

Матэматычнае мадэляванне, лікавыя метады і комплексы праграм

УДК 004.942

DOI: <https://doi.org/10.52275/2223-5396-2024-14-2-54-62>

Е. А. Бущик, Н. И. Листопад

**МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА
УЧРЕЖДЕНИЯ СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ**

Во введении указан объект исследования – автоматизированная информационная система учреждения среднего специального образования. Целью исследования является разработка методики построения открытой информационной системы (цифрового двойника) учреждения среднего специального образования. Научная новизна исследования заключена в развитии технологии OSTIS (Open Semantic Technologies for Intelligent Systems) для проектирования онтологии бизнес-процессов в учреждении образования в виде графов знаний для унификации информации. Во введении обоснован выбранный авторами подход, пояснено в самом общем виде понятие OSTIS-системы. В основной части достаточно полно представлено описание OSTIS-системы, показано, что такое SC-код. Подробно изложена методика построения цифрового двойника учреждения среднего специального образования. В качестве основного компонента методики выбрана база знаний, дана характеристика структуры интеллектуальной системы. Описаны способы представления информации в технологии OSTIS. Представлена структура экспертной системы в виде графа, формализующего деятельность учреждения образования в OSTIS-системе. В OSTIS-системе разработаны графы, формализующие структурные единицы колледжа, структуры отделений как основных структурных подразделений колледжа, категории преподавателей колледжа. Также с помощью инструментов OSTIS-системы произведена формализация деятельности учреждения среднего специального образования. Спроектирована формализация организационной и учебной деятельности учреждения среднего специального образования в виде SC-кода. В заключении представлены основные результаты исследования, обозначены дальнейшие аспекты разработки открытой информационной системы учреждения среднего специального образования. Область применения полученных результатов исследования – рекомендации и технологии организации процессов цифровой трансформации в образовании на примере учреждения среднего специального образования.

Ключевые слова: цифровой двойник, экспертная система, база знаний, онтология, учреждение среднего специального образования, технология OSTIS.

Введение. Разработка автоматизированных информационных систем в каждом учреждении образования проходит индивидуально с использованием различных технологий программирования. Следовательно, переход к цифровой трансформации и создание единой республиканской информационно-образовательной среды, заложенной в Концепции цифровой трансформации процессов в системе образования Республики Беларусь на 2019–2025 годы [1], невозможен из-за отсутствия открытых систем и интероперабельности между этими системами [2].

В данном исследовании для разработки методики построения цифрового двойника учреждения среднего специального образования выбрана технология OSTIS – Open Semantic Technologies for Intelligent Systems [2]. OSTIS – это технологии компонентной поддержки жизненного цикла семантически совместимых интеллектуальных компьютерных систем нового поколения. Данная технология применена для онтологического описания бизнес-процессов в учреждении среднего специального образования и выработки соответствующих рекомендаций для повышения их эффективности.

Бущик Елизавета Александровна, аспирант каф. информационных радиотехнологий БГУИР (Беларусь); науч. рук. – Н. И. Листопад, д-р техн. наук, проф., зав. каф. информационных радиотехнологий БГУИР (Беларусь).

Адрес для корреспонденции: ул. П. Бровки, 6, 220013, г. Минск, Беларусь; e-mail: e.bushchik@bsuir.by

Листопад Николай Измайлович, д-р техн. наук, проф., зав. каф. информационных радиотехнологий БГУИР (Беларусь).

Адрес для корреспонденции: ул. П. Бровки, 6, 220013, г. Минск, Беларусь; e-mail: listopad@bsuir.by

Основная часть

Методика построения интеллектуального цифрового двойника. Для решения проблемы обеспечения открытости и бесшовной информационной интеграции подсистем внутри информационной системы учреждения образования и между системами в целом предлагается создание экспертной системы (ЭС), которая будет обеспечивать автоматизированный интеллектуальный мониторинг бизнес-процессов, выявлять риски и прогнозировать состояние. Обобщенная структура экспертной системы представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Структура экспертной системы

Блоки, изображенные на рисунке 1, присутствуют практически в любой экспертной системе. В целом процесс функционирования ЭС можно представить следующим образом: пользователь, желающий получить необходимую информацию, через пользовательский интерфейс посылает запрос к ЭС. Решатель на основе базы знаний генерирует и выдает пользователю подходящую рекомендацию, объясняя ход своих рассуждений при помощи подсистемы объяснений [3].

Построение базы знаний включает три этапа:

- описание предметной области;
- выбор модели представления знаний;
- приобретение знаний.

Первый шаг при построении базы знаний заключается в выделении предметной области, на решение задач которой ориентирована экспертная система. При этом необходимо:

- определить характер решаемых задач;
- выделить объекты предметной области;
- установить связи между объектами;
- выбрать модель представления знаний;
- выявить специфические особенности предметной области.

Для разработки баз знаний в данной работе выбрана технология OSTIS (OSTIS-система), в основе которой лежит четкое разделение процесса проектирования формального описания семантической модели разрабатываемой базы знаний от процесса реализации (интерпретации) этой модели на той или иной платформе. Данный факт позволяет обеспечить кросс-платформенную разработку интеллектуальных систем. Семантическая модель базы знаний интеллектуальной системы представляет собой формальную трактовку семантического пространства, которое известно интеллектуальной системе в текущий момент времени.

В основе базы знаний, построенной по технологии OSTIS, лежит иерархия предметных областей и соответствующих им онтологий, которая позволяет, с одной стороны, локализовать область решения тех или иных задач, а с другой – описать взаимосвязи между различными понятиями и обеспечить наследование их свойств.

В рамках рассматриваемой предметной области, охватывающей бизнес-процессы учреждения образования среднего специального уровня, была сформирована база знаний при помощи использования онтологического подхода, основанного на представлении информации в виде семантических сетей (графов знаний).

Технология OSTIS позволяет описывать все знания с помощью единого языка представления знаний – SC-кода, что обеспечивает синтаксическую и семантическую совместимость этих знаний и делает возможным интерпретировать знания не только людьми, но и компьютерными системами.

SC-код представляет собой ядро универсального открытого языка семантических сетей, являющегося результатом интеграции всевозможных языков семантических сетей, построенных на основе SC-кода, и задаваемого:

- фиксированным алфавитом (алфавитом SC-кода);
- постоянно расширяемым (открытым) семейством ключевых узлов, в состав которого входят все ключевые узлы всех интегрируемых языков.

SC-код – основной внутренний формальный универсальный абстрактный язык для представления информационных конструкций в OSTIS-systems. SC-код поддерживает различные типы данных, включая числа, строки, списки и другие структуры данных. Существует 3 основных внешних языка OSTIS-systems: SCs-код, SCn-код и SCg-код.

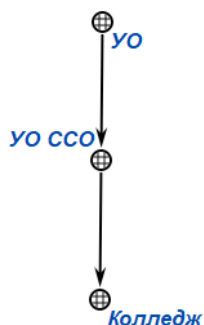
SCn-код – универсальные внешние языки OSTIS-систем, близкие языку внутреннего смыслового представления знаний. SCg-код представляет собой способ визуализации sc-текстов (информационных конструкций SC-кода) в виде рисунков этих абстрактных конструкций.

SCs-код представляет собой множество линейных текстов (sc.s-текстов), каждый из которых состоит из предложений (sc.s-предложений), разделенных друг от друга двойной точкой с запятой (разделителем sc.s-предложений). SCn-код является языком структурированного внешнего представления текстов SC-кода и представляет собой синтаксическое расширение SCs-кода, направленное на повышение наглядности и компактности текстов SCs-кода.

Проектирование базы знаний для цифрового двойника. В рамках данного исследования в базе знаний целесообразно провести классификацию понятий в рамках учреждения среднего специального образования. На рисунке 2 представлен узел множества учреждений образования (УО), включающий подмножество учреждений среднего специального образования (УО ССО), где явным представителем данного множества является колледж.

Для построения графовой онтологии использовались метки алфавита SC-кода, включающие:

- метку sc-узла;
- метку sc-ребра;
- метку sc-дуги общего вида;
- метку sc-дуги принадлежности;
- метку sc-дуги общего вида.




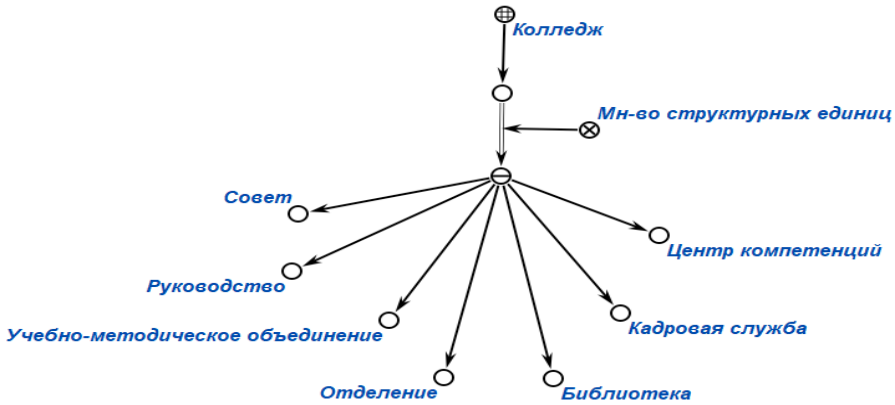
Пояснения:  – узел, содержащий некоторое множество, УО – учреждение образования, УО ССО – учреждение среднего специального образования.

Рисунок 2 – Формализация деятельности учреждения образования в OSTIS-системе

Для описания структурных единиц колледжа используется отношение разбиения (рисунок 3). Множество «Колледж» включает в себя множество структурных единиц: «Совет», «Руководство», «Учебно-методическое объединение», «Отделение», «Библиотека», «Кадровая служба», «Центр компетенций». К числу ключевых узлов SC-кода, определяющих разбиение множества sc-элементов по структурному признаку, относят ключевой sc-узел, обозначающий множество всевозможных sc-узлов, каждый из которых обозначает некоторое связующее множество sc-элементов.

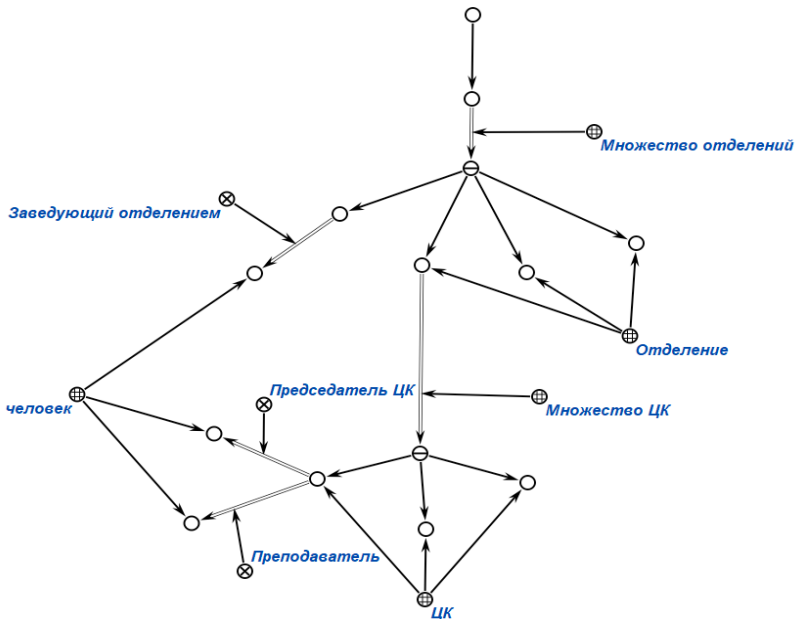


Пояснения: \ominus – узел, иллюстрирующий разбиение множества на более простые узлы.

Рисунок 3 – Формализация структурных единиц колледжа в OSTIS-системе

Множество отделений включает в себя подмножество цикловых комиссий (рисунок 4). Узел множества отделений описывается ролевым отношением, являющимся подмножеством отношения принадлежности, которое описывает связь ключевых узлов семантической сети с элементами обозначаемых ими классов. На рисунке 4 отражены такие ролевые отношения, как: «Заведующий отделением», «Председатель цикловой комиссии», «Преподаватель». По аналогии с рисунком 3 узел отделения делится на некоторые подмножества в зависимости от реализуемых специальностей колледжа, где, в свою очередь, отделение разбивается на цикловые комиссии.

Узлы «Заведующий отделением», «Председатель ЦК», «Преподаватель» входят в множество «Субъект».



Пояснение: ЦК – цикловая комиссия.

Рисунок 4 – Формализация структуры отделения колледжа в OSTIS-системе

Формализация категорий преподавателя достаточно проста и понятна и может быть представлена в виде графа на рисунке 5.

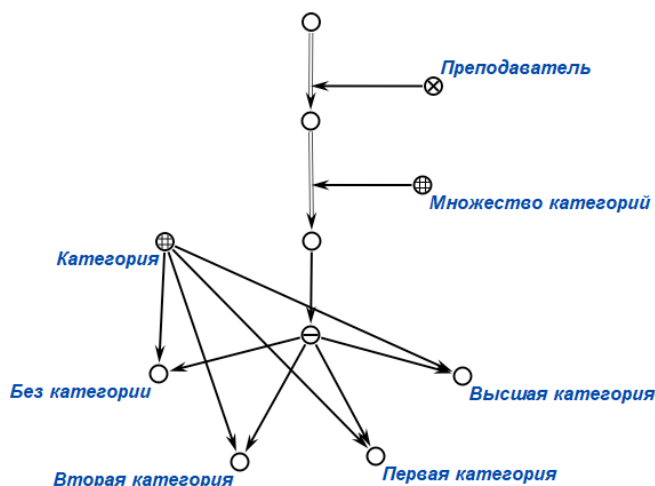


Рисунок 5 – Формализация категорий преподавателя в OSTIS-системе

Рисунки 2–5 можно представить в виде обобщенного графа схемы (рисунок 6). Обобщенный граф разделен на два домена: домен верхнего уровня (домен 1) включает в себя руководство колледжа и подчиненные руководству структурные подразделения («Совет», «Учебно-методическое объединение», «Библиотека» и др.), домен нижнего уровня (домен 2) включает в себя структуры от «Отделение» до непосредственно «Преподаватель».

Для представления базы знаний в линейном структурированном формате был разработан SCn-код. Пример SCn-кода, соответствующего рисунку 6, представлен ниже:

```

educational institution -> specialized secondary education institution;;
specialized secondary education institution -> college;
college
<- specialized secondary education institution ;
=> nrel_structural_unit: ...
  (*
  <- sc_node_tuple;;
  -> council;;
  <- sc_node_tuple;;
  -> guidance;;
  <- sc_node_tuple;;
  -> compartment;;
  <- sc_node_tuple;;
  -> competence_center;;
  <- sc_node_tuple;;
  -> training_and_methodological_association;;
  <- sc_node_tuple;;
  -> personnel_service;;
  <- sc_node_tuple;;
  -> library;;
  *);;
  <- structural unit;
  => nrel_cycle_committee: ...
    (*
    <- sc_node_1;;
    *);;
  cycle_committee -> sc_node_tuple;;
  sc_node_1 => relation: head_of_department;;
  subject -> head_of_department;;

```

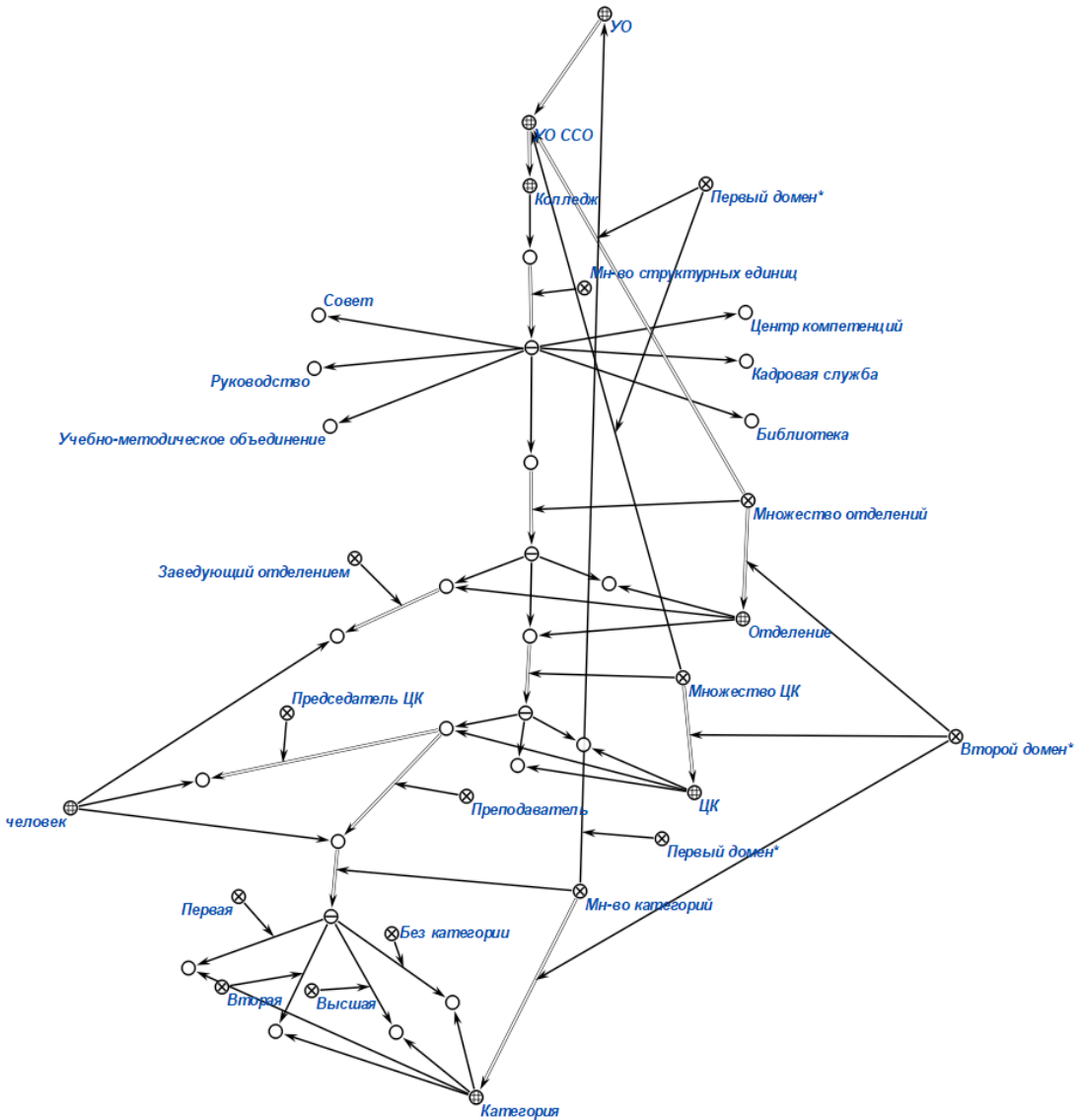
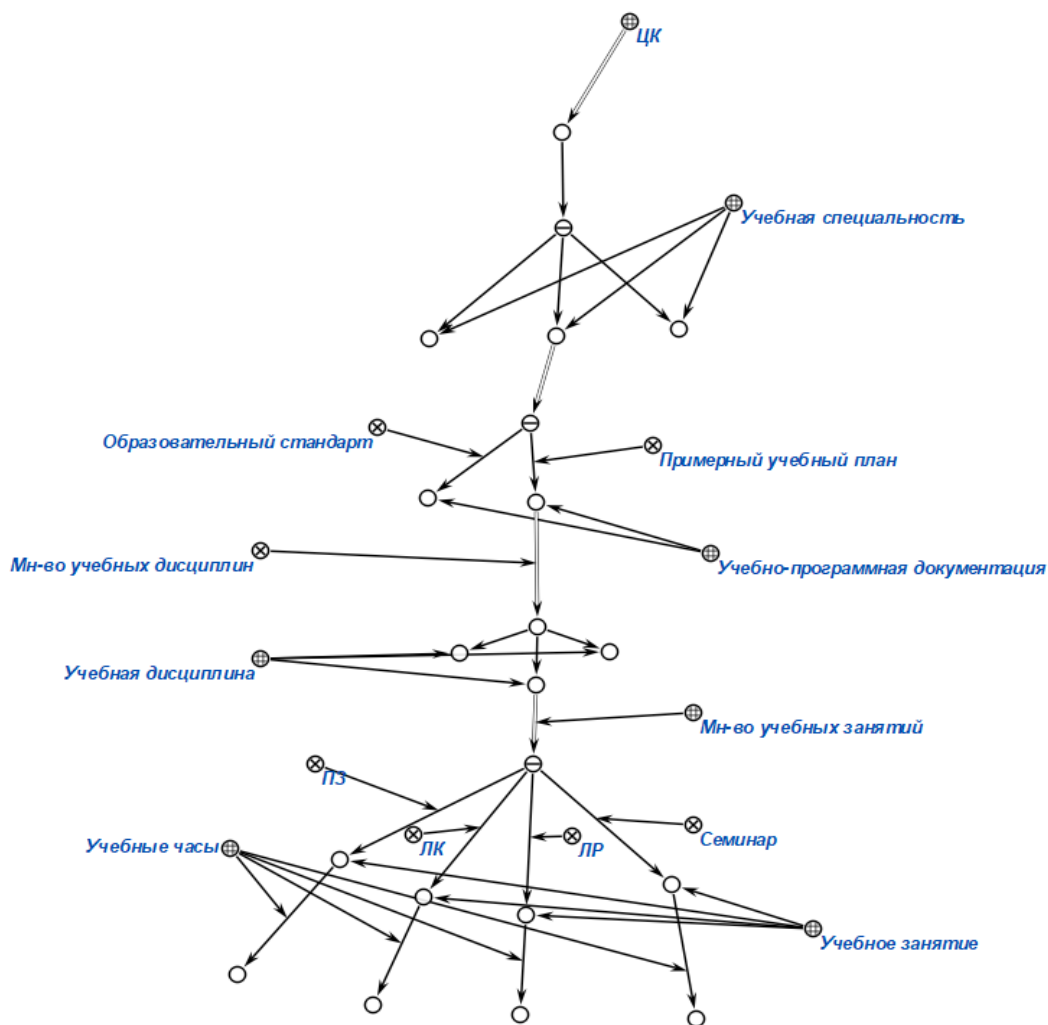


Рисунок 6 – Формализация деятельности учреждения среднего специального образования в OSTIS-системе

Важнейшим структурным элементом колледжа является цикловая комиссия. Цикловая комиссия создается согласно предметной области учебных специальностей, по которым организуется образовательный процесс. Учебная специальность характеризуется рядом образовательных документов: образовательным стандартом, примерным учебным планом, перечнем учебных дисциплин и часов на их изучение. Учебные часы выделяются на проведение лекций, практических и лабораторных занятия, а также на проведение аттестации.

Одним из основных результатов работы цикловой комиссии являются учебные часы для проведения лекционных, лабораторных и практических (семинарских) занятий по учебным дисциплинам. Формализация работы цикловой комиссии в OSTIS-системе представлена на рисунке 7.

Ключевой фигурой колледжа при организации и проведении учебного процесса является преподаватель. Ключевыми атрибутами преподавателя являются: стаж, документ об образовании, ФИО, возраст, категория. В дополнение к рисунку 6 формализация деятельности преподавателя в OSTIS-системе представлена на рисунке 8.



Пояснения: ПЗ – практические занятия, ЛК – лекции, ЛР – лабораторные работы.

Рисунок 7 – Формализация деятельности цикловой комиссии колледжа в OSTIS-системе

Заключение. Интеллектуальные компьютерные системы нового поколения должны иметь высокую степень интероперабельности, т.е. высокий уровень способности к эффективному, целенаправленному взаимодействию с себе подобными и с пользователями в процессе решения сложных задач [4]. Главным фактором обеспечения совместимости различных видов знаний, различных моделей решения задач и различных компьютерных систем в целом является унификация представления информации. Объективным ориентиром для такой унификации является формализация смысла представляемой информации, что может быть обеспечено в том числе и с помощью OSTIS-технологий.

В результате проведенных исследований была разработана методика построения цифрового двойника учреждения среднего специального образования. В качестве основного компонента методики выбрана база знаний, дана характеристика структуры интеллектуальной системы. Описаны способы представления информации в технологии OSTIS. Представлена структура экспертной системы в виде графа, формализующего деятельность учреждения образования в OSTIS-системе. В OSTIS-системе разработаны графы, формализующие структурные единицы колледжа, структуры отделений как основных структурных подразделений колледжа, категории преподавателей колледжа. Также с помощью инструментов OSTIS-системы произведена формализация деятельности учреждения среднего специального

образования. При проектировании базы знаний учреждения среднего специального образования был использован универсальный язык смыслового представления знаний в памяти OSTIS-систем – SC-код.

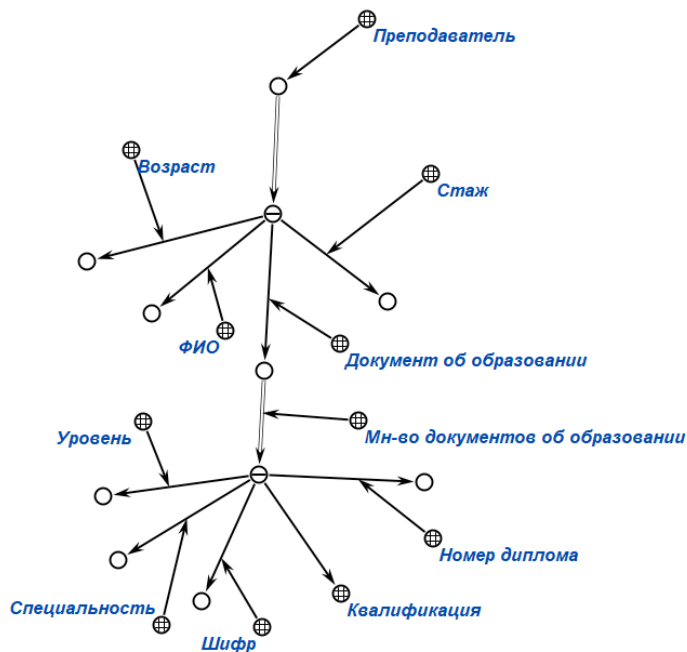


Рисунок 8 – Формализация трудовой характеристики преподавателя в OSTIS-системе

В рамках данного исследования содержащаяся в базе знаний информация с помощью решателя обеспечивает возможность получения различных рекомендаций по управлению бизнес-процессами, в данном случае на примере колледжа. Представляется, что такой подход позволит повысить эффективность и качество организации и проведения учебного процесса.

Проектирование решателя, а также интерфейса пользователя – важнейшая задача создания интеллектуальных ЭС и является предметом дальнейшего исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Концепция цифровой трансформации процессов в системе образования Республики Беларусь на 2019–2025 годы [Электронный ресурс] : утв. Министерством образования Респ. Беларусь, 15 марта 2019 г. // Центр информационных технологий Минского городского института развития образования. – 2011–2024. – Режим доступа : <http://iso.minsk.edu.by/main.aspx?guid=34963>. – Дата доступа : 09.03.2024.

2. Listopad, N. I. Model of interoperability of information systems of information and communication environment of secondary special education institution / N. I. Listopad, L. A. Bushchik // Open Semantic Technologies for Intelligent Systems : collect. of research papers / ed. board: V. V. Golenkov (ch. Ed.) [et al.]. – Minsk : BSUIR, 2023. – Issue 7. – P. 279–284.

3. Саак, А. Э. Информационные технологии управления : учебник для вузов / А. Э. Саак, Е. В. Пахомов, В. Н. Тюшняков. – 2-е изд. – СПб. : Питер, 2012. – 320 с.

4. Голенков, В. В. Технология комплексной поддержки жизненного цикла семантически совместимых интеллектуальных компьютерных систем нового поколения / под ред. В. В. Голенкова. – Минск : Бестпринт, 2023. – 1064 с.

Поступила в редакцию 08.07.2024.

¹ *Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (Belarus)*
P. Brovki St., 6, 220103, Minsk, Belarus; e-mail: e.bushchik@bsuir.by

² *Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (Belarus)*
P. Brovki St., 6, 220103, Minsk, Belarus; e-mail: listopad@bsuir.by

Abstract. The introduction indicates the object of research – the automated information system of a secondary specialized education institution. The purpose of the study is to develop a methodology for constructing an open information system (digital twin) of a secondary specialized education institution. The scientific novelty of the research lies in the development of OSTIS technology for designing an ontology of business processes in an educational institution in the form of knowledge graphs to improve the efficiency of these processes. The introduction provides a rationale for the approach chosen by the authors and explains in the most general form the concept of an OSTIS system. The main part provides a fairly complete description of the OSTIS system and shows what an SC code is. The methodology for constructing a digital twin of a secondary specialized education institution is described in detail. The knowledge base was chosen as the main component of the methodology, and a characteristic of the structure of the intelligent system was given. Methods for presenting information in OSTIS technology are described. The structure of the expert system is presented in the form of a graph that formalizes the activities of an educational institution in the OSTIS system. In the OSTIS system, graphs have been developed that formalize the structural units of the college, the structures of departments as the main structural divisions of the college, and the categories of college teachers. Also, using the tools of the OSTIS system, the activities of the secondary specialized education institution were formalized. The formalization of the organizational and educational activities of a secondary specialized education institution in the form of an SC code has been designed. In conclusion, the basic results of the study are presented and further aspects of the development of an open information system for a secondary specialized education institution are outlined. The scope of application of the research results is recommendations and technologies for organizing digital transformation processes in education using the example of a secondary specialized education institution.

Keywords: digital twin, expert system, knowledge base, ontology, specialized secondary education institution, OSTIS technology.

References

1. Concept of digital transformation of processes in the education system of the Republic of Belarus for 2019-2025 [*Kontsepsiia tsifrovoy transformatsii protsessov v sisteme obrazovaniia Respubliki Belarus 'na 2019-2025 gody*] : *appr. by the Minister of Education of the Republic Belarus on March 15, 2019. Center for Information Technologies of the Minsk City Institute for Educational Development, 2011-2024* [Electronic resource].
2. Listopad N. I., Bushchik L. A. Model of interoperability of information systems of information and communication environment of secondary special education institution. *Open Semantic Technologies for Intelligent Systems : research papers collection* ; ed. board: V. V. Golenkov (ch. Ed.) [et al.]. Minsk, 2023, issue 7, pp. 279-284.
3. Saak A. E., Pakhomov E. V., Tiushniakov V. N. Information technologies of management [*Informatsionnye tekhnologii upravleniia : uchebnik dlia vuzov*]. Saint Petersburg, 2012, 320 p.
4. Golenkov V. V. Technology of complex life cycle support of semantically compatible intelligent computer systems of new generation [*Tekhnologiia kompleksnoi podderzhki zhiznennogo tsikla semanticheski sovместimykh intellektual'nykh komp'yuternykh sistem novogo pokoleniia*]. Minsk, 2023, 1064 p.

