

## Концепция программно-аналитического комплекса образовательного процесса на основе онтологии и искусственных нейронных сетей

В.В. Антонов<sup>1,2</sup>, Г.Г. Куликов<sup>1</sup>, Л.А. Кромина<sup>1</sup>, Л.Е. Родионова<sup>1</sup>,  
А.Р. Фахруллина<sup>1</sup>, З.И. Харисова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, Россия

<sup>2</sup>Уфимский юридический институт МВД России, Уфа, Россия

### Аннотация

Эффективное управление процессом обучения программ дополнительного профессионального образования в университете обусловлено обеспечением уникальных потребностей обучающихся согласно запросам предприятий-работодателей реального сектора экономики в соответствии с выбранными компетенциями и направлениями подготовки. В ряде задач управления, алгоритм решения которых неизвестен, активно разрабатываются и внедряются системы с использованием искусственных нейронных сетей, позволяющие классифицировать и анализировать данные для принятия управленческих решений. Широкое применение искусственных нейронных сетей приводит к необходимости систематизации данных с целью повышения производительности процессов обработки, хранения, поиска и анализа данных для реализации программ обучения на всех этапах их жизненного цикла. Разрабатываемый программно-аналитический комплекс представлен на примере модели интеллектуальной системы, применяемой для контроля и анализа получаемых компетенций обучающихся, построенной на основе онтологического подхода, модели непрерывного улучшения качества, позволяющей определить взаимодействие бизнес-процессов, их последовательность и контрольные показатели эффективности. Разработана схема узла нейронной сети программно-аналитического комплекса, способная к обучению на основе данных. Представленная схема узла нейронной сети предполагает применение алгоритма обучения с учителем, когда на вход поступает тренировочный набор данных.

**Ключевые слова:** дополнительное профессиональное образование, онтология, программно-аналитический комплекс, профессиональные компетенции, узел нейронной сети, искусственный нейрон, метод обучения нейронной сети.

**Цитирование:** Антонов, В.В. Концепция программно-аналитического комплекса образовательного процесса на основе онтологии и искусственных нейронных сетей / В.В. Антонов, Г.Г. Куликов, Л.А. Кромина, Л.Е. Родионова, А.Р. Фахруллина, З.И. Харисова // *Онтология проектирования*. – 2021. – Т.11, №3(41). – С. 339-350. – DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-3-339-350.

### Введение

Четвёртая промышленная революция влияет на формирование нового подхода к образованию, основанного на массовом внедрении информационных технологий (ИТ) во все сферы деятельности общества. Выпускникам ВУЗов необходимо владеть навыками работы в условиях применения систем искусственного интеллекта (ИИ), Интернета вещей, биотехнологий и нейротехнологий. Источниками получения навыков могут быть как объективизированные знания, переведённые в форму, доступной для потребителя, так и экспертные знания, которые не зафиксированы в информационных хранилищах. При этом знания должны постоянно совершенствоваться и накапливаться в автоматизированных базах знаний систем управления для их эффективного применения в дальнейшем. Развитие сферы ИТ приводит к необходимости постоянного изменения и управления образовательным процессом в области разработки и внедрения новых ИТ, использования нейронных сетей (НС) [1-4]. Одним из способов

управления образовательным процессом является разработка программно-аналитических комплексов (ПАК), призванных обеспечить информационное сопровождение контроля и анализа получаемых компетенций в процессе обучения со стороны ВУЗа и предприятия.

Для формализации знаний, имеющих качественные характеристики организации управления при динамическом изменении бизнес-процессов (БП), применяются теория нечётких множеств, методы ИИ и НС. Принципы непрерывного совершенствования БП на основе цикла «планирование-выполнение-проверка-действие» (*Plan – Do – Check – Act, PDCA*) является одним из направлений Индустрии 4.0 в рамках перехода к управлению интеллектуальными системами в режиме постоянного взаимодействия с внешней средой.

## 1 Модель непрерывного совершенствования процессов дополнительного профессионального образования

Основной целью развития и реализации дополнительного профессионального образования (ДПО) является обеспечение качественным образованием сотрудников организаций в непрерывном производственном процессе. Для обеспечения непрерывного совершенствования учебного процесса на всех этапах жизненного цикла (ЖЦ) образовательной программы ДПО целесообразно использовать ПАК для контроля и анализа получаемых компетенций в процессе обучения как со стороны учебного заведения, так и со стороны контролирующих процесс обучения органов (ведомств и министерств РФ) и заинтересованных предприятий.

В области управления БП актуальны исследования, основанные на онтологическом подходе [5, 6]. Правила взаимодействия БП и информационных ресурсов в ПАК строятся на основе теории множеств, что позволяет разработать формальную модель [3]. Для управления и повышения качества БП и построения модели применяется цикл *PDCA* (цикл Шухарта–Деминга) [7, 8]. Такая модель позволяет определить правила взаимодействия БП, выявить объекты в ПАК, отразить последовательность БП и контрольные показатели эффективности. Модель непрерывного совершенствования БП ДПО представлена на рисунке 1.

Для организации обучения по программам ДПО в процессе планирования (*Plan*) контролирующими органами и ведомствами определяются основные требования к процессу подготовки обучающихся по ДПО, разрабатываются нормативные документы. Определение перечня необходимого программного обеспечения, оборудования, лабораторий и др. представлено в виде функции  $Z(N)$ , отражающей регламентирующую документацию для организации учебного процесса (планы, рабочие программы, положения практик и т.д.), где  $N = \{n_1, \dots, n_d\}$  – множество целей и задач процессов обучения, включающее программы профессиональной переподготовки,  $d$  – количество целей и задач.

На каждом этапе описываемого БП, профессиональные компетенции  $\Phi(Ob)$  обучаемого  $Ob$  могут быть оценены функцией, отражающей трудовые действия  $F = \{f_1, \dots, f_i\} \in Q$ . Необходимые компетенции программ ДПО, установленные со стороны государства (профессиональные стандарты, справочник профессиональных компетенций и т.д.), могут быть представлены множеством функций  $\Phi(Ob) \supseteq F$ , где  $Q$  – множество компетенций, удовлетворяющих требованиям государства и работодателей, т.е. эталонная модель обучаемого.

Обобщённые трудовые функции и действия обучаемого по программам ДПО определяются значением величины  $\Phi'(Ob)$  на этапе проверки (*Check*) в виде итоговой аттестации. На завершающем этапе – действие (*Act*), появляется возможность анализа выполнения требований как со стороны контролирующих органов, так и со стороны работодателей, определяют новые и востребованные направления программ ДПО, в соответствии с профессиональными стандартами и соответствующими требованиями работодателей, обеспечивающими конкурентоспособность реализации программ ДПО.

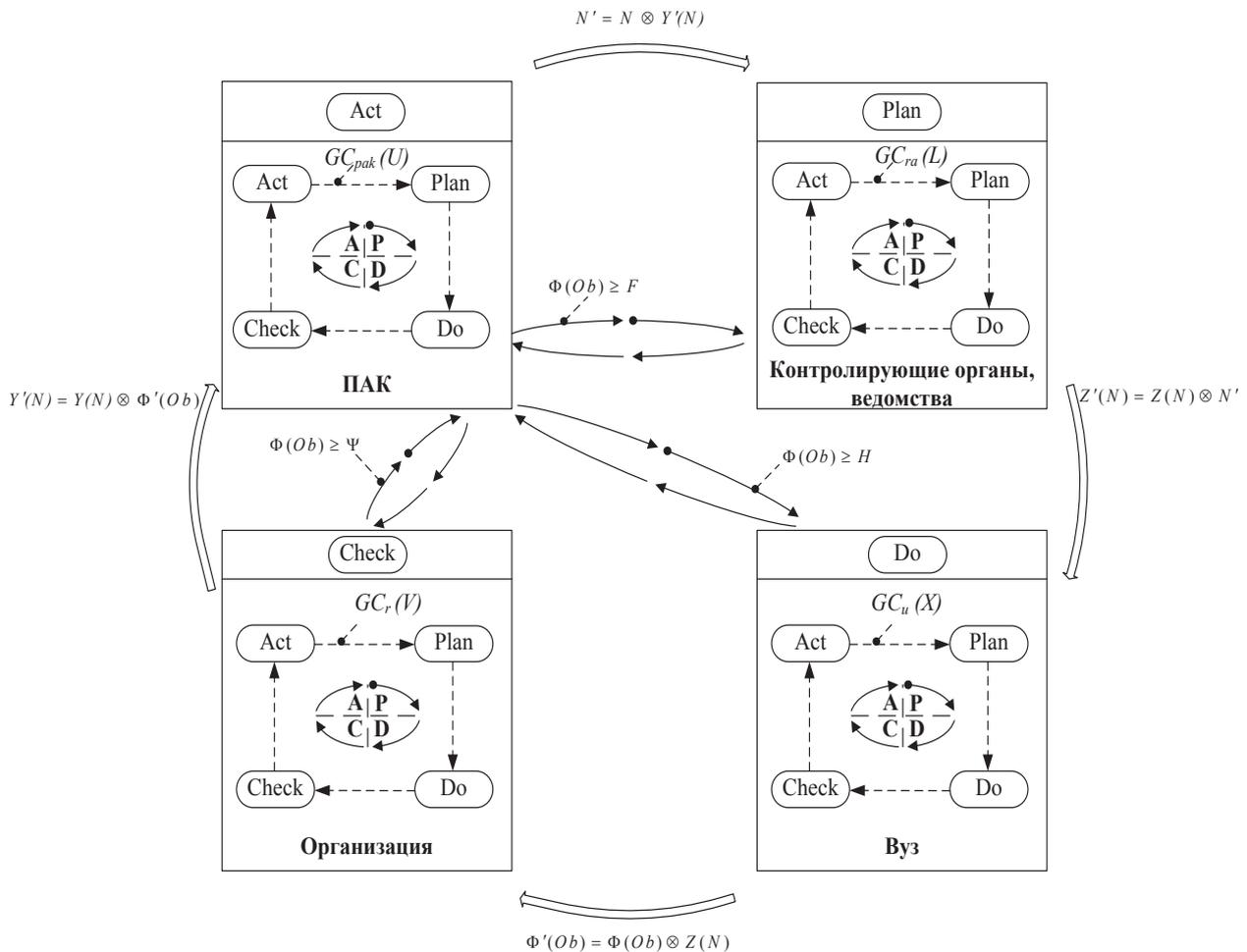


Рисунок 1 – Модель непрерывного совершенствования БП ДПО

На этапе выполнения (*Do*) ВУЗами составляются учебные планы, положения и рабочие программы дисциплин. В образовательном процессе программ ДПО объект  $Ob$  осваивает новые необходимые знания и умения новыми значениями  $\Phi'(Ob)$ , имеет отражение в виде полилинейной функции объектов некоторой категории  $f: \Phi(Ob) \times Z(N) \rightarrow \Phi'(Ob)$ . Исходя из полилинейности отображения и применив Первую теорему об изоморфизме [9], можно прийти к коммутативности диаграммы, представимой формулой:

$$\begin{cases} f: \Phi(Ob) \times Z(N) \rightarrow \Phi'_1(Ob) \\ g: \Phi(Ob) \times Z(N) \rightarrow \Phi'_2(Ob) \end{cases} \Rightarrow \exists h: \Phi'_1(Ob) \rightarrow \Phi'_2(Ob)$$

Т.е. композиция морфизмов вдоль любого направленного пути зависит только от начала и конца пути, а в данном случае достижение необходимого значения объектом  $Ob$  новых необходимых знаний и умений может быть получено по разным траекториям, что открывает возможности оптимизации процесса [10]. Универсальный объект этой диаграммы есть тензорное произведение  $\Phi(Ob)$  и  $Z(N)$ , т.е. имеем формулу:

$$\Phi'(Ob) = \Phi(Ob) \otimes Z(N), \quad (1)$$

где знак  $\otimes$  – тензорное произведение.

Все объекты рассматриваемой предметной области (ПрО) представлены значениями своих параметров. Для формирования различных альтернативных цепочек можем использовать упорядочение объектов по их схожести методом кластеризации, представляя объекты векторами. Числовые параметры таких векторов являются атрибутами соответствующих объектов и могут интерпретироваться в качестве геометрического расположения объекта в некотором пространстве. Учёт нечёткости (или неполноты) данных о свойствах объектов приводит к размытости границ кластеров и нечёткой кластеризации.

Выбор любой альтернативной траектории образовательного процесса сводится к варианту выбора учитываемых компонент и осуществляется по совокупности сложных нечётких критериев [9].

В ПАК необходимо применение непрерывной информационной поддержки ЖЦ процессов [10]. На стадиях ЖЦ рассматриваемого процесса возможно выделение подмножеств критериев оценок качества компетенций с разных позиций участников процесса:

$GC_u(X)$  – ВУЗа;

$GC_r(V)$  – организации;

$GC_{ra}(L)$  – контролирующих ведомств и органов;

$GC_{pak}(U)$  – администратора ПАК.

Усиление контроля со стороны государства отражается в требованиях к обучающимся – подмножество  $L = \{l_1, \dots, l_k\}$ ; ВУЗы определяют требования в виде подмножества  $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ , которое используется в основных критериях. Все требования анализируются и контролируются в подмножестве  $U = \{u_1, \dots, u_j\}$ , что позволяет своевременно вносить изменения в процесс обучения.

Организации определяют требования к трудовым действиям, необходимым умениям и знаниям сотрудников, что может быть формализовано в виде подмножества  $V = \{v_1, \dots, v_m\}$ .

В качестве ограничений могут быть использованы требования к уровню необходимых знаний и умений обучаемых со стороны:

- работодателей в виде функции  $\Psi = \{\psi_1, \dots, \psi_{i_2}\} \in M$ ;
- ВУЗа в виде функции  $H = \{h_1, \dots, h_{i_3}\} \in M$ .

Здесь  $M$  – множество требований к специалисту из профессионального стандарта, отражённое в обобщённых функциях.

Система, позволяющая достичь поставленные цели и задачи, может быть представлена

$$\begin{cases} \Phi(Ob) \supseteq \Psi \\ \Phi(Ob) \supseteq H \\ \Phi(Ob) \supseteq F \end{cases} \quad (2)$$

Требования профессионального стандарта, определяющие полученный опыт, могут быть представлены в виде функции, зависящей от множества целей и задач реализации ДПО  $Y(N)$ . При изменениях требований формируется множество  $Y'(N) = Y(N) \otimes \Phi(Ob)$ , для которого справедливо  $Y'(N) \supseteq \Phi(Ob)$ . На основании данных требований может быть сформировано множество уточнённых целей и задач  $N'$ , представленных формулой

$$N' = N \otimes Y'(N) \quad (3)$$

Формирование новых регламентирующих документов может быть представлено формулой

$$Z'(N) = Z(N) \otimes N' \quad (4)$$

Таким образом, разработана формальная модель непрерывного совершенствования БП ДПО, что позволяет сформировать единое хранилище данных ПАК.

## 2 Структура ПАК

Эффективность использования онтологического подхода при проектировании систем с ИИ отмечается в [11-13]. Для формирования структуры ПАК была построена онтологическая модель (см. рисунок 2). В качестве программного средства для создания онтологии использован редактор онтологий *Protégé* и плагин *OntoGraph*.

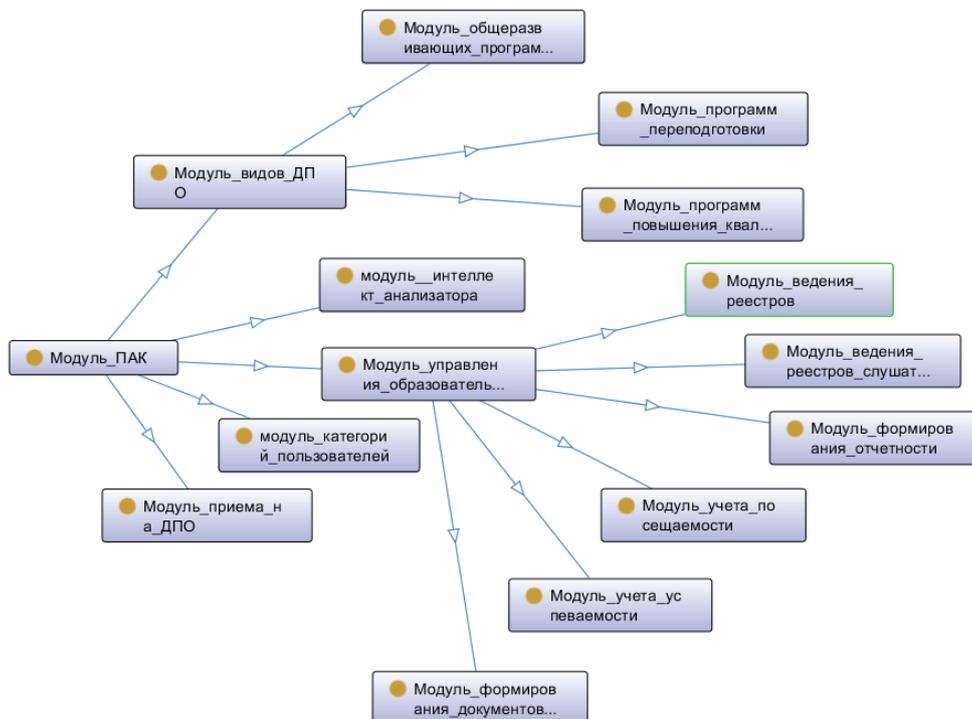


Рисунок 2 – Структура ПАК

Модель онтологии ПАК может быть представляется упорядоченной тройкой следующего вида [14, 15]:

$$PAK = \langle M, R, U \rangle,$$

где  $M$  – множество модулей ПАК;

$R$  – множество отношений между модулями ПАК;

$U$  – множество функций, выполняемых модулями ПАК.

Перечень модулей ПАК можно представить как конечное множество вида  $M = \{M_1, \dots, M_n\}$ .

Элементы множества  $M$  описываются  $m$  признаками  $P = \{p_1, \dots, p_m\}$ . Каждый элемент  $M$  имеет вид  $M_i = \{p_1^i, \dots, p_j^i, \dots, p_k^i\}$ , где  $k$  – количество экземпляров  $j$ -го признака  $p$  элемента  $M_i$ .

Перечень функций модулей можно представить как конечное множество вида  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ . Элементы множества  $U$  описываются парой следующего вида  $u_i = \{name, source\}$ , где  $name$  – название модуля,  $source$  – множество функций модуля,  $i = 1, \dots, n$ .

Модель онтологии ПАК получает следующий вид:  $O^{PAK} = \{PAK, R, U\}$ .

## 3 Схема узла нейронной сети ПАК

Системы, основанные на искусственных НС, позволяют решать различные задачи такие, как распознавание образов, выполнение прогнозов, оптимизацию, управление [16-18].

Разработка ПАК для контроля и анализа получаемых в процессе обучения по программам ДПО компетенций предусматривает наличие узла НС, представляющего собой схему искус-

ственного нейрона, соответствующую формальной модели непрерывного совершенствования БП на основе цикла *PDCA* (см. рисунок 3).

В разделе *Plan* входным сигналом является величина, соответствующая компетенциям обучаемого –  $\Phi(Ob)$ . Весом выступает вектор из трёх элементов:

- множество требований к уровню обучаемых со стороны работодателей –  $\Psi$ ;
- множество целей и задач процесса обучения –  $N$ ;
- множество требований к компетенциям обучаемых со стороны государства (профессиональные стандарты, справочник профессиональных компетенций и т.д.) –  $F$ .

В первом блоке сумматора раздела *plan* выполняется сравнение компетенций обучаемого с требованиями к рассматриваемым компетенциям обучаемых со стороны государства. Если компетенции обучаемого превышают требования государства, то в ПАК происходит корректировка вектора веса в разделе множества целей и задач, что может быть достигнуто, например, повышением уровня квалификации и т.д. Если требования государства превышают компетенции обучаемого, то осуществляется переход ко второму блоку сумматора. Здесь, вектор из трёх описанных элементов является входом, а весом выступают требования ВУЗа к уровню обучаемых по программам ДПО.

Во втором блоке сумматора реализуется формирование регламентирующей документации для организации учебного процесса (планы, рабочие программы, положения практик и т.д.) на основе множества целей и задач  $Z(N)$ .

Раздел «*Do, check*» на представленной схеме узла НС предполагает выполнение процесса обучения (согласно графику обучения и расписанию проводятся учебные занятия, в том числе и на материально-технической базе предприятия). Входом, в данном случае, также является величина, соответствующая компетенциям обучаемого  $\Phi(Ob)$ , вес представлен документацией для организации учебного процесса  $Z(N)$ . Блок сумматора раздела «*Do, check*» направлен на пополнение компетенций новыми значениями.

Раздел «*Act*» получает на вход компетенции, пополненные новыми значениями  $\Phi'(Ob)$ , весом является вектор из двух элементов:

- требования к уровню обучаемых со стороны предприятий-работодателей  $\Psi$ ;
- требования к компетенциям обучаемых со стороны государства (профессиональные стандарты, справочник профессиональных компетенций и т.д.)  $F$ .

Сумматор раздела «*Act*» выявляет соответствие компетенций, пополненных новыми значениями  $\Phi'(Ob)$ , требованиям к уровню обучаемых со стороны предприятий-работодателей  $\Psi$ , а также требованиям к компетенциям обучаемых со стороны государства  $F$ .

В случае, когда компетенции, пополненные новыми значениями  $\Phi'(Ob)$  превышают требования к уровню обучаемых со стороны предприятий-работодателей  $\Psi$ , а также требования к компетенциям обучаемых со стороны государства  $F$ , в ПАК происходит корректировка вектора веса в разделе множества целей и задач, связанная с уточнением целей. Это может быть достигнуто аналогично разделу «*Plan*», например, повышением уровня квалификации и т.д.

Если требования к уровню обучаемых со стороны предприятий-работодателей  $\Psi$ , а также требования к компетенциям обучаемых со стороны государства  $F$  не достигнуты, то процесс обучения следует начать сначала. При этом необходимо выполнить корректировку значений вектора веса раздела «*Plan*», направленную на понижение требований к результатам обучения.

Результат итоговой аттестации, являющийся выходом из сумматора раздела «*Act*» заносится в блок запоминания состояний полученного опыта  $Y'(N)$ .

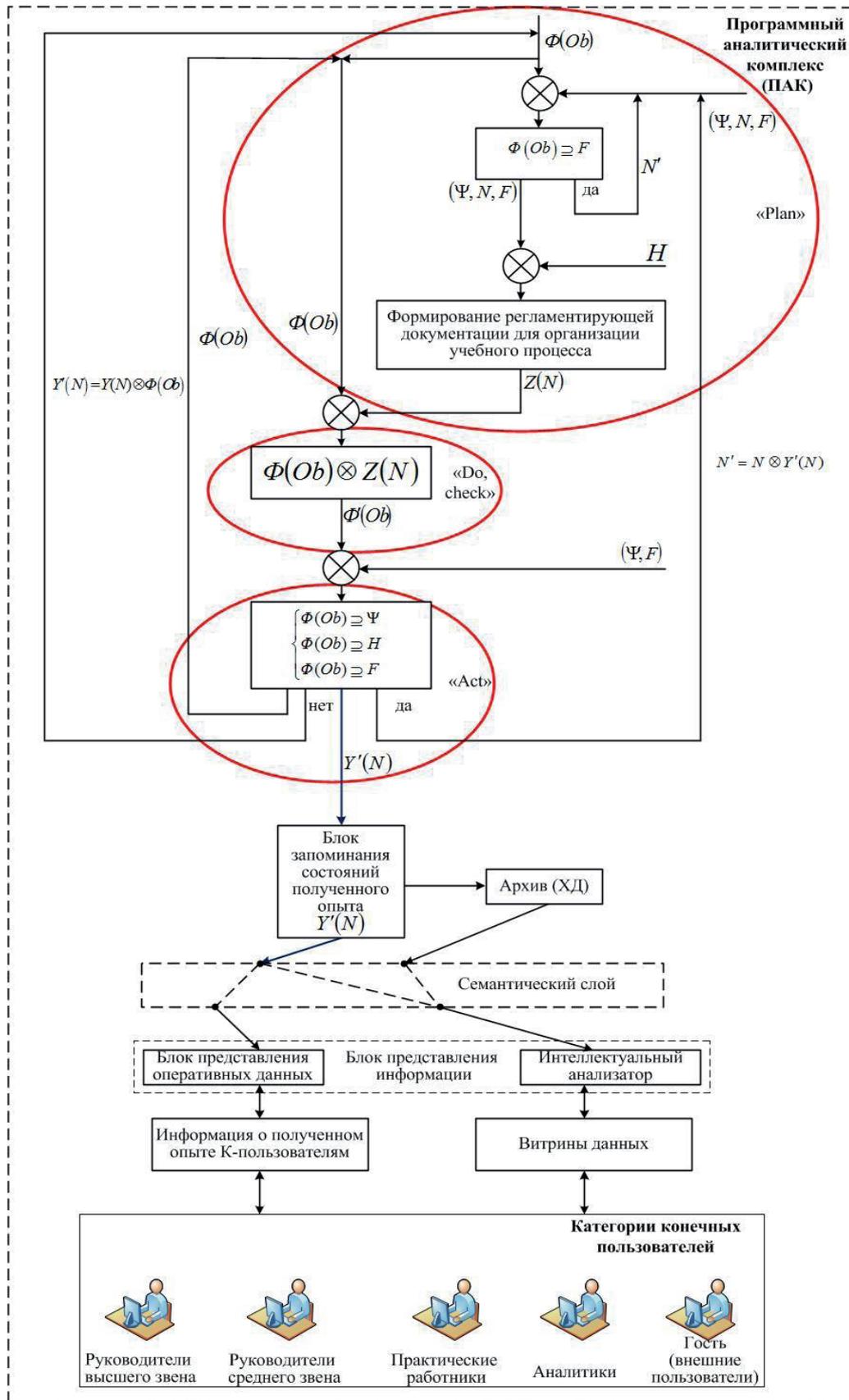


Рисунок 3 – Схема узла ИС на основе цикла PDCA

Множества объектов каждого раздела (рисунок 3) образуют категории, функторные отношения между которыми задаются «сопряжёнными» функторами [19, 20]. Это позволяет применить к каждому приведённому разделу одинаковые выводы, подробно рассматривать любой из них и использовать наиболее важное свойство сопряжённых функторов — их непрерывность.

Для полноценного функционирования узла НС следует уделять особое внимание её способности к обучению на основе данных, поступающих из внешней среды [21, 22]. В настоящее время НС обучают с учителем или без учителя. Выбор метода зависит от условий, в которых обучается НС.

Представленная схема узла НС предполагает применение алгоритма обучения с учителем, когда на вход поступает тренировочный набор данных, на основе которых НС выявляет зависимости и реагирует на этот набор данных. Таким образом, знания, полученные от учителя, будут передаваться в сеть в полном объёме. После завершения обучения учителя можно отключить и перейти в автономную работу НС.

Представленная модель узла НС также может быть применима для автоматизации других БП в сфере образования.

## Заключение

Предложена концепция ПАК образовательного процесса. Разработанные модели целесообразно применять при реализации ПАК в целях управления процессом обучения.

Построенная схема узла НС предоставляет возможность осуществлять реализацию формальной модели непрерывного совершенствования БП на основе цикла *PDCA*. Результатом работы узла НС является возможность внесения необходимых корректировок в вектор веса, в требования к уровню обучаемых со стороны предприятий-работодателей, в множество целей и задач процесса обучения или в требования к компетенциям обучаемых со стороны государства.

## Благодарности

Исследование проводится при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках основной части государственного задания высшим учебным заведениям № FEUE-2020-0007.

## Список источников

- [1] **Антонов, В.В.** Теоретические и прикладные аспекты построения моделей программных систем / Г.Г. Куликов, В.В. Антонов, Д.В. Антонов // LAP, Германия. 2011. 134 с.
- [2] **Рутковская, Д.** Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечёткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. — М.: Горячая линия-Телеком, 2008. 383 с.
- [3] **Хайкин, С.** Нейронные сети: полный курс = Neural Networks: A Comprehensive Foundation / С. Хайкин. 2-е изд. — М.: Вильямс, 2006. 1104 с.
- [4] **Редозубов, А.Д.** Формализация смысла. Часть 1 / А.Д. Редозубов // Онтология проектирования. – 2021. – Т.11, №2(40). – С.144-153. – DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-2-144-153.
- [5] **Shaaban, A.M.** Ontology-based security tool for critical cyber-physical systems / A.M. Shaaban, T. Gruber, C. Schmittner // Proceedings of the 23rd International Systems and Software Product Line Conference. Vol. B. 2019. P.207-210.
- [6] ГОСТ Р ИСО 9000:2008. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2009. 61 с.
- [7] **Нив, Г.** Организация как система. Принципы построения устойчивого бизнеса Эдвардса Деминга.—М.: Альпина Паблишер, 2011. 370 с.

- [8] **Шубников, А.В.** Симметрия в науке и искусстве / А.В. Шубников, В.А. Копчик // Изд. 3-е, дополн. Москва–Ижевск: Ин-т компьютерных исслед., 2004. 560 с.
- [9] **Ильясов, Б.Г.** Основы теории систем и системного анализа / Б.Г.Ильясов, И.Б.Герасимова, Е.А.Макарова, Н.В.Хасанова, Л.Р.Черняховская. – Уфа: УГАТУ, 2014. 217 с.
- [10] **Сенник, Ю.С.** Жизненный цикл информационных систем / Ю.С. Сенник, Р.И. Гребенников // Системный анализ и прикладная информатика. 2015. №2. С.4-9. <https://cyberleninka.ru/article/n/zhiznennyu-tsiklinformatsionnyh-sistem>.
- [11] **Бездушный, А.Н.** Место онтологий в единой интегрированной системе РАН / А.Н. Бездушный, Э.А. Гаврилова, В.А. Серебряков, А.В. Шкотин // Современные технологии в информационном обеспечении науки. Сборник научных трудов. Под редакцией Н.Е. Каленова. 2003. Москва: Научный мир. С.97-115. <http://www.ras.ru/ph/0006/3q3T33RC.html>.
- [12] **Смирнов, А.В.** Онтологии в системах искусственного интеллекта: способы построения и организации (часть 1) / А.В Смирнов, М.П. Пашкин, Н.Г. Шилов, Т.В Левашова // Новости искусственного интеллекта. 2002. №1(49). С.62–82.
- [13] **Павлов, С.В.** Онтологическая модель интеграции разнородных по структуре и тематике пространственных баз данных в единую региональную базу данных / С.В. Павлов, О.А. Ефремова // Онтология проектирования. – 2017. – Т. 7, №3(25). – С.323-333. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-3-323-333.
- [14] **Staab, S.** Handbook on Ontologies / S. Staab, R. Studer // Berlin: Springer Science & Business Media, 2009. 832p.
- [15] **Beinstingel, A.** A hybrid analytical-numerical method based on Isogeometric Analysis for determination of time varying gear mesh stiffness Mechanism and Machine Theory / A. Beinstingel, M. Keller, M. Heider, V. Pinnekamp, S. Marburg// 2021. 160 P.
- [16] **Фаустова, К.И.** Нейронные сети: применение сегодня и перспективы развития / К.И. Фаустова // Территория науки. Воронежский экономико-правовой институт. 2017. №4, С.83–87.
- [17] **Калинин, В.Ф.** Анализ методов представления данных искусственной нейронной сети для управления электроэнергетическими системами / В.Ф. Калинин, Н.М. Зяблов, С.В. Кочергин, А.В. Кобелев, Д.А. Джапарова // Вестник Тамбовского государ. технического университета. 2017. №4. С.609–616.
- [18] **Воронов, И.В.** Обзор типов искусственных нейронных сетей и методов их обучения / И.В. Воронов, Е.А. Политов, В.М. Ефременко // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2007. №3(61), С.38-42.
- [19] **Антонов, В.В.** Системная модель интеллектуальной предметно–ориентированной профайлинг-системы / В.В. Антонов, З.И. Харисова, З.Р. Мансурова, Л.Е. Родионова, Н.Р. Калимуллин, Г.Г. Куликов // Онтология проектирования. – 2020. – Т.10, №3(37). – С.338-350. – DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-3-338-350.
- [20] **Куликов, Г.Г.** Адаптивная модель совершенствования учебного процесса с использованием информационных технологий / Г.Г. Куликов, В.В. Антонов, М.А. Шилина, А.Р. Фахруллина // Технологии цифровой обработки и хранения информации: матер. межд. конф. Уфа: УГАТУ, 2015. Т.1. С.194-198.
- [21] **Ковалев, С.П.** Теоретико-категорный подход к проектированию программных систем / С.П. Ковалев // Фундамент. и прикл. матем., 2014, том 19, выпуск 3, С.111–170.
- [22] **Gianni, D.** Modeling and simulation-based systems engineering handbook / D. Gianni, A. D’Ambrogio A. Tolk (eds.) // CRC Press, London, 2014. 513 p.

## Сведения об авторах



**Антонов Вячеслав Викторович**, 1956 г. рождения. Окончил Башкирский государственный университет (1979), к.т.н. (2007), д.т.н. (2015). Заведующий кафедрой автоматизированных систем управления Уфимского государственного авиационного технического университета, профессор кафедры управления в органах внутренних дел Уфимского юридического института МВД России. В списке научных трудов более 130 работ в области построения интеллектуальных систем. AuthorID (РИНЦ): 530537. AuthorID (Scopus): 57200254522; ResearcherID (WoS): AАН-5121-2019. [antonov.v@bashkortostan.ru](mailto:antonov.v@bashkortostan.ru).

**Куликов Геннадий Григорьевич**, 1948 г. рождения. Окончил Уфимский авиационный институт по специальности «Автоматизация машиностроения» (1971), д.т.н. (1991). Профессор кафедры автоматизированных систем управления Уфимского государственного авиационного технического университета. В списке научных трудов более 160 работ в области автоматизированных систем управления, управления силовыми установками летательных аппаратов, построения интеллектуальных систем. AuthorID (РИНЦ): 3506. Author ID (Scopus): 7102426624. [gennadyg\\_98@yahoo.com](mailto:gennadyg_98@yahoo.com).





**Родионова Людмила Евгеньевна**, 1984 г. рождения. Окончила Уфимский государственный авиационный технический университет (2007), к.т.н. (2019). Доцент кафедры автоматизированных систем управления Уфимского государственного авиационного технического университета. В списке научных трудов 10 работ в области проектирования программных аналитических комплексов на основе моделей и методов декартово замкнутой категории. AuthorID (РИНЦ): 852968. Author ID (Scopus): 57219160976 ORCID 0000-0003-4041-0365; Researcher ID (WoS): AAU-3498-2020. [lurik@mail.ru](mailto:lurik@mail.ru).

**Кромина Людмила Александровна**, 1983 г. рождения. Окончила Уфимский государственный авиационный технический университет (2005), к.т.н. (2012), доцент (2019). Доцент кафедры автоматизированных систем управления Уфимского государственного авиационного технического университета. В списке научных трудов около 40 работ в области управления в социальных и экономических системах. AuthorID (РИНЦ): 38216513; Author ID (Scopus): ORCID 0000-0002-5226-0512; Researcher ID (WoS): AAO-7905-2021. [luyda-kr@yandex.ru](mailto:luyda-kr@yandex.ru).



**Фахруллина Альмира Раисовна**, 1982 г. рождения. Окончила Кумертауский филиал Уфимского государственного авиационного технического университета (2004), к.т.н. (2017), доцент (2020). Директор филиала Уфимского государственного авиационного технического университета в г. Кумертау. В списке научных трудов около 50 работ в области математического и программного обеспечения. AuthorID (РИНЦ): 31294902; Author ID (Scopus): 57219166246 ORCID 0000-0002-3482-4169; Researcher ID (WoS): AAT-3738-2021. [almirafax@mail.ru](mailto:almirafax@mail.ru)

**Харисова Зарина Ирековна**, 1991 г. рождения. Окончила Уфимский государственный авиационный технический университет (2014), к.т.н. (2018). Доцент кафедры управления в органах внутренних дел Уфимского юридического института МВД России. В списке научных трудов около 10 работ в области построения интеллектуальных систем. AuthorID (РИНЦ): 819031. Author ID (Scopus): 57194088844; Researcher ID (WoS): O-1679-2017. [zarinaid@mail.ru](mailto:zarinaid@mail.ru).



Поступила в редакцию 09.07.2021, после рецензирования 27.07.2021. Принята к публикации 03.09.2021.

## The concept of a software and analytical complex of the educational process based on ontology and artificial neural networks

V.V. Antonov<sup>1</sup>, G.G. Kulikov<sup>1</sup>, L.A. Kromina<sup>1</sup>, L.E. Rodionova<sup>1</sup>,  
A.R. Fakhrullina<sup>1</sup>, Z.I. Kharisova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russia

<sup>2</sup>Ufa Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Ufa, Russia

### Abstract

Effective management of the learning process of additional professional education programs at the university is conditioned by providing unique needs of students as requested by employers in the real sector of the economy in accordance with the selected competencies and areas of training. At the same time, when solving a number of tasks, the algorithm of which is unknown, there are more and more actively developed and implemented systems using artificial neural networks, which allow classifying and analyzing data for making managerial decisions. Based on such widespread use of artificial neural networks, there is an increasing need for systematization of data to improve the performance of software analytical complex processing, storage, search and analysis of data, for the implementation of training programs at all stages of the life cycle, taking into account uncertainty. The developed software-analytical complex is presented on the example of a model of an intelligent system used to control and analyze the acquired competencies of students, built on the basis of an ontological approach, a model of continuous quality improvement, which makes it possible to determine the interaction of business processes, their sequence and performance benchmarks. To implement this theory, a neural network node scheme of a software analytic complex capable of data-driven learning has been developed. The

presented scheme of a neural network node assumes the use of a supervised learning algorithm when a training dataset arrives at the input.

**Key words:** *additional professional education, professional competencies, neural network node, artificial neuron, neural network training method.*

**Citation:** *Antonov VV, Kulikov GG, Kromina LA, Rodionova LE, Fakhrullina AR, Kharisova ZI.* The concept of a software and analytical complex of the educational process based on ontology and artificial neural networks [In Russian]. *Ontology of Designing.* 2021; 11(3): 339-350. - DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-3-339-350.

**Acknowledgment:** *The study is carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the main part of the state assignment to higher educational institutions No. FEUE-2020-0007.*

## List of figures

Figure 1 - Model of continuous improvement of business processes of additional professional education

Figure 2 - SAC structure

Figure 3 - Neural network node diagram based on PDCA cycle

## References

- [1] **Kulikov GG, Antonov VV, Antonov DV.** Theoretical and applied aspects of building software systems models [In Russian]. LAMBERT Academic Publishing, Germany. 2011. 134 p.
- [2] **Rutkovskaya D, Pilinsky M, Rutkovsky L.** Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems [In Russian]. Moscow: Hotline-Telecom, 2008. 383 p.
- [3] **Haykin S.** Neural Networks: A Complete Course = Neural Networks: A Comprehensive Foundation [In Russian]. 2nd ed. Moscow: Williams, 2006. 1104 p.
- [4] **Redozubov AD.** Formalization of the meaning. Part 1 [In Russian]. *Ontology of Designing.* 2020; 11(2): 144- 153. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-2-144-153.
- [5] **Shaaban AM, Gruber T, Schmittner C.** Ontology-based security tool for critical cyber-physical systems. Proceedings of the 23rd International Systems and Software Product Line Conference. 2019: 207-210.
- [6] GOST R ISO 9000:2008. Quality management systems. General statements and glossary [In Russian]. Moscow: IPK Publishing house of standards. 2009. 61 p.
- [7] **Niv H.** Organization as a system. Principles of building a sustainable business by Edwards Deming [In Russian]. Moscow: Alpina Publisher, 2011. 370 p.
- [8] **Shubnikov AV, Koptsik VA.** Symmetry in Science and Art [In Russian]. Ed. 3-th supplemented. Moscow-Izhevsk: Institute of computer research, 2004. 560 p.
- [9] **Ilyasov BG, Gerasimova IB, Makarova EA, Khasanova NV, Chernyakhovskaya LR.** Fundamentals of systems theory and systems analysis [In Russian]. Ufa: UGATU, 2014. P.217.
- [10] **Sennik YUS, Grebennikov RI.** Life cycle of information systems [In Russian]. *Systems Analysis and Applied Informatics.* 2015; 2: 4-9. <https://cyberleninka.ru/article/n/zhiznenny-tsikl-informatsionnyh-sistem>.
- [11] **Bezduzhnyi AN, Gavrilova EA, Serebryakov VA, Shkotin AV.** The Place of Ontologies in the Unified Integrated System of RAS. Modern technologies in information support of science [In Russian]. Collection of scientific papers. Edited by N.E. Kalenov. Moscow, 2003. Publisher: Scientific World (Moscow). P.97-115. <http://www.ras.ru/ph/0006/3q3T33RC.html>.
- [12] **Smirnov AV, Pashkin MP, Shilov NG, Levashova TV.** Ontologies in Artificial Intelligence Systems: Methods of Construction and Organization (Part 1) [In Russian]. *Artificial Intelligence News.* 2002; 1(49): 62-82.
- [13] **Pavlov SV, Efremova OA.** Ontological model for integration of structurally heterogeneous spatial databases of various subject areas into a uniform regional database [In Russian]. *Ontology of designing.* 2017; 7(3): 323-333. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-3-323-333.
- [14] **Staab S, Studer R.** Handbook on Ontologies. Berlin: Springer Science & Business Media, 2009. 832 p.
- [15] **Beinstingel A, Keller M, Heider M, Pinnekamp B, Marburg S.** A hybrid analytical-numerical method based on Isogeometric Analysis for determination of time varying gear mesh stiffness Mechanism and Machine Theory, 2021. 160 p.
- [16] **Faustova KI.** Neural networks: application today and prospects for development [In Russian] Territory of Science. Voronezh Institute of Economics and Law. 2017; 4: 83-87.

- [17] **Kalinin VF, Zyablov NM, Kochergin SV, Kobelev AV, Dzhaparova DA.** Analysis of artificial neural network data representation methods to control electric power systems [In Russian]. *Vestnik of Tambov State Technical University*. 2017; 4: 609-616.
- [18] **Voronov IV, Politov EA, Efremenko VM.** Review of types of artificial neural networks and their training methods [In Russian]. *Vestnik of Kuzbass State Technical University*. 2007; 3(61): 38-42.
- [19] **Antonov VV, Kharisova ZI, Mansurova ZR, Rodionova LE, Kalimullin NR, Kulikov GG.** System model of an intelligent domain-oriented profiling system [In Russian]. *Ontology of designing*. 2020; 10(3): 338-350. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-3-338-350.
- [20] **Kulikov GG, Antonov AA, Shilina MA, Fahrullina AR.** Adaptive model of educational process improvement using information technologies [In Russian]. *Technologies of Digital Processing and Information Storage: Proceedings of the International Conference*. Ufa: UGATU Publishing House, 2015; 1: 194-198.
- [21] **Kovalev SP.** Theoretical and categorical approach to software systems design [In Russian]. *Fundamental. and Appl. Math.*, 2014; 19(3): 111-170.
- [22] **Gianni ID., D'Ambrogio A., Tolk A.** Modeling and simulation-based systems engineering handbook. CRC Press, London, 2014. 513 p.
- 

## About the authors

**Vyacheslav Viktorovich Antonov** (b. 1956) graduated from Bashkir State University (1979), PhD (1985), D.Sc.Eng. (2015). Professor of the Department of Automated Control Systems, Ufa State Aviation Technical University. The list of scientific papers contains more than 30 works in the field of building intelligent decision support systems. AuthorID (RSCI): 530537. Author ID (Scopus): 57200254522; Researcher ID (WoS): AAH-5121-2019. [antonov.v@bashkortostan.ru](mailto:antonov.v@bashkortostan.ru).

**Gennady Grigorievich Kulikov** (b. 1948) graduated from Ufa Aviation Institute with a degree in Automation of Mechanical Engineering (1971), Doctor of Technical Sciences (1991). The Professor of the Automated control systems Department of the Ufa State Aviation Technical University. The list of his scientific works includes more than 160 works in the sphere of automated control systems and aircraft power plant control systems for construction of intelligent systems. AuthorID (RSCI): 3506. Author ID (Scopus): 7102426624. [gennadyg\\_98@yahoo.com](mailto:gennadyg_98@yahoo.com).

**Lyudmila Evgenievna Rodionova** (b. 1984) graduated from the Ufa State Aviation Technical University (2007), PhD (2019). Senior Lecturer of the Department of Automated Control Systems, Ufa State Aviation Technical University. The list of scientific papers contains about 10 works in the field of designing of software analytical complexes. AuthorID (RSCI): 852968. Author ID (Scopus): ORCID 0000-0003-4041-0365; Researcher ID (WoS): AAU-3498-2020. [lurik@mail.ru](mailto:lurik@mail.ru).

**Lyudmila Aleksandrovna Kromina** (b. 1983) graduated from the Ufa State Aviation Technical University (2005), Candidate of Technical Sciences (2012), Associate Professor (2019). Associate Professor at the Department of Automated Control Systems of the Ufa State Aviation Technical University. The list of her scientific works includes about 30 works in the field of management in social and economic systems. AuthorID (RSCI): 38216513; Author ID (Scopus): ORCID 0000-0002-5226-0512; Researcher ID (WoS): AAO-7905-2021. [luyda-kr@yandex.ru](mailto:luyda-kr@yandex.ru).

**Almira Raisovna Fakhrollina** (b. 1982) graduated from the Kumertau branch of Ufa State Aviation Technical University (2004), Candidate of Technical Sciences (2017), Associate Professor (2020). Director of the branch of Ufa State Aviation Technical University in Kumertau. The list of scientific works includes about 50 works in the field of mathematical and software. AuthorID (RSCI): 31294902; Author ID (Scopus): ORCID 0000-0002-3482-4169; Researcher ID (WoS): AAT-3738-2021. [\\_almirafax@mail.ru](mailto:_almirafax@mail.ru).

**Zarina Irekowna Kharisova** (b. 1991) graduated from the Ufa State Aviation Technical University (2014), PhD (2018). Associate professor of the Department of Management in the Internal Affairs bodies of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ufa Law Institute of the Ministry of Internal Affairs". The list of scientific papers contains about 10 works in the field of building intelligent systems. AuthorID (RSCI): 819031. Author ID (Scopus): 57194088844; Researcher ID (WoS): O-1679-2017. [zarinaid@mail.ru](mailto:zarinaid@mail.ru).

---

Received July 09, 2021. Revised July 27, 2021. Accepted September 03, 2021.

---