

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 621.565.92:664.61:004.82
DOI: 10.22213/2410-9304-2022-2-41-49

Применение технологий интеллектуального моделирования знаний для управления процессом изготовления опорных рам холодильных агрегатов для хлебозавода

Ю. Н. Белова, старший преподаватель, МГУТУ имени К. Г. Разумовского (ПКУ), Москва, Россия
Л. Р. Юсупова, студент, МГУТУ имени К. Г. Разумовского (ПКУ), Москва, Россия

Статья посвящена применению интеллектуальных технологий для повышения качества управления производством на примере процесса изготовления опорных рам для установки холодильных агрегатов в морозильных камерах хлебокомбинатов, использующих заготовки полуфабрикатов для обеспечения гибкости производства. Обоснована актуальность задачи с точки зрения повышения эффективности производства, а также требований к цифровизации. Обозначен подход к выявлению значимых объектов и условий предметной области применительно к каждой модели. Описаны этапы и ключевые особенности изготовления опорных рам, которые затем формализованы и, в конечном итоге, представлены в виде продукционной и семантической моделей знаний, на основе которых можно разработать базу знаний – ядро системы поддержки принятия решений (СППР).

Основными результатами работы являются составленные продукционная и семантическая модели в графическом представлении, дающие в комплексе целостное представление о моделируемом процессе. По продукционной модели можно проследить ход процесса с основными возможными отклонениями. Семантическая модель дает целостное представление об объектах предметной области и их отношениях. Фреймовая модель будет представлена в дальнейших работах. Аналогично предлагается составить модели представления знаний по основным и вспомогательным процессам хлебокомбината с целью использования их в интеллектуальных системах управления производством.

Рассматриваемый подход может быть использован широким кругом разработчиков интеллектуальных систем для пищевых и других промышленных производств и является первым и основополагающим стартовым шагом в современной тенденции цифровой трансформации промышленных предприятий в рамках Индустрии 4.0.

Ключевые слова: интеллектуальные технологии, модели представления знаний, холодильное оборудование, хлебокомбинат, продукционная модель, семантическая сеть.

Введение

В публикациях, посвященных разработке систем управления с искусственным интеллектом для хлебокомбинатов [1, 2], мы не затрагивали до настоящего момента такой важный аспект, как информационное наполнение базы знаний будущей системы поддержки принятия решений (СППР). От качества и полноты заложенной в базу знаний информации по процессу будет напрямую зависеть правильность предлагаемых СППР решений. Анализ, отбор и формализация информации по моделируемому процессу или системе является первичной задачей при разработке СППР. На настоящее время существует более десяти различных видов моделей представления знаний [3–7], из которых наиболее распространены и популярны продукционная, семантическая и фреймовая. Каждая из

них имеет свои преимущества с точки зрения вклада в базу знаний и формирования логики работы СППР.

Целью работы является демонстрация комплексного подхода к моделированию представления знаний на примере одного процесса, в частности – изготовления рам под холодильное оборудование, которое используется в морозильных камерах на хлебозаводах, практикующих использование быстрозамороженных полуфабрикатов. При этом авторы стараются соблюдать уровень детализации процесса, достаточный для применения в СППР. Процесс изготовления рам для холодильного оборудования выбран как легко формализуемый, наглядный и в то же время имеющий достаточно условий и требований.

Постановка задачи по моделированию представления знаний

За последние годы потребность в холодильных агрегатах на пищевых производствах возрастает в том числе и за счет распространения использования быстрозамороженных полуфабрикатов. Активно использовать полуфабрикаты для обеспечения гибкости заказов стали и хлебокомбинаты [8–10], соответственно, им требуется холодильное/морозильное оборудование для специальных помещений-складов.

Заказ на холодильные агрегаты может быть выполнен заводом промышленного холодильного оборудования – это промышленное предприятие, осуществляющее деятельность в сфере проектирования и производства холодильного оборудования для коммерческого и промышленного холода.

Анализ процесса производства производился авторами на основании регламентов ООО «НСК»¹, одного из ведущих российских производителей систем холодоснабжения и интеграторов комплексных инженерных решений.

После получения заказа заводом на основании требований клиента конструкторы с помощью чертежа производят предварительную расстановку основных элементов (компрессор, ресивер, маслоотделитель, отделитель жидкости и т. д.) относительно друг друга по габаритам. Затем производят обвязку элементов системы трубопроводами с учетом норм и правил прокладки. Добавляют линейные компоненты (вентили, клапана, фильтра и т. д.). Корректируют положение основных элементов для экономии места. Затем разрабатывают чертеж опорной конструкции (рамы). Учитывают все отверстия, стыковки, т. е. крепление основных элементов, трубопроводов, места крепления силового электрического щита (в случае его агрегатирования), клеммных коробок. Рассчитывается масса оборудования и выбирается тип и размер профильного металла для изготовления рамы.

Проектировщик (конструктор) проверяет всю систему на коллизии, то есть пересечения разных элементов, компоновку на удобство относительно обслуживания и ремонта, замены элементов. При необходимости согласования чертежи направляются заказчику.

Здесь для примера мы рассмотрим подпроцесс изготовления рамы (опорной конструкции) для установки холодильного агрегата.

Независимо от того, какой способ моделирования из существующих будет использоваться для формализованного представления знаний,

первичным является сбор и систематизация необходимой и достаточной информации о процессе или системе, что отражается в виде текстового (словесного) описания процесса. Сбор информации происходил непосредственно на предприятии ООО «НСК» путем анкетирования и изучения технологических регламентов процесса.

Все холодильные агрегаты имеют вариант исполнения: контейнерное, в защитном кожухе или в компрессорном помещении. Рама – опорная конструкция – необходима холодильному агрегату для транспортировки и работы оборудования.

Сварочный цех получает чертеж рамы и металл со склада. Выполняется нарезка металла по раскладке, механическая очистка, разметка, сверление, стыковка деталей, сварка, покраска, установка и настройка оборудования.

Также есть ряд требований и условий, основные из которых мы опишем далее в продукционной модели представления знаний.

Описание процесса решения

Приведем в нашей работе две различные модели представления знаний: продукционную и семантическую, каждая из которых дополняет другую и служит для определенных целей при разработке базы знаний интеллектуальной системы [11, 12].

Алгоритм составления **продукционной модели** представим следующими шагами:

1. Выявление целевых действий процесса.

Обязательные действия, выполняемые на заводах промышленного холодильного оборудования при изготовлении рамы для установки холодильного агрегата, – нарезка металла по раскладке, механическая очистка, разметка, стыковка деталей, сварка, отправка на покраску. Есть уже пять целевых действий, которые взаимосвязаны, следуют друг за другом и выполнение которых приводит к итоговой цели – изготовлению качественной рамы.

2. Выявление промежуточных действий.

Прежде чем нарезать металл по размерам, нужно получить металл и чертеж для сварочного участка и изучить чертежи. Металл должен быть определенной толщины и размеров. Здесь цепочка промежуточных действий: «получение чертежей и их изучение», «получение металла». Прежде чем выполнить разметку, нужно выполнить механическую очистку, поскольку ржавый металл плохо пропускает ток (дуга на сварке будет нестабильна, в шве будет ржавчина), сварные швы получаются некачественные, детали разъединятся. Вначале идут действия, позволяющие

¹ URL: <https://nsk-oem.ru>.

получить чертежи и металл, изучить чертеж, затем выполняется нарезка металла по раскладке, механическая очистка, разметка, сверление (если требуется), стыковка деталей, сварка.

3. Добавление в модель фактуальных знаний.

В модели будет рассматриваться два варианта выполнения работы: по ржавому металлу и по очищенному.

4. Словесное описание регламента в виде перечня продуктов с антецедентом и консеквентом.

– Если не провести нарезку металла по размерам, то выполнить работу по чертежу будет невозможно.

– Если был использован металл меньшей толщины, то будет вибрация от компрессоров.

– Если идет разница между чертежом и готовой рамой, то ее переделывают (по возможности из того же материала), иначе берется со склада новый металл.

– Если не очистить металл, то сварные швы разъединятся при эксплуатации.

– Если варить раму, то металл прогибается в ту сторону, где много сварных швов, так как после сварки в процессе остывания металл стягивается. Месту сгибания необходима работа термоправщика, он греет противоположную сторону металла огнем до выпрямления металла.

– Если металл был доставлен со склада неподходящей толщины и размеров, то он отправляется обратно на склад для замены.

– Если не установить стойки в раму, то при сборке агрегата возникнет проблема несостыковки, тогда рама возвращается для доработки.

– Если просверлить отверстия не по чертежу рамы, то компрессор не встанет по посадочным размерам.

– Если есть вибрация от компрессоров из-за меньшей толщины металла рамы, то вибрация передается на медные трубопроводы с последующей их разгерметизацией.

5. Формализация модели посредством выделения фактов (Ф), действий (Д) и продуктов (П), производимых субъектом, участником процесса.

Факты представлены множеством $\Phi = \{\Phi1 \dots \Phi10\}$, действия – множеством $D = \{D1 \dots D10\}$, продукты – множеством $\{P1 \dots P22\}$:

Субъект = сварщик;

$\Phi1$ = металл нужной толщины и размера;

$\Phi2$ = ржавый металл при сварке не создает непрерывную дугу;

$\Phi3$ = сварной шов качественный;

$\Phi4$ = рама произведена по чертежу;

$\Phi5$ = трубопроводы будут разгерметизированы;

$\Phi6$ = проблема несостыковки оборудования с рамой;

$\Phi7$ = металл остывает со стягиванием;

$\Phi8$ = много сварных швов в одном месте;

$\Phi9$ = материала хватает;

$\Phi10$ = необходимо переделать;

$D1$ = субъект принимает металл;

$D2$ = субъект принимает чертежи;

$D3$ = субъект нарезает металл;

$D4$ = субъект выполняет очистку металла;

$D5$ = субъект выполняет разметку;

$D6$ = субъект стыкует детали;

$D7$ = субъект выполняет сварку;

$D8$ = субъект выполняет сверление;

$D9$ = субъект выполняет замену металла;

$D10$ = детали разъединятся;

$D11$ = субъект переделывает раму из того же металла;

$D12$ = вибрация от компрессоров;

$D13$ = вибрация передается на медные трубопроводы;

$D14$ = субъект приваривает специальные стойки по чертежу;

$D15$ = рама возвращается в сварочный цех для доработки;

$D16$ = металл прогнулся в сторону сварных швов;

$D17$ = термоправщик греет противоположную сторону металла огнем до выпрямления металла;

$D18$ = субъект отправляет раму на покраску.

Для продуктов установим приоритет проверки правил (первая цифра в скобках).

$P1(1, D2) = D1$,

$P2(2, \text{не}\Phi1) = D9$,

$P3(3, \Phi1) = D3$,

$P4(4, \text{не}\Phi1) = P5(\Phi9)$,

$P4(5, \text{не}\Phi1) = D9$,

$P5(5, \Phi9) = D11$,

$P6(6, \Phi1) = D4$,

$P7(7, \Phi1) = \text{не}D4$,

$P8(8, \Phi3 \text{ и } D7 \text{ и } D6) = D5$,

$P9(9, \text{не}\Phi3 \text{ и } D7 \text{ и } D6) = D10$,

$P10(10, \text{не}\Phi4) = D15$,

$P11(11, \text{не}D14 \text{ и } \Phi6) = D15$,

$P12(12, D14) = D16$,

$P12(14, D14) = P14(14, \text{не}\Phi8 \text{ и } \text{не}\Phi7)$,

$P13(13, \Phi8 \text{ и } \Phi7) = D17$,

$P14(14, \text{не}\Phi8 \text{ и } \text{не}\Phi7) = P15(\text{не}\Phi1 \text{ и } \Phi5)$,

$P15(15, \text{не}\Phi1 \text{ и } \Phi5) = D12 \text{ или } D13$,

$P18(18, \text{не}\Phi4) = D15$,

$P17(17, \text{не}\Phi4) = D9$,

$\Pi 19(19, \Phi 4) = Д 18,$
 $\Pi 20(6, Д 11) = Д 3,$
 $\Pi 21(3, Д 9) = Д 1,$

$\Pi 22(20, \Phi 10) = Д 3.$
 6. Построение графа для отображения взаимосвязи продуктов (рис. 1).

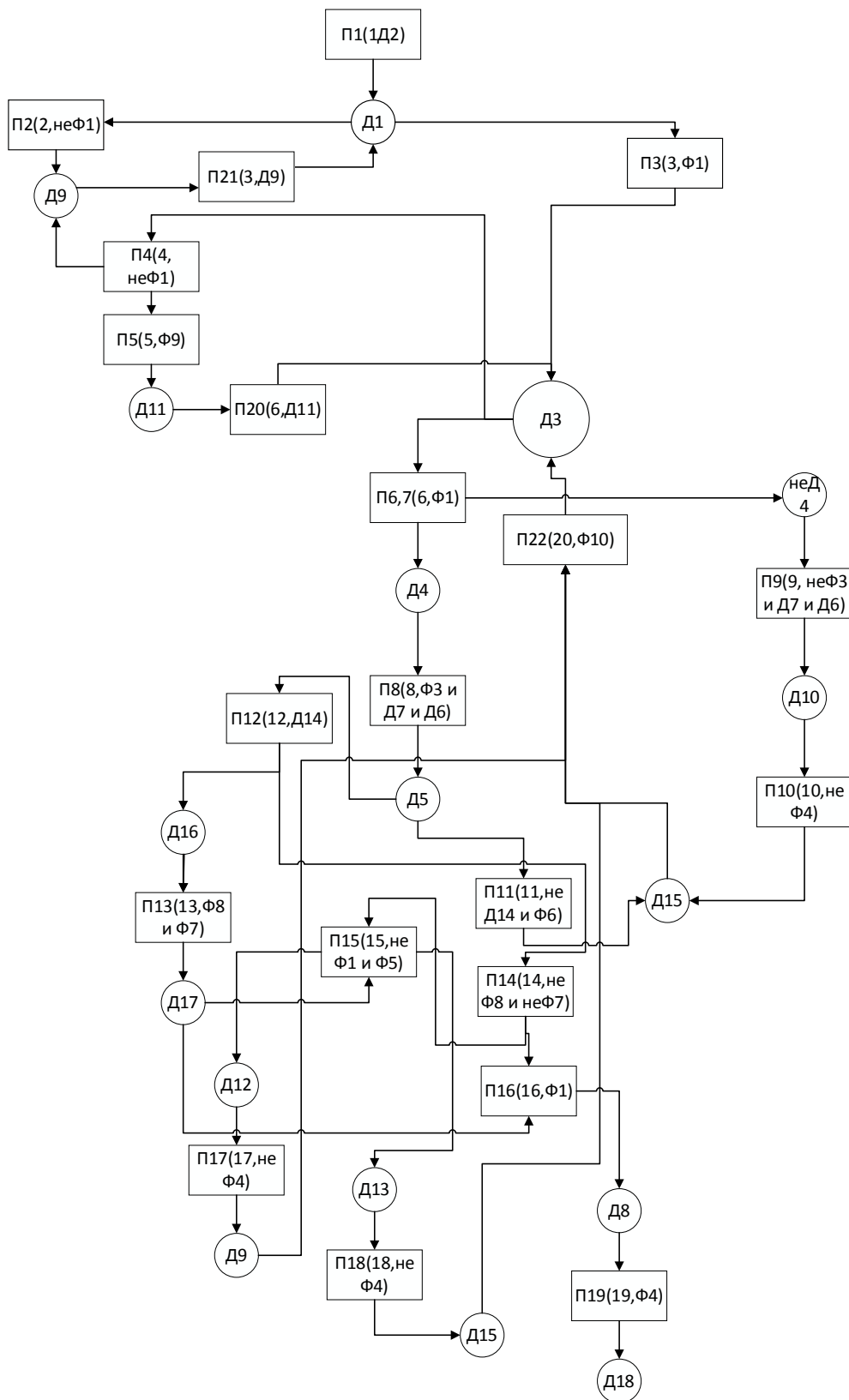


Рис. 1. Схема продуктов предметной области «Изготовление опорных рам для холодильных агрегатов»

Fig. 1. Scheme of logical outputs for the subject area "Manufacturing of support frames for refrigeration units"

Алгоритм составления **семантической модели** представим следующими шагами:

1. Выявление абстрактных объектов и понятий предметной области, необходимых для решения поставленной задачи, и представление их в виде вершин графа.

Ключевые понятия процесса изготовления рам для холодильного оборудования – сварщик и термоправщик. Первый изготавливает раму, второй – выравнивает. Выделим общее абстрактное понятие – работник завода. Работа невозможна без оборудования, чертежа и металла, однако здесь выделять отдельно оборудование не будем, так как понятие «сварщик» мыслится неотъемлемо от оборудования. Отправкой на покраску завершается данный процесс, поэтому выделим ее. От сварного шва зависит вся конструкция в процессе эксплуатации. Тогда вершинами графа будут «Работник завода», «Сварщик», «Термоправщик», «Чертеж», «Металл», «Рама», «Покраска», «Сварной шов», «Деталь».

2. Определение свойств для выделенных вершин и представление их в виде вершин, связанных с исходными вершинами, атрибутивными отношениями.

У металла есть толщина и размер, у этих атрибутов, в свою очередь, есть значение достаточности. У завода – адрес. Сварной шов может быть качественным или нет. Металл может иметь ржавчину. При недостаточной толщине металла происходит вибрация, которая передается на трубопроводы с их последующей разгерметизацией. У рамы есть стойки. Ржавчина на металле не создает непрерывную дугу при сварке, поэтому происходит разъединение рамы. Металл при сварке прогибается в месте, где много близких друг к другу швов (при остывании происходит стягивание), данную деформацию выпрямляет термоправщик. Рама, произведенная не по чертежу, не стыкуется с оборудованием.

Добавим вершины: «Адрес», «Толщина», «Размер», «Достаточность», «Качественный», «Некачественный», «Ржавчина», «Вибрация», «Трубопроводы», «Разгерметизация», «Стой-

ки», «Стягивание», «Близко друг к другу», «Деформация», «Не по чертежу», «Оборудование».

3. Определение связей между вершинами, с использованием функциональных, пространственных, количественных, логических, временных, атрибутивных отношений, а также отношений типа «являться наследником» и «являться частью». Виды связей будут обозначены на рис. 2.

4. Добавление конкретных объектов и понятий, описывающих моделируемую предметную область, и оформление их в виде вершин, связанных с уже существующими отношениями типа «являться экземпляром», «есть». Для примера ограничимся двумя мастерами. В реальной модели процесса добавляют информацию обо всех необходимых реальных объектах.

Завод ООО «НСК» находится по адресу: Раменское, Транспортный пр., А1. Сварщик Мастер 1 будет работать с металлом горячего проката, 4 мм толщины, 6 м длины. Термоправщик Мастер 2 будет выпрямлять металл. Данные вершины добавлены в граф и соединены функциональными отношениями и отношениями типа «например» или «является экземпляром».

Полученный в результате семантический граф изображен на рис. 2.

5. Решение. Для получения ответа на какой-либо вопрос по данной предметной области нужно найти участок сети и, следуя по связям, получить результат.

Рассмотрим алгоритм поиска ответа на вопрос «Что будет при недостаточной толщине металла?» с помощью построенной семантической сети. Из вопроса понятно, что нужно найти вершины: «Металл», «Толщина», «Достаточность». Следуя по этим вершинам можно пройти по соединяющим их дугам и составить ответ, что металл при недостаточной толщине в конечном итоге будет вибрировать, вибрация передается на установленные трубопроводы, которые разгерметизируются, конструкция вернется на доработку в сварочный цех. Таким образом, мы получим полное текстовое описание некоторой последовательности операций нашего процесса по изготовлению опорных рам для холодильных установок.

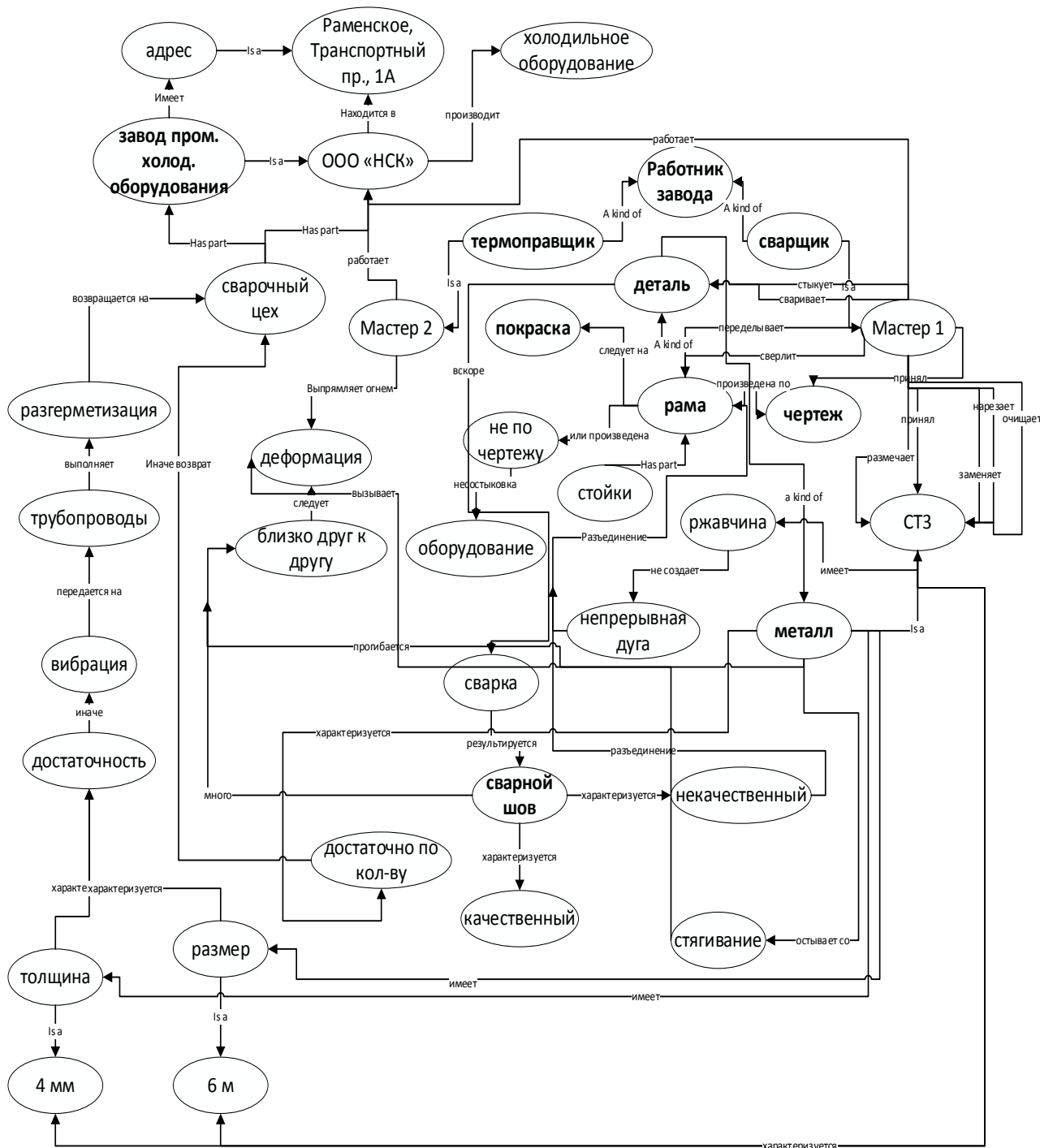


Рис. 2. Семантическая модель предметной области «Изготовление опорных рам для холодильных агрегатов»
 Fig. 2. Semantic model for the subject area "Manufacturing of support frames for refrigeration units"

На рис. 3 приведена типовая структура интеллектуальной информационной системы типа СПИР². Разработанные продукционная и семантическая модели, соответственно, будут заложены в виде знаний в базу фактов, базу правил и базу закономерностей. Методами дедуктивного,

индуктивного и правдоподобного логического вывода подсистемы решателя на основе продукционной модели пользователям системы будут выводиться новые знания о текущем процессе изготовления рам.

² URL: <https://intuit.ru/studies/curriculums/16029/courses/228/lecture/5919?page=1>.



Рис. 3. Типовая структура интеллектуальной информационной системы
 Fig. 3. Typical structure of an intelligent information system

Интеллектуальная информационная система позволит автоматизировать данный вывод посредством использования специальных языков семантических запросов [13–15]. Также возможно будет обеспечить интеллектуальность интерфейса оператора-пользователя системы при реализации алгоритма распределенного семантического поиска [16] и ряда других алгоритмов поиска по онтологии. Неотъемлемым этапом данного алгоритма будет составление общесистемного расширяемого тезауруса, основой которого по каждому процессу будет семантическая модель, подобная представленной в данной работе.

Заключение

В данной работе процесс по изготовлению опорных рам для холодильных агрегатов смоделирован при помощи двух моделей – продукционной и семантической. Обе эти модели могут быть заложены в базу знаний СППР и использоваться для интеллектуального управления процессом. Для полноты представления предметной области рекомендуется также использовать

фреймовую модель представления знаний, позволяющую прописать непосредственно сценарий конкретного процесса. Для задачи разработки систем управления с искусственным интеллектом представленный уровень моделирования предметной области является минимально достаточным. Требуется серьезный подход к сбору информации по моделируемым процессам и тщательная проработка моделей. Внесение данных в базу знаний на основе моделей представления знаний позволит повысить качество базы знаний и, соответственно, самой интеллектуальной системы. Следующим этапом решения задачи будет применение алгоритмов логического продукционного вывода и семантического поиска для реализации непосредственно СППР.

Библиографические ссылки

1. Автоматизированная система планирования и контроля загрузки производственных линий на хлебокомбинате / Ю. Н. Белова, В. О. Новицкий,

К. В. Гарев, А. С. Дорофеева // Хлебопродукты. 2020. № 7. С. 36–43.

2. Разработка систем управления с искусственным интеллектом для хлебокомбинатов / В. О. Новицкий, Ю. Н. Белова, Д. И. Печикин, Э. Ю. Большаков // Хлебопродукты. 2021. № 8. С. 46–52.

3. Димитров В. П., Борисова Л. В., Хубиян К. Л. Моделирование знаний в задаче поиска причин неисправностей // Инженерные технологии и системы. 2021. Т. 31, № 3. С. 364–379. DOI 10.15507/2658-4123.031.202103.364-379.

4. Одинцов А. Н. Проблема моделирования знания в искусственном интеллекте // Общество. Коммуникация. Образование. 2011. № 136. С. 56–60.

5. Разработка диагностических интеллектуальных систем на основе онтологий / М. А. Грищенко, Н. О. Дородных, С. А. Коршунов, А. Ю. Юрин // Онтология проектирования. 2018. Т. 8, № 2 (28). С. 265–284. DOI 10.18287/2223-9537-2018-8-2-265-284.

6. Сергеев Н. Е., Зарницын В. П. Фреймовые модели и перспективы использования в них мягких вычислений // Известия ЮФУ. Технические науки. 2003. №2. С. 171–175.

7. Минский М. Фреймы для представления знаний / пер. с англ. М.: Энергия, 1979. 159 с.

8. Шейко А. А. Современные подходы к использованию замороженных тестовых полуфабрикатов // Сельскохозяйственный журнал. 2014. №7. С. 231–234.

9. Кветный Ф. М., Юрко М. А., Заикина В. И. О замораживании хлебобулочных изделий [Определение технологических режимов замораживания, хранения и размораживания] // Хлебопечение России. 2006. № 1. С. 22–23.

10. Carr, L.G., Rodas, M.A.B., Della Torre, J.C.M., Tadini, C.C., 2006. Physical, textural and sensory characteristics of 7-day frozen part-baked French bread. Food Science and Technology 39 (5), 540–547.

11. Посевкин Р. В. Применение семантической модели базы данных при реализации естественноязыкового пользовательского интерфейса // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2018. № 2. С. 262–267.

12. Мансуров М. Н., Шеховцов А. В. Контроль проектирования, строительства и эксплуатации морских трубопроводов на основе фреймово-производственных моделей // Вести газовой науки : научно-технический сборник. 2019. № 2(39). С. 97-109. EDN HCHYGD.

13. Wan X., Wang H., Li J., LKAQ: large-scale knowledge graph approximate query algorithm, Information Sciences 505 (2019) 306–324.

14. Wu Y., Zhao S. Community answer generation based on knowledge graph, Information Sciences 545 (2021) 132–152.

15. Zhang R., Mao Y., Zhao W. Knowledge graphs completion via probabilistic reasoning, Information Sciences 521 (2020) 144–159.

16. Ломов П. А. Поддержка интеллектуальности пользовательского интерфейса системы распре-

ленного семантического поиска: проблемы и решения // Вестник Мурманского государственного технического университета. 2010. Т. 13, № 3. С. 574–586.

References

1. Belova Yu.N., Novitskii V.O., Garev K.V., Dorofeeva A.S. [Automated system for planning and monitoring the loading of production lines at the bakery]. *Khleboprodukty*, 2020, no. 7, pp. 36-43 (in Russ.).

2. Novitskii V.O., Belova Yu.N., Pechikin D.I., Bol'shakov E.Yu. [Development of control systems with artificial intelligence for bakeries]. *Khleboprodukty*, 2021, no. 8, pp. 46-52 (in Russ.).

3. Dimitrov V.P., Borisova L.V., Khubiyan K.L. [Knowledge modeling in the problem of finding fault causes]. *Inzhenernye tekhnologii i sistemy*, 2021, vol. 31, no. 3, pp. 364–379. DOI 10.15507/2658-4123.031.202103.364-379.

4. Odintsov A.N. [The problem of knowledge modeling in artificial intelligence]. *Obshchestvo. Kommunikatsiya. Obrazovanie*, 2011, no. 136, pp. 56-60 (in Russ.).

5. Grishchenko A.N., Dorodnykh N.O., Korshunov S.A., Yurin A.Yu. [Development of intelligent diagnostic systems based on ontologies]. *Ontologiya proektirovaniya*, 2018, vol. 8, no. 2 (28), pp. 265-284. DOI 10.18287/2223-9537-2018-8-2-265-284.

6. Sergeev N.E., Zarnitsin V.P. [Frame models and prospects for using soft computing in them]. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki*, 2003, no. 2, pp. 171-175 (in Russ.).

7. Minskii M. *Freimy dlya predstavleniya znaniy* [Frames for knowledge representation]. Moscow, Energiya Publ., 1979, 159 p. (in Russ.).

8. Sheiko A.A. [Modern approaches to the use of frozen dough semi-finished products]. *Sel'skokhozyaistvennyi zhurnal*, 2014, vol. 2, no. 7, pp. 231-234 (in Russ.).

9. Kvetnyi F.M., Yurko M.A., Zaikina V.I. [About freezing of bakery products (Definition of technological modes of freezing, storage and defrosting)]. *Khlebopechenie Rossii*, 2006, no 1, pp. 22-23 (in Russ.).

10. Carr, L.G., Rodas, M.A.B., Della Torre, J.C.M., Tadini, C.C., 2006. Physical, textural and sensory characteristics of 7-day frozen part-baked French bread. Food Science and Technology 39 (5), pp. 540-547.

11. Posevkin R.V. [Application of the semantic database model in the implementation of the natural language user interface]. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik informatsionnykh tekhnologii, mekhaniki i optiki*, 2018, vol. 18, no. 2, pp. 262-267 (in Russ.).

12. Mansurov M.N., Shekhovtsov A.V. [Control of design, construction and operation of offshore pipelines based on frame-production models]. *Nauchno-tekhnicheskii sbornik Vesti gazovoi nauki*, 2019, no. 2(39), pp. 97-109. EDN HCHYGD (in Russ.).

13. Wan X., Wang H., Li J. LKAQ: large-scale knowledge graph approximate query algorithm, Information Sciences 505 (2019), pp. 306-324.

14. Wu Y., Zhao S. Community answer generation based on knowledge graph, *Information Sciences* 545 (2021), pp. 132-152.

15. Zhang R., Mao Y., Zhao W. Knowledge graphs completion via probabilistic reasoning, *Information Sciences* 521 (2020), pp. 144-159.

16. Lomov P.A. [Support for the intelligence of the user interface of the distributed semantic search system: problems and solutions]. *Vestnik Murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2010, vol. 13, no. 3, pp. 574-586 (in Russ.).

The Use of Intelligent Knowledge Modeling Technologies to Control The Manufacturing Process of Support Frames of Refrigeration Units for Bakery Factory

Y. N. Belova, Senior lecturer, K.G. Razumovsky MGUTM, Moscow, Russia

L. R. Yusupova, Student, K.G. Razumovsky MGUTM, Moscow, Russia

The article is devoted to the application of intelligent technologies to improve the quality of production management on the example of the manufacturing process of support frames for the installation of refrigeration units in freezers of bakeries using semi-finished products to ensure production flexibility. The relevance of the task from the point of view of increasing production efficiency, as well as the requirements for digitalization, is substantiated. The approach to the identification of significant objects and conditions of the subject area, in relation to each model, is indicated. The stages and key features of support frames manufacturing are described, which are then formalized and, ultimately, presented in the form of production and semantic knowledge models, on the basis of which it is possible to develop a knowledge base – the core of a decision support system (DSS).

The main results of the work are compiled production and semantic models in a graphical representation, giving a holistic view of the modeled process in a complex. According to the production model, it is possible to trace the course of the process with the main possible deviations. The semantic model provides a holistic view of the objects of the subject area and their relationships. The frame model will be presented in further works. Similarly, it is proposed to create models for the representation of knowledge on the main and auxiliary processes of the bakery in order to use them all in complex in intelligent production management systems.

The considered approach can be used by a wide range of developers of intelligent systems for food and other industrial productions and is the first and fundamental step in the modern trend of digital transformation of industrial enterprises within the framework of Industry 4.0.

Keywords: intelligent technologies, knowledge representation models, refrigeration equipment, bakery factory, production model, semantic network.

Получено: 12.04.22