков и сенсорных образов.

Приведенные выше положения можно проиллюстрировать обобщенной схемой синтеза информационных образов интеллектуальной *vita*-среды, формируемых сенсорной системой (рис. 3). В данном случае совокупность n информационных параметров IP (*information parameters*), транслируемых k элементами модели, можно рассматривать как набор из k информационных образов II (*information images*), выявляемых в каждом из указанных элементов. Причем n параметров при трансляции через k элементов интеллектуальной *vita*-среды образуют n информационных потоков IF (*information flows*). Воздействие дополнительных технических подсистем может приводить к искажению информационных сенсорных образов l *vita*-среды.

Действия операторов, управляющих техническими средствами, во многом основаны на

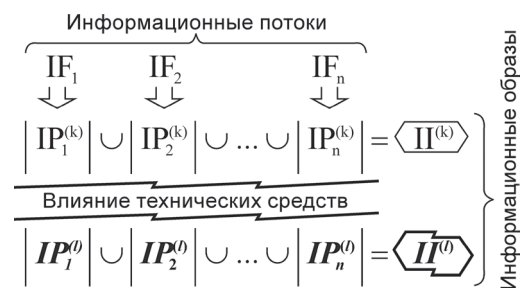


Рис. 3. Искажение информационных сенсорных образов *vita*-среды

их интуиции, которая задается вполне конкретными закономерностями и случайными обстоятельствами. В данном случае она с наибольшей вероятностью может представлять собой доведенное до автоматизма умение оперировать стереотипами, активно вводить их в предварительные информационные модели и даже составлять из них те или иные ситуационно зависимые конфигурации (см., например, [4]). В свою очередь, ситуационные образы, предваряющие оценки сенсорной системы, опосредованно учитываются в выходных данных, что и приводит к их искажению.

Таким образом, стереотипы внедряются в информационные сенсорные образы на стадии их формирования, на этапе трансляции сведений через элементы интеллектуальной *vita*-системы. Они вводят в непрерывно изменяющиеся информационные потоки «постоянную составляющую», которая не всегда выявляется процессами формализации и становится, в свою очередь, системой стереотипов у потребителей сенсорной информации. В конечном итоге они входят в создаваемые и исследуемые модели мира, в значительной степени «деформируют» их, искажая взаимодействия изучаемых объектов и взаимосвязи исследуемых явлений. Это негативно влияет на принимаемые решения, основанные на результатах моделирования, и сказывается на долговременных последствиях этих решений.

В реальных системах при их технической реализации предъявляются достаточно жесткие требования к достоверности сбора данных и передачи результатов сенсорного контроля [5]. Так, в зависимости от степени ответственности системы устанавливается допустимый уровень снижения полноты сбора (накопления, обновления, обработки) информации в базе данных относительно текущих состояний *vita*-среды, при котором обеспечивается корректное решение набора функциональных задач и выработка требуемых управляющих воздействий.

Предположим, что в системе в циклах управления необходима организация сбора Q текущих параметров множества N объектов и явлений $\{O_j\}; j = 1, 2, \dots, N$. Допустимый относительный уровень снижения полноты ε и доверительная вероятность $P_{\text{дов}}$ определяют тот факт, что в каждом цикле управления должен

быть успешно реализован сбор в базе данных сведений не менее, чем для $Q - \mu$ параметров, где $\mu = \text{Ant}(\varepsilon Q)$; Ant – целочисленная функция Антье. Если P_0 – вероятность обеспечения средствами системы успешного сбора информации об одном параметре, то нижняя граница вероятности P_0 будет являться положительным вещественным корнем базового алгебраического уравнения [5, 6]:

$$P_0^Q + Q(1 - P_0)P_0^{Q-1} + C_Q^2(1 - P_0)^2 P_0^{Q-2} + \dots + C_Q^\mu(1 - P_0)^\mu P_0^{Q-\mu} - P_{\text{дов}} = 0. \quad (3)$$

При высоких значениях Q решение данного уравнения в радикалах невозможно. Для нахождения нижней границы вероятности P_0 целесообразно проводить изоляцию корня на интервале $(0,8; 1,0]$, после чего с помощью итерационного метода (например, метода Ньютона) и половинного деления интервала рассчитывать с точностью не ниже 0,001 искомое значение P_0 . Важность расчета значения P_0 в том, что оно позволяет оценить границы для важнейшего системного показателя – вероятности достоверной передачи данных по информационному каналу $P_{\text{дп}}$.

При заданных коэффициентах готовности сенсорного, канального и вычислительного оборудования (соответственно $K_{\text{гс}}, K_{\text{гк}}, K_{\text{гв}}$) в интеллектуальной системе требуется соблюдение главного условия достижения расчетной вероятности P_0 : $K_{\text{гс}}K_{\text{гк}}K_{\text{гв}}P_{\text{дп}} \geq P_0$. Для обеспечения действенного сенсорного контроля в интеллектуальных системах необходимо использование технического оборудования с высокими показателями надежности, для которых заведомо выполняется условие $K_{\text{гс}}K_{\text{гк}}K_{\text{гв}} \gg P_0$. Даже при крайне высоких значениях коэффициентов $K_{\text{гс}}, K_{\text{гк}}, K_{\text{гв}} > 0,995$ граничное значение вероятности $P_{\text{дп}}$ необходимо поддерживать на уровне не ниже 0,999, что, в свою очередь, требует применения специальных технологий и оборудования, например использования высокоэффективных систем помехоустойчивого кодирования [5, 6].

Заключение

С целью выявления соотношений между свойствами *vita*-среды и результатами их системотехнической интерпретации представлены методы формализованного описания состо-

яния *vita*-среды. В качестве модели информационного взаимодействия компонентов *vita*-среды взята термодинамика информационных процессов, при этом проанализирована последовательность преобразования контролируемых параметров в информационном потоке. Показана зависимость количества получаемой сенсорной информации и величины энтропийной эффективности контроля от его точности.

В контексте рассматриваемых проблем рассмотрены причины и последствия искажения сенсорных образов при использовании технических средств изложения событий и представления свойств *vita*-среды. Проанализирована вероятность обеспечения средствами интеллектуальной системы успешного сбора и обработки информации о параметрах *vita*-среды.

Литература

1. Левченко, В. С. Формализация субъективного описания сложных систем / В. С. Левченко // *Философско-методологические основания системных исследований. Системный анализ и системное моделирование*. – М.: Наука, 1983. – С. 82–97.
2. Колешко, В. М. Термодинамическая модель функционирования интеллектуальной сенсорной системы / В. М. Колешко, А. В. Гулай, В. А. Гулай // *Наука и техника*. – 2012. – № 1. – С. 40–47.
3. Поплавский, Р. П. Термодинамика информационных процессов / Р. П. Поплавский. – М.: Наука, 1981. – 256 с.
4. Ослон, А. Уолтер Липпман о стереотипах: выписки из книги «Общественное мнение» / А. Ослон // *Социальная реальность*. – 2006. – № 4. – С. 125–141.
5. Гулай, А. В. Дистанционное отображение сенсорной информации в базе данных интеллектуальной мехатронной системы / А. В. Гулай, В. М. Зайцев // *Электроника-инфо*. – 2015. – № 2. – С. 51–55.
6. Рыбина, Г. В. Основы построения интеллектуальных систем / Г. В. Рыбина. – М.: Финансы и статистика, Инфра, 2010. – 432 с.

References

1. Levchenkov V. S. Formalizaciya sub`ektivnogo opisaniya slozhny`x sistem / V. S. Levchenkov // *Filosofsko-metodologicheskie osnovaniya sistemny`x issledovaniy. Sistemny`j analiz i sistemnoe modelirovanie*. – М.: Nauka, 1983. – P. 82–97.
2. Koleshko, V. M. Termodinamicheskaya model` funkcionirovaniya intellektual`noj sensornoj sistemy` / V. M. Koleshko, A. V. Gulay, V. A. Gulay // *Nauka i tehnika*. – 2012. – № 1. – P. 40–47.
3. Poplavskij, R. P. Termodinamika informacionny`x processov / R. P. Poplavskij. – М.: Nauka, 1981. – 256 p.
4. Oslon, A. Uolter Lippman o stereotipax: vypiski iz knigi «Obshhestvennoe mnenie» / A. Oslon // *Social`naya real`nost`*. – 2006. – № 4. – P. 125–141.
5. Gulay, A. V. Distancionnoe otobrazhenie sensornoj informacii v baze danny`x intellectual`noj mexatronnoj sistemy` / A. V. Gulay, V. M. Zajcev // *E`lektronika-info*. – 2015. – № 2. – P. 51–55.
6. Rybina, G. V. Osnovy` postroeniya intellektual`ny`x sistem / G. V. Rybina. – М.: Finansy` i statistika, Infra, 2010. – 432 p.

Поступила
24.01.2017

После доработки
22.02.2017

Принята к печати
06.03.2017

A. V. Gulay, V. M. Zaytsev, V. A. Gulay

CORRELATION OF PROPERTIES OF VITA-MEDIUM AND THEIR INTERPRETATIONS IN INTELLIGENT MODEL

Belarusian National Technical University

It is shown that the maximally full description of vita-medium with “the substantially sensor system” on the basis of expressed syntax properties implies introduction of complex assertions of experts built on elementary estimates. Natural conditions of determinacy and completeness are put on multiple models by corresponding to all sensor components which control vita-medium properties. The trueness of assertions by experts and inadequacy measure of vita-medium properties provision have been considered in the process of sensor control.

It is shown that thermodynamics ideas of informational processes can be used for the generalized description of vita-medium during sensor control of its properties. In order to find out thermodynamic regularities of the sensor control procedure the series circuit of conversions is considered: object property – controlled parameter – feature distortion – generalized coordinate – information model. During the high precision control the information quantity is determined with the aid of relative precision logarithm, and in case of comparatively rough determination of vita-medium parameters it depends on the square of sensor control relative precision.

Reasons and consequences of distorted sensor images have been considered with the use of technical means of outlines of events and vita-medium properties provision. A contradictory, two-value character of impact on the process of control of extra technical means is shown, which are included between the controlled object and "the subjective sensor system". Probability of provision of successful collection, procession, accumulation and renewal of information on vita-medium parameters with intelligent system means has been analyzed.

Keywords: intellectual vita-medium; informational interaction model; entropic control efficiency; distortion of sensor images.



Гулай А. В. кандидат технических наук, заведующий кафедрой БНТУ. Окончил Минский радиотехнический институт (1971), защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук (1982), лауреат Государственной премии в области науки и техники. Работал в научных учреждениях НАН Беларуси, занимался разработкой и исследованием микроэлектронных систем. С 2004 года – доцент кафедры «Интеллектуальные системы» БНТУ, с 2013 года – заведующий кафедрой. Область научных интересов: методологические проблемы интеллектуальных технологий; интеллектуальные системы формирования знаний; построение интеллектуальных и сенсорных систем.

A. V. Gulay, Ph. D. in Engineering Science, the head of department of the Belarusian National Technical University (BNTU). He graduated from the Minsk Radio Engineering Institute (1971), the postgraduate studies of the Research Institute of Electronics of the Academy of Sciences of BSSR (1981), he defended a thesis in candidacy of Ph. D. in Engineering Science (1982), a laureate of the state prize in the field of science and technology. He worked in scientific institutions of the National Academy of Sciences of the Republic of Belarus and he was engaged in the study of microelectronic technologies, development of microelectronic systems. Since the year 2004 – an assistant professor of the department "Intelligent systems" of BNTU, since the year 2013 – the head of the department. The field of scientific interests: methodological problems of intelligent technologies, intelligent systems of knowledge formation; construction of intelligent and sensor systems.



Зайцев В. М. кандидат технических наук, доцент БНТУ. Окончил Минский радиотехнический институт (1971), защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук (1974). В отраслевом научно-исследовательском институте возглавлял научное направление по созданию автоматизированных систем управления. С 2000 года – доцент кафедры «Интеллектуальные системы» БНТУ. Область научных интересов: цифровая обработка сигналов; проектирование интеллектуальных систем технического назначения.

V. M. Zaitsev, Ph. D. in Engineering Science, an assistant professor of the Belarusian National Technical University (BNTU). He graduated from the Minsk Radio Engineering Institute (1971), the postgraduate studies of the Research Institute of engineering Cybernetics of the Academy of Sciences of BSSR (1974), he defended a thesis in candidacy of Ph. D. in Engineering Science (1974). He worked for a long time in the sectorial research institute and headed the research area for development of automated control systems. Since the year 2000 – an assistant professor of the department "Intelligent systems" of BNTU. The field of scientific interests: digital procession of industrial-use systems.



Гулай В. А. старший преподаватель БНТУ. Окончил Белорусский государственный университет (1997), аспирантуру БНТУ (2008). С 2005 года – старший преподаватель кафедры «Интеллектуальные системы» БНТУ. Область научных интересов: физика и технология сенсорных микро-наносистем; моделирование интеллектуальных и сенсорных систем.

V.A. Gulay, senior lecturer of the Belarusian National Technical University (BNTU) He graduated from the Belarusian State University (1997), the postgraduate studies of BNTU (2008). Since the year 2005 – a senior lecturer of the department “Intelligent systems” of BNTU. The field of scientific interests: physics and technology of sensor micro nanosystems; modeling of intelligent and sensor systems.