

НАУЧНО • ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Серия 2. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ И СИСТЕМЫ
ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

Издается с 1961 г.

№ 3

Москва 2022

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 378:004

В.Г. Мокрозуб, Н.В. Молоткова, Е.С. Мищенко, К.А. Алейникова

Разработка интеллектуального образовательного контента

На примере обучения проектированию технических объектов рассматривается структура систем автоматизированного проектирования, базирующихся на онтологии предметной области, которая может быть использована как человеком для обучения, так и информационной системой для решения практических задач проектирования. Термин «учебная система автоматизированного проектирования» используется как реальная промышленная система, дополненная элементами обучения.

Ключевые слова: «цифровой» университет, обучающий контент, виртуальный кабинет, проектирование

DOI: 10.36535/0548-0027-2022-03-1

ВВЕДЕНИЕ

Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации»¹ включает шесть федеральных проектов, один из которых – «Кадры для цифровой

экономики»². Это предполагает подготовку кадров в «цифровых» университетах с использованием новых методов, технологий и средств обучения [1–3].

В отечественных и зарубежных публикациях рассматриваются различные направления развития циф-

¹ «Цифровая экономика РФ». – URL: <https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/858/>

² «Кадры для цифровой экономики». – URL: <https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/866/>

рового образования [4–11], в частности использование в образовательном процессе:

- электронных площадок таких, например, как Moodle, Google Classroom и др.;
- тренажерных комплексов;
- виртуальных кабинетов и лабораторий;
- онтологического подхода в сфере образования.

Достаточно подробный обзор публикаций по работе электронных площадок на примере Google Classroom представлен в [12]. Это перспективное направление особо важно для активно развивающегося дистанционного образования. Электронные площадки – это средства для организации образовательного процесса и размещения образовательного контента, но они не предоставляют технологию создания принципиально нового интеллектуального цифрового образовательного контента.

В [13] представлен обзор применения в образовательном процессе различных тренажерных комплексов, которые помогают приобретать профессиональные навыки, связанные с практическими действиями обучаемых, и в меньшей степени позволяют погружаться в теоретическую часть изучаемой предметной области. В триаде образования «знать, уметь, владеть» они относятся к области «владеть» и позволяют с наименьшими материальными затратами доводить профессиональное умение до автоматизма.

Примеры использования в образовательном процессе виртуальных кабинетов и лабораторий описаны в [14–19]. Отличительные признаки подобных систем в том, что они содержат контент для обучения и приобретения практических навыков по целому комплексу учебных дисциплин. Например, виртуальный кабинет «Конструирование технологического оборудования» [14] – это по сути автоматизированная система, включающая информацию, необходимую для проектирования химических объектов.

В последнее десятилетие большое внимание при создании интеллектуальных систем уделяется онтологическому подходу. Подробный обзор и цели использования онтологического подхода в сфере образования, а также структура цифрового университета представлены в работе [20], а в [21] предложен подход к проектированию образовательных программ, базирующийся на специальных онтологиях.

Одним из направлений развития онтологий является онтология предметной области [22].

В настоящей работе представлен подход к созданию «цифрового» интеллектуального или «умного» образовательного контента на основе онтологии предметной области. Подобный контент существенно отличается от традиционного, так как должен быть понятен не только человеку, но и компьютеру. Это открывает новые возможности как в сфере образования, так и в сфере автоматизации процессов заданной предметной области. «Умный» образовательный контент должен находиться в постоянной связи с «умными» документами предметной области, например, стандартами.

В качестве предметной области мы рассматриваем проектирование таких многоассортиментных химических производств (МХП), как производства красителей, лаков, добавок к полимерным материалам. Актуальность означенной предметной области заключается

в том, что эти производства в значительной степени определяют качество продукции других отраслей промышленности: текстильной, автомобильной, резинотехнической, радиотехнической и других. Кроме того в соответствии со стратегией развития химической и нефтехимической промышленности России на период до 2030 г. предусматривается модернизация действующих и строительство новых химических производств, в том числе и многоассортиментных химических производств³, современное состояние проектирования которых подробно рассмотрено в работе [21].

Основные стадии проектирования МХП:

- технологическая разработка;
- разработка общепромышленной части;
- технико-экономические расчеты и др.

Технологическая разработка включает в себя аппаратное оформление производства, компоновку оборудования в производственном помещении, разработку и составление расписания работы отдельных аппаратов.

Существует достаточно много систем автоматизированного проектирования (САПР), позволяющих автоматизировать различные этапы проектирования многоассортиментных химических производств⁴. Присутствующие в них элементы обучения и контекстно-зависимые подсказки предназначены для обучения способам работы с системой, а не способам конструирования технических объектов. Например, известные графические редакторы (Компас, T-Flex, Inventor, Solidworks) имеют различные библиотеки стандартных и типовых элементов, благодаря которым значительно облегчается процесс построения 3D модели проектируемого объекта. Выбор элемента осуществляется пользователем «вручную», при этом система не подсказывает какой элемент предпочтительно использовать в проектируемом техническом объекте в зависимости от условий его эксплуатации.

Сегодня термин «учебная» используется как синоним «упрощенная», однако учебная САПР – это промышленная система, отягощенная элементами обучения собственно проектированию. Подобной системой может стать разрабатываемый в Тамбовском государственном техническом университете виртуальный кабинет «Конструирование технологического оборудования» [14].

ВИРТУАЛЬНЫЙ КАБИНЕТ «КОНСТРУИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ»

Первоначальной целью создания виртуального кабинета «Конструирование технологического оборудования» было размещение в одном месте информационных материалов, необходимых студентам для выполнения курсовых и дипломных работ по проектированию химических предприятий. Соответственно этой цели была определена структура кабинета (рис. 1).

³ Об утверждении плана реализации Стратегии развития химического и нефтехимического комплекса на период до 2030 года. – URL: <http://government.ru/docs/23136/>

⁴ Обзор популярных систем автоматизированного проектирования (CAD). – URL: <https://www.pointcad.ru/novosti/obzor-sistem-avtomatizirovannogo-proektirovaniya>

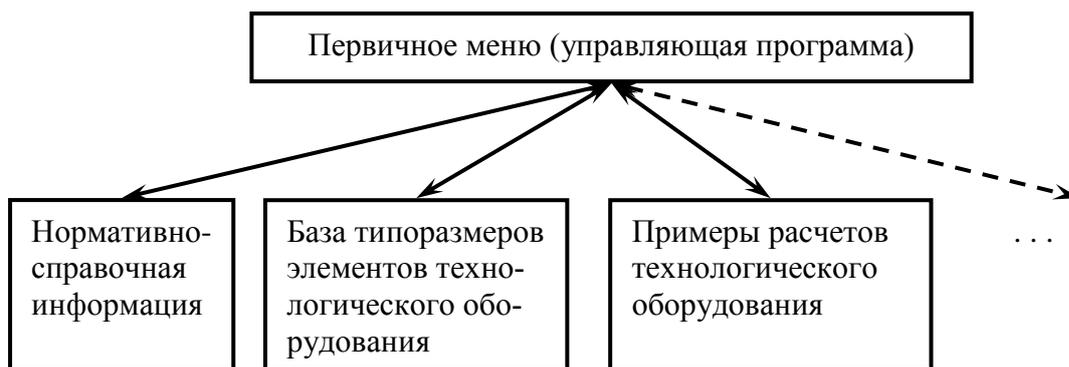


Рис. 1. Структура виртуального кабинета «Конструирование технологического оборудования»

Использование виртуального кабинета в течение десяти лет в учебном процессе при подготовке бакалавров, специалистов и магистров по направлениям, связанным с проектированием химических производств и конструированием технологического оборудования, показало его достаточно высокую эффективность и популярность у студентов. При этом одни студенты использовали информацию при выполнении курсовых и дипломных проектов, другие, работая в команде, разрабатывали отдельные элементы кабинета «в ширину», т. е. наполнение кабинета информацией происходило без принципиального изменения структуры.

Дальнейшее развитие кабинета заключается в его интеллектуализации. Создание «умного» кабинета базируется на онтологии предметной области [20], которая открывает новые возможности:

- пояснять студентам, какое техническое решение целесообразно принимать для заданных требований и условий эксплуатации проектируемого объекта;
- воспринимать информацию другими программными продуктами;
- предоставлять обучающемуся не только выбор своей образовательной траектории, но создавать интеллектуального помощника этого выбора.

На первом этапе разработки предполагается создание образовательного контента, предназначенного для обучения поддержке принятия решений по следующим задачам проектирования МХП:

- 1) выбор оборудования, необходимого для реализации технологического процесса;
- 2) проектирование типового технологического оборудования (ТО) – выбор элементов ТО в зависимости от его функций и условий эксплуатации;
- 3) прочностной расчет элементов технологического оборудования в зависимости от условий эксплуатации.

Далее рассмотрим возможную реализацию задач 1 и 3. При этом для практической реализации задачи 1 будем использовать редактор онтологий Protégé, а для задачи 3 – реляционную базу данных. Выбор элементов технологического оборудования в зависи-

мости от условий эксплуатации можно осуществить по аналогии как в редакторе онтологий Protégé, так и в реляционной базе данных.

ОНТОЛОГИЯ ВЫБОРА ТИПА ХИМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Онтология, предназначенная для определения типа технологического оборудования химических производств в зависимости от свойств обрабатываемых веществ, определяется как $OP = \langle P, T, G \rangle$, где P – таксономия (дерево), ТО (выпарной аппарат, сушилка), T – таксономия (дерево) свойств обрабатываемых веществ (вязкость, плотность), G – правила, связывающие вершины дерева ТО с вершинами дерева свойств обрабатываемых веществ, например: «Если выпариваемый раствор высококипящий и пенящийся, то выпарной аппарат – пленочный».

Таксономия ТО, $P = (PV, PR)$,

$PV = \{pv_i, i = 0..I\}$ – это множество типов и подтипов технологического оборудования,

$PR = \{pr_{km}, k \in 1..I, m \in 1..I, k \neq m\}$ – связи типа класс–подкласс, например «выпарной аппарат – барботажный выпарной аппарат». Фрагмент таксономии ТО в виде графа представлен на рис. 2.

Таксономия свойств обрабатываемых веществ $T = (TV, TR)$,

$TV = \{tv_j, j = 0..J\}$ – множество свойств обрабатываемых веществ,

$TR = \{tr_{km}, k \in 1..J, m \in 1..J, k \neq m\}$ – связи типа класс–подкласс, например: «кипящий – высококипящий». Фрагмент таксономии свойств в виде графа представлен на рис. 3.

Ультраграф $G = (GPT, GR)$ связей вершин $PV = \{pv_i, i = 0..I\}$ дерева ТО (стоки) с вершинами $TV = \{tv_j, j = 0..J\}$ дерева свойств обрабатываемых веществ (истоки),

$GPT \subset PV \cup TV$ – множество вершин ультраграфа,
 $GR = \{gr_k, k = 1..K\}$ – множество ребер ультра-
 графа,
 $gr_k(Y_k)$ – k -ое ребро ультраграфа,
 Y_k – множество вершин инцидентных k -му ребру
 гиперграфа,
 $Y_k \subset GRT, Y_k = \{pv_l, TV1\}, pv_l \in PV$ – вершина
 дерева ТО (сток),
 $TV1 \subset TV$ – множество вершин из дерева свойств
 обрабатываемых веществ (истоки),
 $TV1 = \{tv_c, c \in J\}$.
 Ребро ультраграфа представляет собой правило
 (продукцию) вида «Если ..., то», которое формально

запишется как $\exists \bigcap_{c \in J1 \subset J} tv_c \Rightarrow pv_l$. Графическая ин-
 терпретация правила (ребра ультраграфа): «Если вы-
 париваемый раствор высококипящий и пенящийся,
 то выпарной аппарат пленочный» представлена на
 рис. 4. При этом вершины «пенящийся» и «высоко-
 кипящий» являются истоком, а вершина «пленоч-
 ный» – стоком, что показано стрелками на ребре gr_1 .
 Прототип описанной онтологии достаточно легко
 создать в среде свободно распространяемого редак-
 тора онтологий Protégé.
 Для примера на рис. 5 в редакторе онтологий
 Protégé показаны таксономия P выпарных аппаратов,
 таксономия T свойств выпариваемых растворов и
 пример ребра ультраграфа gr_1 . Результаты запроса на
 определение типа аппарата для пенящегося и высо-
 кокипящего раствора представлены на рис. 6.

Технологическое оборудование, PV

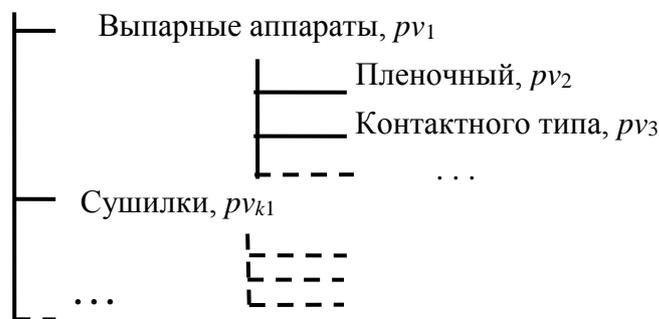


Рис. 2. Фрагмент таксономии технологического оборудования

Свойства_растворов, TV

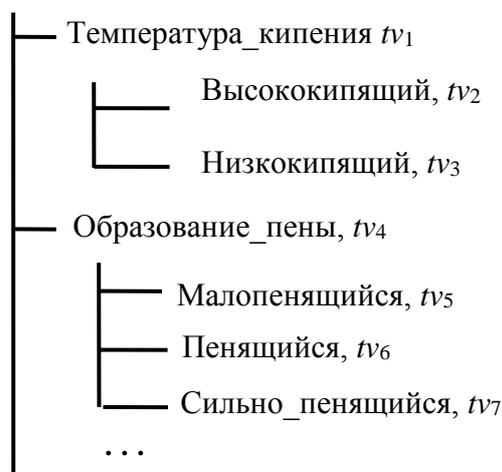
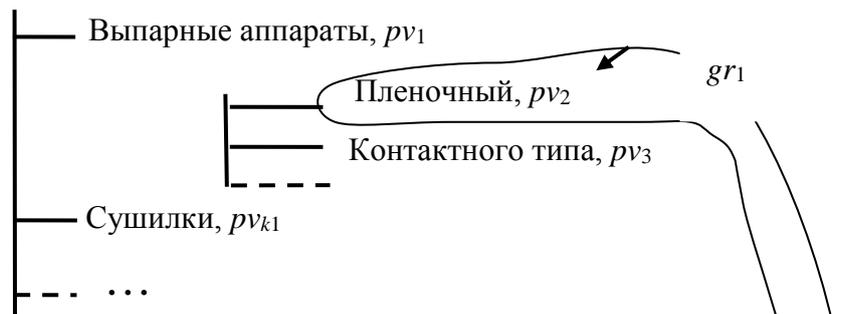


Рис. 3. Фрагмент таксономии свойств обрабатываемых веществ

Технологическое оборудование, PV



Свойства_растворов, TV

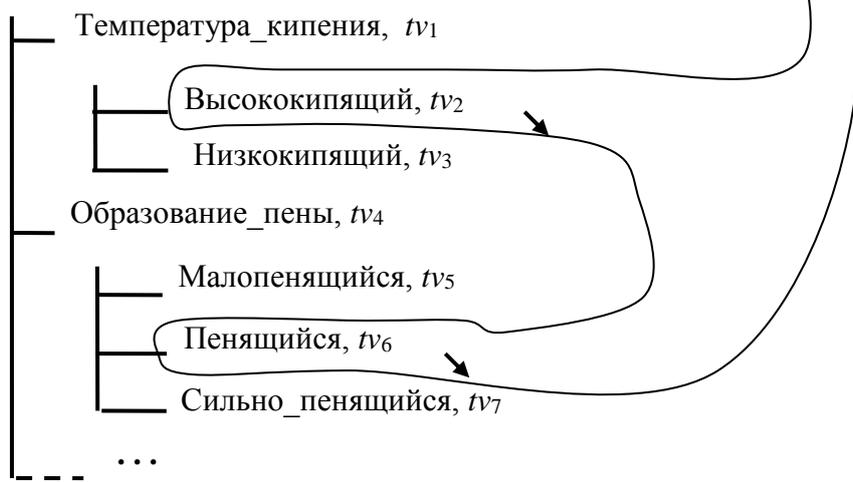


Рис. 4. Графическая интерпретация правила вида «Если ..., то ...»

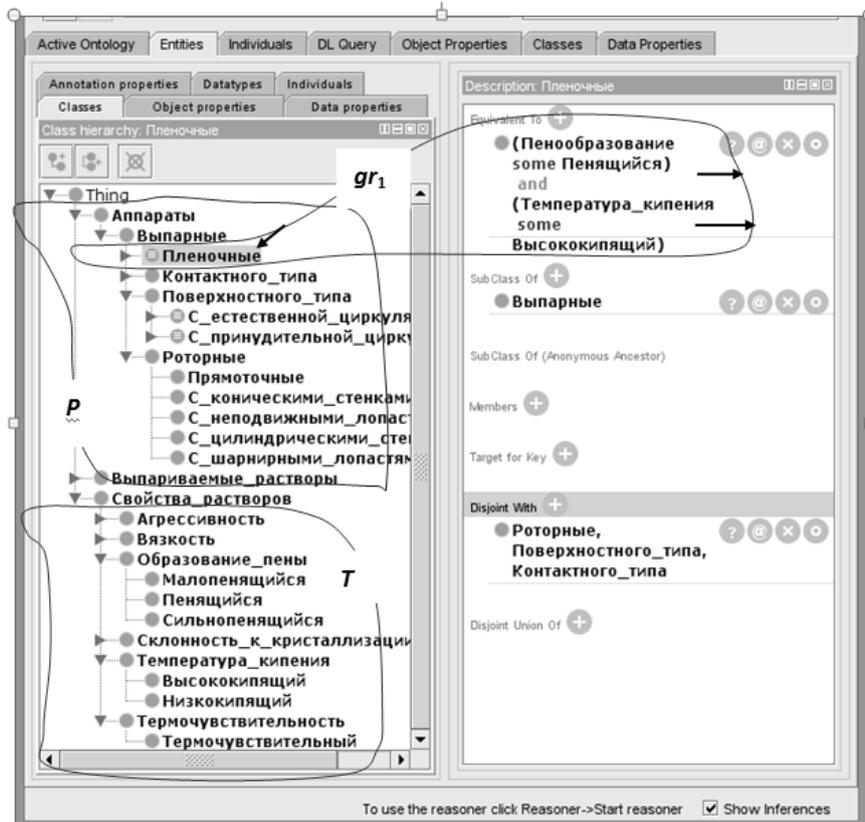


Рис. 5. Пример записи: таксономия P выпарных аппаратов, таксономия T свойств выпариваемых растворов и правила gr_1 в программе Protégé

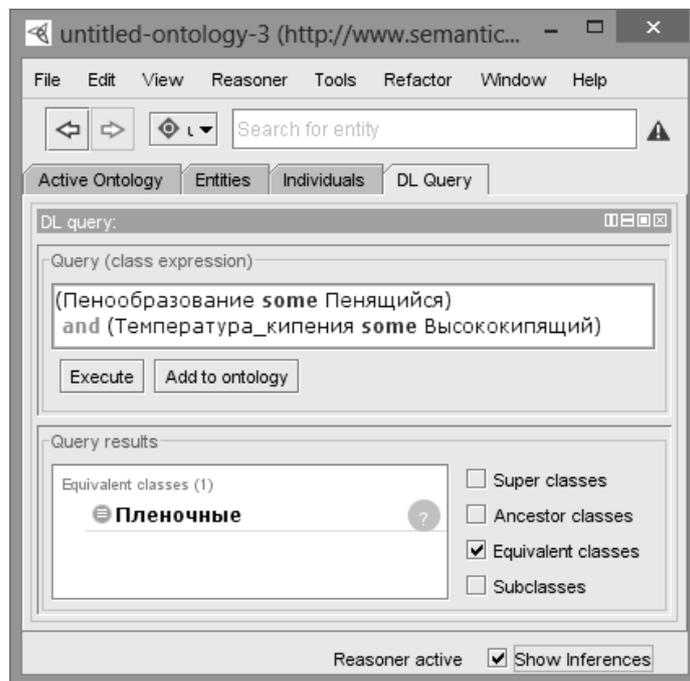


Рис. 6. Результаты запроса на определение типа выпарного аппарата для пенящегося и высококипящего раствора

РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Технологическое оборудование работает с агрессивными средами, при повышенной температуре и давлении и является опасным для человека и окружающей среды. Поэтому необходимо выполнять прочностные расчеты, гарантирующие безопасность этого оборудования, как при испытании и монтаже, так и в заданных рабочих условиях (температура, нагрузки, коррозионная активность среды, сейсмичность района установки).

Несмотря на различия процессов, протекающих в ТО (химические превращения, выпаривание и др.), оно состоит из таких однотипных элементов, как обечайки, днища, фланцы, опорные и строповые устройства. Основным стандартом для проведения механических расчетов элементов ТО является ГОСТ 34233.1-2017 «Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность». Кроме того имеются отдельные стандарты для колонных аппаратов, сильфонных и линзовых компенсаторов, валов.

Подлежащие расчету элементы и виды расчетов зависят от условий эксплуатации ТО. Эти зависимости представляют собой двудольный граф (рис. 7) $G = (V, R)$, где $V = VU \cup VE$ – множество вершин графа, $VU = \{vu_i, i = 1..I\}$ – множество условий эксплуатации это нагрузки, действующие на ТО (внутреннее давление, наружное давление, вес, давление в рубашке и др.), $VE = \{ve_j, j = 1..J\}$ – множество подлежащих расчету элементов (обечайка, днище,

опора и др.), $R = \{r_{ij}, i \in 1..I, j \in 1..J\}$ – ребра графа.

Таким образом, ребра графа определяют подлежащие расчету элементы в зависимости от условий эксплуатации.

Зависимость вида расчета элемента от совокупности нагрузок будем задавать правилами вида «Если ..., то ...».

Правило 1. Если в аппарате внутреннее давление, то обечайка корпуса рассчитывается на прочность.

Правило 2. Если имеется рубашка, то обечайка корпуса рассчитывается на прочность и устойчивость.

Схема базы данных, позволяющая по типу аппарата (емкость, теплообменник и др.) и нагрузкам (внутреннее давление, внешнее давление и др.) определять подлежащие прочностному расчету элементы (обечайка, фланец, днище и др.) и виды расчетов (прочность, жесткость, устойчивость и др.) представлена на рис. 8, где: таблица «Аппараты» содержит список типов ТО, которые можно рассчитывать с использованием предлагаемой системы; в таблице «Элементы» находится список всех возможных элементов аппаратов, которые подлежат прочностному расчету – множество вершин $VE = \{ve_j, j = 1, J$ графа $G = (V, R)$; таблица «Элементы_Аппарата» позволяет для каждого типа аппарата задать список его возможных элементов; таблица «Нагрузки» содержит список возможных нагрузок, действующих на элементы ТО – множество вершин $VU = \{vu_i, i = 1, I$ графа $G = (V, R)$; таблица «Нагрузка_элемент» содержит ребра $R = \{r_{ij}, i \in 1, I, j \in 1, J$ графа $G = (V, R)$.

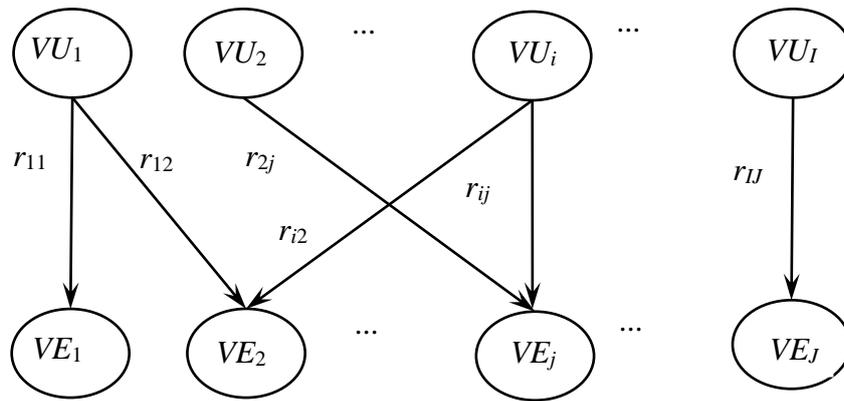


Рис. 7. Граф, связывающий условия эксплуатации и подлежащие расчету элементы технологического оборудования



Рис. 8. Схема базы данных для определения элементов технологического оборудования, подлежащих расчету на прочность, и видов расчетов, которые надо выполнять в зависимости от условий эксплуатации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реализация федерального проекта «Кадры для цифровой экономики» осуществляется в «цифровых» образовательных учреждениях. При этом образовательный контент должен быть трансформирован в «умный» или «цифровой» контент, который понятен как человеку, так и программной системе. Одним из

направлений создания подобного контента является использование онтологии предметной области.

Подобный подход тесно связан с разработкой интеллектуальных технических документов таких, например, как стандарты. Он открывает принципиально новые возможности как в обучении студентов, так и в разработке автоматизированных систем.

Несомненно, в будущем появятся новые среды для разработки интеллектуальных систем, в том числе и для создания онтологии предметной области. Тем не менее сегодня имеется возможность разрабатывать онтологии в существующих программных средах таких как реляционные базы данных и редакторы онтологий. Полученный таким образом структурированный контент в дальнейшем при необходимости можно конвертировать в другой формат.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соловьев А.Н., Приходько В.М., Полякова Т.Ю., Сазонова З.С. Russian engineering teachers as an important part of IGIP // Высшее образование России. – 2018. – № 1. – С. 38–45.
2. Рудской А.И., Боровков А.И., Романов П.И., Колосова О.В. Пути снижения рисков при построении в России цифровой экономики. Образовательный аспект // Высшее образование в России. – 2019. – Т. 28, № 2. – С. 9-22. DOI: <https://doi.org/10.31992/0869-3617-2019-28-2-9-22>.
3. Днепровская Н.В. Оценка готовности российского высшего образования к цифровой экономике // Статистика и экономика. – 2018. – Т. 15, № 4. – С.16–28.
4. Pozdneev V., Dusina F., Ivannikov A. Smart university management based on process approach and it-standards // Smart innovation, systems and technologies. – 2016. – Vol. 59. – P. 73-82. DOI 10.1007/978-3-319-39690-3_7.
5. Pozdneev V., Tolok A., Ovchinnikov P., Levchenko A., Sharovатов V. Digital transformation of learning processes and the development of competencies in the virtual machine-building enterprise environment // Journal of physics: conference series. – 2019. – Vol.1278, № 1. – Art. 012008. DOI 10.1088/1742-6596/1278/1/012008/.
6. Ракитов А.И. Высшее образование и искусственный интеллект: эйфория и алармизм // Высшее образование в России. – 2018. – Т. 27, № 6. – С. 41–49.
7. Носкова Т.Н., Павлова Т.Б., Яковлева О.В. Инструменты педагогической деятельности в электронной среде // Высшее образование в России. – 2017. – № 8/9(215). – С. 121-130.
8. De-Marcos L., Garcia-Lopez E., Garcia-Cabot A. On the effectiveness of game-like and social approaches in learning: Comparing educational gaming, gamification & social networking // Computers & Education. – 2016. – Vol. 95. – P. 99–113.
9. Yamada T. New component technologies and development strategies of e-learning in MOOC and post-MOOC eras. – 2016. – URL: https://www.researchgate.net/publication/284887522_New_Component_Technologies_and_Development_Strategies_of_e-Learning_in_MOOC_and_PostMOOC_Eras. DOI:10.1007/978-3-319-23207-2_39.
10. Savitskaya T.V., Egorov A.F., Mikhaylova P.G., Dementienko A.V. Multilevel Training of Chemists and Technologists in the Interdisciplinary Training System Using Distance Educational Technologies // 2018 4th International Conference on Information Technologies in Engineering Education. – Inforino 2018. – Proceedings, Art. № 8581753. DOI: 10.1109/INFORINO.2018.
11. Морщиллов М.В., Петрова Л.Г., Приходько В.М. ИТ-технологии в инженерном образовании, особенности применения в России // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2018. – № 2(16). – С. 13.
12. Дудырев Ф.Ф., Максименкова О.В. Симуляторы и тренажеры в профессиональном образовании: педагогические и технологические аспекты // Вопросы образования. – 2020. – № 3. – С. 255–276. DOI: 10.17323/1814-9545-2020-3-255-276.
13. Немтинов В.А., Манаенков И.М., Немтинова Ю.В. Создание виртуальной технологической лаборатории и организация обучения при подготовке кадров высшей квалификации // Высшее образование в России. – 2020. – № 2. – С. 159-168. DOI: 0.31992/0869-3617-2021-30-3-104-113
14. Мокрозуб В.Г. Создание виртуального кабинета "Конструирование технологического оборудования" в Тамбовском государственном техническом университете // САПР и графика. – 2015. – № 1(219). – С. 38-39.
15. Немтинов В.А., Борисенко А.Б., Морозов В.В., Немтинова Ю.В. Повышение уровня профессиональных компетенций с использованием виртуальной образовательной среды // Высшее образование в России. – 2021. – Т. 30, № 3. – С. 104-113. DOI: 10.31992/0869-3617-2021-30-3-104-113.
16. Тихомиров Г., Сальдиков И., Маликова Е., Кученкова Л., Пилюгин В. Опыт НИЯУ МИФИ в разработке и использовании программных средств визуализации в учебном процессе в области ядерных энергетических установок // Научная визуализация. – 2012. – Т. 4, № 2. С. 57–63.
17. Kowalik D., Rusyn B. Innovative Vocational Didactics Aimed at the Preparation of Staff According to Industry 4.0 and Europe 2020 // 4th International Conference on Education Reform and Modern Management «DEStech Transactions on Social Science Education and Human Science», 2017. – P. 12–17. DOI: 10.12783/dtssehs/ermm2017/14671.
18. Smorkalov A., Morozov M., Fominykh M., Prasolova-Førland E. Virtualizing Real-Life Lectures with vAcademia, Kinect, and iPad // Communications in Computer and Information Science. – 2014. – Vol. 435. – P. 156–161. DOI: 10.1007/978-3-319-07854-0_28.
19. Волокитин Ю.И., Гринько О.В., Куприяновский В.П., Корзун А.В., Алмазов А.А., Покусаев О.Н., Жабицкий М.Г. Цифровые двойники знаний и онтологии для высшего технологического образования // International Journal of Open Information Technologies. – 2021. – Т. 9, № 1. – С. 128-144.
20. Клещев А.С., Шалфеева Е.А. Классификация свойств онтологий. Онтологии и их классификация. Препринт. – Владивосток: ИАПУ ДВО РАН, 2005. – 19 с.
21. Егоров А.Ф., Савицкая Т.В., Михайлова П.Г. Современное состояние в области ана-

лиза, синтеза и оптимального функционирования многоассортиментных цифровых химических производств: аналитический обзор // Теоретические основы химической технологии. – 2021. – Т. 55, № 2. – С. 154–187. DOI: 10.31857/S0040357121010061

Материал поступил в редакцию 12.02.22

Сведения об авторах

МОКРОЗУБ Владимир Григорьевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении» Тамбовского государственного технического университета.
e-mail: mokrozubv@yandex.ru

МОЛОТКОВА Наталия Вячеславовна – доктор педагогических наук, профессор, первый проректор Тамбовского государственного технического университета.
e-mail: nmolotkova@list.ru

МИЩЕНКО Елена Сергеевна – доктор экономических наук, профессор, проректор по международной деятельности Тамбовского государственного технического университета
e-mail: lenochkami@yandex.ru

АЛЕЙНИКОВА Кристина Андреевна – аспирант Тамбовского государственного технического университета
e-mail: merkushova1412@mail.ru.