

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ РЕЦЕПТУРНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИЙ

**В.В. Голенков¹, В.В. Таберко², Д.С. Иванюк², К.В. Русецкий¹, Д.В. Шункевич¹,
И.Т. Давыденко¹, В.В. Захаров¹, В.П. Ивашенко¹, Д.Н. Корончик¹**

¹Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроник, г. Минск, Республика Беларусь
golen@bsuir.by

²ОАО «Савушкин продукт», г. Брест, Республика Беларусь
id@pda.savushkin.by

Аннотация

В данной работе предлагается онтологический подход к проектированию предприятий рецептурного производства на основе формальных онтологий на примере белорусского предприятия ОАО «Савушкин продукт». В частности, рассмотрены вопросы формализации стандартов, на основе которых осуществляется деятельность производства на примере стандарта ISA-88. Предлагается рассматривать стандарт ISA-88 как онтологию предметной области рецептурного производства, записанную на естественном языке. Формализация стандарта, таким образом, состоит в отображении структуры и содержания исходного текста документа стандарта на иерархию предметных областей и соответствующих им онтологий. Формальное представление стандарта является основой корпоративной интеллектуальной системы и позволяет автоматизировать решение целого ряда задач, включая информационное обслуживание сотрудников, приведение производства в соответствие стандартам и формальную оценку такого соответствия. Принципиально новым в данной работе является применение в качестве основы для построения интеллектуальной системы предприятия формального представления промышленного стандарта, выполненного на базе графодинамических моделей представления и обработки знаний.

Ключевые слова: онтология, онтологическое проектирование, интеллектуальная система, предприятие рецептурного производства, стандарт ISA-88.

Цитирование: Голенков, В.В. Проектирование предприятий рецептурного производства на основе онтологий / В.В. Таберко, Д.С. Иванюк, В.В. Голенков, К.В. Русецкий, Д.В. Шункевич, И.Т. Давыденко, В.В. Захаров, В.П. Ивашенко, Д.Н. Корончик // *Онтология проектирования*. – 2017. – Т. 7, №2(24). – С. XXX-XXX. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-2-XXX-XXX.

Цель работ

Статья посвящена рассмотрению различных аспектов повышения уровня автоматизации предприятий на примере предприятия рецептурного производства ОАО «Савушкин продукт». Актуальность этих исследований обусловлена тем, что без высокого уровня автоматизации и без высоких темпов повышения этого уровня современное предприятие не может добиться высокого уровня конкурентоспособности.

Целью работы является построение онтологической модели предприятия рецептурного производства как средства повышения уровня автоматизации такого рода предприятий и способности адаптации предприятия к постоянно меняющимся внешним условиям.

1 Проблемы автоматизации предприятий

Существующие средства автоматизации деятельности предприятия имеют высокую стоимость, трудны в освоении и адаптации к конкретному производству. Как правило, такие

средства, с одной стороны, жестко ориентированы на решение некоторого ограниченного класса задач, с другой стороны, разработчики стремятся сделать такого рода средства как можно более универсальными, наращивая их частными решениями, что приводит к сложности и громоздкости таких систем. Как следствие подобного подхода к наращиванию функционала, существующие средства автоматизации деятельности предприятия имеют низкий уровень гибкости (возможности внесения изменений), что приводит к существенным накладным расходам при адаптации таких средств к новым требованиям. Как правило, внесение изменений в указанные средства требует вмешательства разработчиков (часто сторонних с точки зрения предприятия), что влечет значительные временные и финансовые затраты. Как следствие двух указанных проблем, далеко не всякое предприятие может обеспечить высокий уровень автоматизации своей деятельности, даже в случае наличия на рынке подходящих решений.

Отсутствие общих унифицированных моделей и средств построения систем автоматизации деятельности предприятия приводит к большому количеству дублированных аналогичных решений как в рамках различных предприятий, так и в рамках разных подразделений одного предприятия. При этом часто возникает ситуация, когда некоторые частные системы, решающие различные задачи в рамках одного предприятия, оказываются несовместимы между собой, что приводит к дополнительным расходам на реализацию механизмов согласования, (например, преобразование форматов данных). Отсутствие такого рода моделей препятствует дальнейшему повышению уровня автоматизации предприятия, в частности, в области автоматизации принятия решений в нестандартных ситуациях, прогнозирования дальнейшего развития событий;

Высокий уровень зависимости системы автоматизации предприятия от разработчиков приводит к проблемам внедрения и сопровождения такой системы при смене разработчика. Отсутствие формальных моделей различных стандартов, регламентирующих деятельность предприятия, приводит к возможным трудностям в трактовке тех или иных положений стандарта, обучении соответствующего персонала и решении текущих вопросов, поскольку поиск в необходимой информации в документе большого объема может оказаться затруднительным. Кроме того, данный факт затрудняет процесс проверки предприятия или его подразделений на соответствие необходимым стандартам.

2 Требования, предъявляемые к средствам автоматизации современных предприятий

Средства автоматизации современного предприятия должны оперативно и с минимальными затратами времени сотрудников адаптироваться к любым изменениям самого производства – к расширению или сокращению объемов производства, изменениям номенклатуры производства, изменению используемого оборудования, изменению общей структуры производства, изменению взаимодействия с поставщиками и потребителями, к изменению нормативно-правовых актов (включая стандарты), которым предприятие должно соответствовать, к различного рода непредвиденным обстоятельствам. Подчеркнем, что адаптация средств автоматизации предприятия ко всем видам изменений самого предприятия и всем аспектам его взаимодействия с внешней средой прежде всего требует внесения изменений в модель предприятия, полностью отражающую текущее состояние его деятельности.

Средства автоматизации современного предприятия должны быть гибкими не только для оперативной адаптации к реконфигурации производства, но и для оперативного внесения изменений в сами средства автоматизации в направлении их постоянного

совершенствования. Отметим, что здесь существенным является не только снижение трудоемкости повышения уровня автоматизации, но и поддержка высоких темпов повышения уровня автоматизации, а также четко продуманный переходный процесс от одного уровня автоматизации к следующему, в ходе которого одновременно используется и устаревший вариант и новый.

Как эксплуатация системы автоматизации предприятия текущего уровня, так и перманентный процесс повышения этого уровня требуют согласованного и квалифицированного взаимодействия сотрудников предприятия. Основой такого взаимодействия является хорошо структурированная, достаточно полная и оперативно актуализируемая модель предприятия, отражающая все аспекты текущего состояния структуры и деятельности предприятия, а также утвержденные и обсуждаемые планы его развития. Такого рода комплексная модель называется знаниями предприятия, которыми надо управлять (добывать, хранить, модернизировать, распространять и т.д.) [1], [2].

Повышение уровня автоматизации предприятия предполагает существенное расширение числа автоматически или автоматизировано решаемых задач, а это, в свою очередь, приводит к автоматизации решения интеллектуальных задач, т.е. к использованию технологий искусственного интеллекта. К числу интеллектуальных задач, решаемых на предприятии, можно отнести:

- анализ производственных ситуаций (в том числе нештатных);
- принятие решений на различных уровнях;
- планирование поведения в сложных обстоятельствах;
- генерация, актуализация документации;
- обучение новых и повышение квалификации действующих сотрудников;
- и т.д.

Для того, чтобы обеспечить широкое применение технологий искусственного интеллекта в автоматизации предприятия, все корпоративные знания предприятия должны быть записаны на формальном языке представления знаний. При этом указанный язык должен быть удобен не только для использования в интеллектуальных компьютерных системах, но и для использования всеми сотрудниками предприятия. Это означает, что формальный язык представления знаний предприятия должен быть «понятен» и удобен не только для интеллектуальных компьютерных систем, но и для сотрудников предприятия.

3 Подходы к автоматизации предприятий

В настоящее время существует ряд подходов, ориентированных на повышение уровня автоматизации и гибкости предприятий различного рода. Далее рассмотрим те из них, которые оказали влияние на развитие подхода, предлагаемого в данной работе.

Онтологические модели предприятий. Подход к проектированию различного рода систем на основе онтологических моделей широко используется в настоящее время [3], при этом в особую область исследований выделяют «онтологии предприятия» [2]. Суть предлагаемых подходов состоит в построении онтологий, описывающих деятельность того или иного предприятия или его подразделений. Недостатками данных моделей являются отсутствие унификации представления различных видов знаний предприятия, отсутствие единого подхода к выделению и формированию онтологий, отсутствие единого подхода к построению иерархии онтологий что ограничивает возможность построения комплексной взаимосвязанной системы онтологий.

Модели управления знаниями предприятий. Управление знаниями в организации – это систематический процесс идентификации, использования и передачи информации, знаний,

которые люди могут создавать, совершенствовать и применять. Это процесс, в ходе которого организация генерирует знания, накапливает их и использует в интересах получения конкурентных преимуществ. В настоящее время управление знаниями предприятия реализуется в виде систем управления знаниями, методы и технологии построения которых рассмотрены в [4]. Наиболее актуальным направлением в формализации процесса накопления и управления знаниями предприятия является применение онтологического подхода к построению моделей такого рода процессов.

Модели ситуационного управления. Термин «ситуационное управление» впервые появился в работах Д.А. Поспелова [5]. Далее данное направление развивалось им самим, а также его учениками и последователями, что отражено в работах [6], [7]. Основная идея ситуационного управления состоит в том, что не существует какого-либо универсального подхода к управлению, в разных проблемных ситуациях необходимо учитывать разные факторы, влияющие на стратегии их решения, благодаря чему достигается эффективное принятие решений. В последние несколько лет наблюдается возобновленный интерес к данному направлению. В частности, в ряде работ описывается применение в реализации методов ситуационного управления онтологического подхода [8], [9]. Таким образом, модели и методы ситуационного управления могут быть использованы при построении онтологической модели предприятия с целью повышения эффективности разрабатываемых решений в конкретных производственных ситуациях, в том числе – нештатных.

Многоагентные модели предприятий. В настоящее время многоагентная модель широко применяется при проектировании систем автоматизации производства на различных уровнях. Удобство такого подхода и широта его использования обусловлены схожестью многоагентной модели с реальными процессами, происходящими на предприятии. Действительно, в классической многоагентной системе под агентом понимается некий субъект, как правило, активный и способный взаимодействовать с окружающей средой [10], [11]. Будучи объединенными в коллективы, такие агенты способны решать задачи гораздо более сложные, чем мог бы решить один агент. К достоинствам многоагентного подхода можно отнести возможность построения на его основе распределенных многоуровневых систем.

Наиболее очевидной интерпретацией такого рода модели в применении к конкретному предприятию является рассмотрение его работников как агентов, каждый из которых способен решать определенный класс задач, вынужденных координировать свои действия для достижения общей коллективной цели. С учетом иерархии структурных подразделений конкретной организации могут быть выделены и уровни иерархии агентов, соответствующие отделам или цехам. Далее в построенной таким образом модели предприятия могут применяться методы организации и управления, разработанные для многоагентных систем.

Модели реинжиниринга бизнес-процессов предприятий. Реинжиниринг бизнес-процессов – это фундаментальное переосмысление и радикальное перепроектирование бизнес-процессов предприятий для достижения резких, скачкообразных улучшений в основных актуальных показателях их деятельности: стоимость, качество, услуги и темпы [12]. Он базируется на понятиях будущего образа фирмы и модели бизнеса, раскрываемых в [13]. Для того, чтобы повысить эффективность реинжиниринга, необходимо обеспечить возможность построения формальных моделей, описывающих предприятие на разных уровнях детализации и обеспечить унификацию таких моделей, их интегрируемость и иерархичность.

Основной недостаток всех приведенных выше моделей заключается в том, что ни одна из них не обладает достаточной полнотой, и для наиболее адекватного соответствия реальному предприятию его модель должна быть результатом интеграции всех этих моделей.

4 Предлагаемый подход к автоматизации предприятий

В основе предлагаемого нами подхода к решению указанных выше проблем лежат следующие принципы.

- Предприятие рассматривается как распределенная, интеллектуальная социотехническая система, в основе которой лежит хорошо структурированная общая база знаний предприятия.
- В рамках базы знаний предприятия интегрируются все вышеуказанные модели (управления знаниями, онтологической, многоагентной, реинжиниринга бизнес-процессов).
- Предприятие рассматривается как иерархическая многоагентная система. В качестве агентов выступают как сотрудники предприятия, так и программные (программно-аппаратные) агенты. Иерархичность многоагентной системы означает то, что агенты могут быть неатомарными, т.е. коллективами взаимодействующих между собой агентов, причем такая структура может быть многократно вложенной.
- Весь комплекс средств (как информационных, так и материальных) обеспечивающих деятельность предприятия оформляется в виде интегрированной распределенной интеллектуальной системы, которую будем называть интеллектуальной корпоративной системой. Основными пользователями этой системы являются сотрудники предприятия.
- Проектирование онтологической модели предприятия сводится к проектированию онтологической модели его интеллектуальной корпоративной системы, которая далее может интерпретироваться имеющимся набором материальных ресурсов. При этом онтологическая модель предприятия является одновременно и объектом, и результатом проектирования.

Для реализации корпоративной системы предприятия предлагается использовать *Технологию OSTIS* [14][15]. Из этого следует:

- В качестве основы для представления знаний используется унифицированный, универсальный язык представления – *SC-код*.
- Разработка системы сводится к разработке ее модели, описанной средствами SC-кода (*sc-модели*), которая затем интерпретируется одной из платформ интерпретации.
- База знаний имеет иерархическую структуру, позволяющую рассматривать хранимые знания на различных уровнях детализации (прежде всего это иерархия *предметных областей (ПрО)* и соответствующих им *онтологий* [16]).
- Частью технологии являются средства коллективного проектирования баз знаний, средства проектирования машин обработки знаний и их компонентов.
- Модель обработки знаний основана на многоагентном подходе, позволяющем строить параллельные асинхронные машины обработки знаний, интегрировать различные частные модели обработки в рамках одной системы.
- Все агенты взаимодействуют исключительно посредством общей памяти, хранящей конструкции SC-кода (sc-памяти). Такой подход позволяет обеспечить гибкость такой системы и возможность параллельного решения различных задач [17].
- Для разработки программ агентов используется внутренний параллельный язык SCP, тексты которого также представлены в SC-коде, что позволяет обеспечить платформенную независимость таких агентов.

На данном этапе работы основное внимание уделено решению задачи разработки онтологической модели базы знаний, в частности – построению набора ПрО, описывающих содержание основных стандартов. Это обусловлено тем, что формальное представление стандартов является основой для согласования всех ключевых аспектов деятельности

предприятия и построения общей онтологической модели всего предприятия в целом и отдельных его компонентов.

Чтобы убедиться в актуальности решаемых задач, рассмотрим текущее состояние и историю развития автоматизации на конкретном предприятии.

5 Анализ развития средств автоматизации производства предприятия ОАО «Савушкин продукт»

В конце 90-х перед предприятием встал вопрос о серьезной модернизации – нужно было завоевывать не только внутренний рынок, но и внешний, российский. Из-за недостатка финансовых ресурсов в то время и ограниченным предложением на рынке готовых решений вариант с покупкой стороннего программного обеспечения для автоматизации был отвергнут. Было принято решение разрабатывать своими силами платформу системы, которая в дальнейшем позволяла бы реализовать не только промышленные проекты по АСУТП, но и решать бухгалтерские, складские и т.п. задачи. Работа над SCADA-системой, которую было решено назвать EasyServer, была начата небольшой командой разработчиков. Первым на собственной SCADA-системе был реализован проект по контролю температур в технологических емкостях (танках) аппаратного цеха.

После его успешного запуска и получения подтверждения эффективности принятых решений, были реализованы проекты по автоматизации моечной станции, цеха приемки молока, цеха сгущения. Данные проекты, несмотря на возникавшие трудности, были успешно запущены. В дальнейшем, основным инструментом разработки новых проектов стала SCADA-система EasyServer.

В ходе развития системы уровень автоматизации постоянно повышался. На начальном этапе охватывался только сбор и протоколирование данных с датчиков (температура, давление и т.д.). На последующем этапе появился уровень управления технологическими операциями и техническими устройствами. В настоящее время реализуется добавление уровня рецептурного (партионного) производства.

Для разработки проектов также используется сторонняя среда разработки CODESYS от компании 3S-Smart Software Solutions для контроллеров WAGO. Она бесплатна, позволяет использовать инженерные языки для программируемых логических контроллеров (IEC 61131-3) – IL, LD, FBD, SFC, ST. Такой подход используется для разработки относительно простых автономных проектов (посты приёмки молока) инженером по автоматизации без привлечения инженера-программиста. Реализованные проекты интегрируются в текущую систему за счет использования открытого протокола обмена MODBUS TCP.

Задача организации взаимодействия между отдельными проектами (как разработанными, так и сторонними) также требует решения для эффективной работы цеха. Однако нет универсального подхода – в некоторых проектах используется MODBUS TCP, в некоторых – дополнительный контроллер в качестве коммуникационного шлюза. Кроме того, используются физические соединения для обмена сигналами. Все это дополнительно усложняет систему.

Использование собственной разработки (как проектов, так и системы в целом) обладает следующими достоинствами:

- Высокая скорость разработки новых проектов. Вся накопленная при разработке функциональность становится частью системы. В настоящее время типовой проект можно разработать силами буквально одного инженера по автоматизации в течение нескольких часов, что позволило реализовать уже более 200 проектов.

- Относительная дешевизна разработанной SCADA-системы EasyServer. Несмотря на содержание штата квалифицированных разработчиков, затраты на нее оказались гораздо ниже, чем при использовании сторонних решений.
 - Обширный функционал собственной системы. Возможности системы сопоставимы с коммерческими аналогами (Simatic Step 7 + Simatic WinCC), несмотря на ограниченность ресурсов. Это достигается за счёт очень тесной связи с реальным производством.
- Недостатки текущего варианта реализации системы автоматизации производства:
- Представление данных реализовано в виде относительно простых отчетов. На этапе запуска первых проектов отчеты были реализованы в виде отдельных приложений на Delphi, данные из таблиц через BDE от сервера проекта экспортировались в MS Excel. Позже (2008 г) был приобретен генератор отчетов FastReport Server (web-сервер). В процессе его использования возникли проблемы, связанные с недостаточным функционалом системы и завершением поддержки от разработчика. На текущий момент принято решение организовать обработку данных (и формирование отчетов в том числе) на более высоком уровне, а на уровне АСУТП оставить только базовые отчеты о работе проектов. Поэтому открыт вопрос о платформе верхнего уровня (уровень предприятия в целом – ERP) для решения отчетных задач.
 - Так как приоритетом является скорость разработки (и модификации), имеет место относительно низкий уровень документации как системы в целом, так и отдельных проектов. В связи с этим требуются решения, в которых документация становится частью проектируемой системы. Так, в настоящее время описание функциональной схемы автоматизации, электрической части и спецификации проекта реализовано в CAD Eplan. Описание технологической части также выполняется с помощью CAD Eplan, но хранится оно отдельно в виде сценариев на языке Lua. Описание отдельных устройств (частотные преобразователи, клапаны) хранится в формате PDF и поступает от их производителей.
 - Ограниченное время на тестирование и отладку. Текущее состояние рынка и современные экстремальные методы проектирования постоянно ускоряют темпы запуска проектов, вследствие чего времени на отладку почти не остается. Требуется, буквально, чтобы новая разработанная функциональность работала уже вчера. Поэтому востребованы модули диагностики и самодиагностики для проектов.
 - Растет охват предприятия автоматизацией. Теперь это уже не только отдельные цеха, но и все предприятие в целом. Поэтому востребованы системы управления не на уровне “оператор” – “мнемокарта техпроцесса” – “отдельный техпроцесс”, а “диспетчер производственной логистики” – “интеллектуальный веб-интерфейс” – “завод в целом”.
 - Современные условия производства диктуют жесткие условия по постоянному снижению человеческого участия, поэтому внедрение роботов (роботизация производства) – необходимый элемент развития. Задачи по интеграции роботов и их систем управления в общую систему предприятия в том виде, как они представлены на рынке, требует очень больших затрат, как людских, так и финансовых. Поэтому нужны решения, позволяющие в привычном виде интегрировать и реализовывать новые проекты роботизации производственных процессов и переходу, по сути, к безлюдному производству.

Для успешного освоения мирового рынка сейчас желательно, а в будущем обязательно, привести организацию производства на предприятии «Савушкин продукт» в соответствие с международными стандартами (в частности, со стандартом ISA-88). Однако, стандарты могут являться сдерживающим фактором – они громоздки, относительно медленно развиваются, есть сложности с их толкованием. Их прямая попытка внедрения может

требовать неоправданно больших затрат. Поэтому для реализации процесса приведения предприятия в соответствие с международными стандартами необходимо использовать более гибкую организацию самого производства, а также более гибкую организацию учета эволюции самого стандарта.

6 Формализация стандартов рецептурного производства

6.1. Принципы формализации стандартов

Основой онтологического подхода к проектированию предприятия является формализация стандартов. Каждый стандарт рассматривается как онтология соответствующей ПрО, являющаяся основой для автоматизированного решения ряда задач, включая информационное обслуживание сотрудников, формальную оценку соответствия предприятия этим стандартам и т.д.

Одной из важных проблем внедрения стандарта на предприятии является возможность неоднозначной трактовки некоторых положений стандарта, а также необходимость постоянной коррекции такой трактовки с целью приближения ее к смыслу оригинала. Кроме того, существуют особенности применения стандарта на каждом предприятии, необходимость актуализации используемого стандарта (т.к. любой стандарт постоянно эволюционирует), с последующим внесением изменений в структуру и организацию деятельности предприятия для обеспечения соответствия стандарту.

Одним из путей решения такого рода проблем является построение его формальной семантической модели, которая могла бы одинаково интерпретироваться как компьютерной системой, так и человеком. Формальное семантическое представление стандарта позволяет без внесения каких-либо изменений в структуру такого представления дополнять его различного рода дидактической информацией (примерами, пояснениями, аналогиями и т.д.), которая способствует более быстрому пониманию стандарта сотрудниками предприятия. Кроме того, формальное семантическое представление стандарта обеспечивает значительное упрощение внесения изменений в такое представление стандарта, которые могут быть вызваны либо уточнением трактовки (понимания) этого стандарта, либо эволюцией самого стандарта (его исходного документа).

Построение формальной модели стандарта сводится к построению *интегрированной формальной онтологии*, специфицирующей соответствующую ПрО. Для этого необходимо отобразить структуру и содержание исходного текста документа стандарта на иерархию ПрО и соответствующих им *онтологий*. Выделение ПрО позволяет локализовать область решения задач, решаемых в рамках базы знаний, в том числе, проектных. Иными словами, поиск путей решения задачи из некоторой ПрО ограничен рамками этой ПрО.

Использование онтологического подхода к построению формальной модели стандарта позволяет путем добавления интеллектуальных агентов обработки знаний построить на его основе интеллектуальную справочную систему, предоставляющую широкий спектр информационных услуг пользователям, в том числе, способную отвечать на широкий спектр вопросов, ответ на которые может быть в явном виде не представлен в тексте стандарта, или поиск его в таком тексте затруднителен.

6.2. Формализация стандарта ISA-88

Среди множества стандартов, регулирующих деятельность предприятий, наиболее полно отражает специфику рецептурного производства (коим является ОАО «Савушкин продукт») стандарт ISA-88 [18].

Основным достоинством ISA-88 является разделение ПрО рецептурного производства на максимально независимые ПрО рецептов, оборудования и управления [19]. Такое разделение позволяет специалистам предприятия при решении своих задач осуществлять поиск их решения строго в своей ПрО, абстрагируясь от остальных. Этот факт закладывает фундамент в обеспечение гибкости рецептурного производства и сам по себе является основой для построения онтологической модели предприятия.

Стандарт ISA-88 в целом состоит из четырех частей, однако особую ценность для построения формальной онтологии имеет первая часть, поскольку она предоставляет терминологию и целостный набор понятий и моделей, используемых в управлении рецептурным производством. Далее в настоящей работе будем опираться именно на первую часть стандарта – ISA-88.00.01-2010 [20]. В качестве основных будем использовать англоязычные термины. Приводимые для справки русскоязычные термины взяты из ГОСТ Р МЭК 61512-1-2016 [21], являющегося официальным переводом IEC 61512-1:1997, который идентичен ISA-88.00.01-1995. Термины, вновь появившиеся в ревизии ISA-88.00.01 2010 года, в частности, касающиеся процедурной модели, в основном скомбинированы из уже существующих и переведены авторами статьи, исходя из имеющихся официальных переводов.

Структурно исходный документ первой части стандарта ISA-88 состоит из 6 разделов:

- 1) область применения стандарта (Scope of the standard),
- 2) нормативные ссылки (Normative References),
- 3) термины и определения (Definitions),
- 4) процессы серийного производства и оборудование (Batch Processes and Equipment),
- 5) понятия, используемые при управлении серийным производством (Batch Control Concepts),
- 6) действия и функции процесса управления серийным производством (Batch Control Activities and Functions).

Отообразим структуру документа на иерархию *ПрО* и соответствующих им *онтологий*. Стандарт ISA-88 в целом будет соответствовать ***ПрО предприятий рецептурного производства***. Первые два раздела специфицируют документ стандарта и непосредственно к описанию ПрО рецептурных производств не относятся и, соответственно, не отображаются на иерархию ПрО и онтологий. Раздел 3 соответствует терминологической онтологии и логической онтологии [16] ***ПрО предприятий рецептурного производства***. Подраздел 4.1 соответствует ***ПрО процессных моделей рецептурных производств***. Остальные подразделы четвертого раздела соответствуют ***ПрО физических моделей рецептурных производств***. Раздел 5 соответствует ***ПрО моделей процедурного управления***. Раздел 6 соответствует ***ПрО деятельности по управлению рецептурным производством***.

Запишем иерархию *ПрО* базового уровня в формальном виде на языке *SCn* [22]:

ПрО предприятий рецептурного производства

=> частная *ПрО**:

- *ПрО физических моделей рецептурных производств*
- *ПрО процессных моделей рецептурных производств*
- *ПрО моделей процедурного управления оборудованием рецептурных производств*
- *ПрО деятельности по управлению рецептурным производством*

Приведем ***структурные спецификации*** [16] частных *ПрО* на языке *SCn*.

ПрО физических моделей рецептурных производств

∃ максимальный класс объектов исследования':

equipment entity

Э *немаксимальный класс объектов исследования*':

- *area*
= *область производства*
- *site*
= *место производства*
- *process cell*
= *производственный цех*
- *unit*
= *технологическая установка*
- *equipment module*
= *блок оборудования*
- *control module*
= *блок управления*
- *enterprise*
= *предприятие*
- *equipment relation*
= *связь оборудования*

Э *исследуемое отношение*':

- *содержит**
= *contains**

Про процессных моделей рецептурных производств

Э *максимальный класс объектов исследования*':

- *process element*
= *процессный элемент*

Э *немаксимальный класс объектов исследования*':

- *process stage*
= *стадия технологического процесса*
- *process operation*
= *технологическая операция*
- *process action*
= *производственное действие*

Э *исследуемое отношение*':

- *process element link**
= *связь процессных элементов**

Про моделей процедурного управления оборудованием рецептурных производств

Э *максимальный класс объектов исследования*':

- *procedural element*
= *процедурный элемент*

Э *немаксимальный класс объектов исследования*':

- *process cell procedure*
= *процедура производственного цеха*
- *unit procedure*
= *процедура технологической установки*
- *operation*
= *операция*
- *phase*
= *фаза*
- *recipe procedural element*
= *процедурный элемент рецепта*
- *equipment procedural element*

- = *процедурный элемент оборудования*
- *recipe process cell procedure*
= *рецептурная процедура производственного цеха*
- *recipe unit procedure*
= *рецептурная процедура технологической установки*
- *рецептурная операция*
= *recipe operation*
- *рецептурная фаза*
= *recipe phase*
- *процедура оборудования производственного цеха*
= *equipment process cell procedure*
- *equipment unit procedure*
= *процедура оборудования технологической установки*
- *операция оборудования*
= *equipment operation*
- *фаза оборудования*
= *equipment phase*

∃ *исследуемое отношение*':
*execution order**
= *порядок исполнения**

Ниже будут рассмотрены примеры описания физической и процедурной моделей предприятия «Савушкин продукт» на основе системы понятий, исследуемых в соответствующих ПрО.

6.3. Формализация физической модели предприятия «Савушкин продукт»

Предприятие можно специфицировать в различных аспектах, некоторые из которых (процессы, процедуры, оборудование, управление) регулируются стандартом ISA-88. Как было рассмотрено в предыдущем разделе, этим аспектам соответствуют иерархически организованные ПрО. В качестве иллюстрации приведем фрагмент спецификации предприятия «Савушкин продукт» в рамках *ПрО физических моделей рецептурных производств*. Спецификация имеет семь уровней: *enterprise* (предприятие), *site* (место производства), *area* (область производства), *process cell* (ячейка процесса), *unit* (аппарат), *equipment module* (блок оборудования), *control module* (блок управления). Начнем рассмотрение с верхнего уровня – уровня предприятия.

6.3.1. Уровень *Enterprise* (предприятия)

Enterprise – самая крупная производственная единица, под которой обычно понимается компания в целом. В нашем случае на уровне предприятия находится ОАО «Савушкин продукт». Формальная запись этого факта приведена на рисунке 1. Здесь и далее для формального представления будет использоваться язык SCg [22].

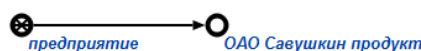


Рисунок 1. Предприятие «Савушкин продукт»

6.3.2. Уровень *Site* (мест производства)

Enterprise состоит из одного или более *site*. Места производства чаще всего выделяются по географическому принципу. *Site*, входящие в ОАО «Савушкин продукт», показаны на

рисунке 2. Формальное представление этой информации приведено на рисунке 3. Далее будем рассматривать место производства «Брест 2» (выделено на рисунке 2).



Рисунок 2. Производства предприятия «Савушкин продукт»

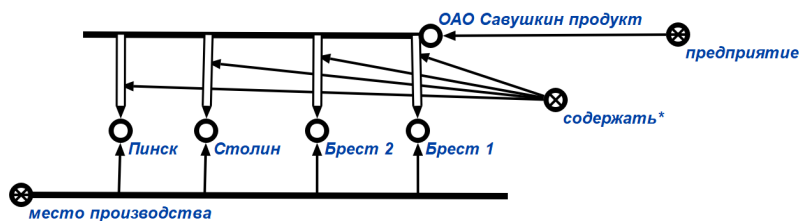


Рисунок 3. Формальное представление связи двух верхних уровней физической модели.

6.3.3. Уровень Area (областей производства)

Site состоит из одного или нескольких area. В рамках ISA-88 не все части производства будут являться частью area, а только те, которые имеют непосредственное отношение к процессу рецептурного производства.

Area производства «Брест 2» приведены на рисунке 4. Формальное представление данного фрагмента структуры предприятия приведено на рисунке 5. В дальнейшем будет рассматриваться area «Цех мягких сыров и творога», выделенный на рисунке 4.

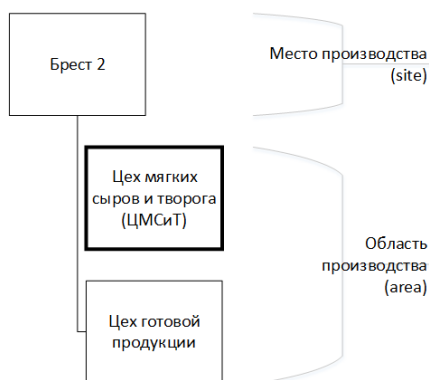


Рисунок 4. Производственные участки производства «Брест 2»

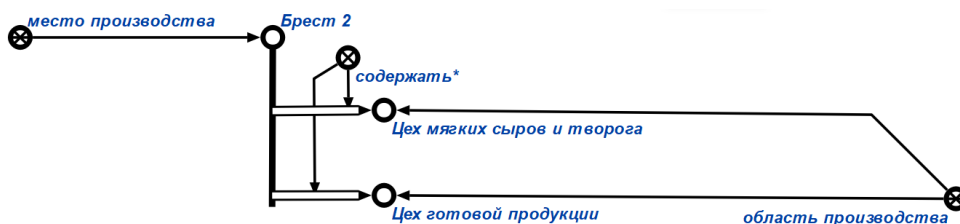


Рисунок 5. Формальное представление связи второго и третьего уровней физической модели

Определение границ сущностей верхних трех уровней оставлено за пределами стандарта ISA-88, поскольку разграничиваются они, как правило, по соображениям, связанным с политикой руководства или потребностями бизнеса и не касающимся непосредственно рецептурного производства [19]. Более подробно они рассматриваются в стандарте ISA-95.

6.3.4. Уровень *Process Cell* (производственных цехов)

Area содержит все оборудование, необходимое для производства партии продукта. Иногда для описания комплекса оборудования производственного участка используется термин «линия» (train). В процессной ячейке может быть более одной линии, последовательность оборудования в которых называется маршрутом (path). Ячейка процесса получает ингредиенты (сырье (raw) или промежуточное вещество (work-in-progress)) и преобразует их в готовую продукцию или другое промежуточное вещество.

Цех мягких сыров и творога производства «Брест 2» содержит две process cell – одна отвечает за изготовление творожной массы, а вторая – за ее формовку и фасовку (рисунок 6). На рисунке 7 приводится формальное представление этого фрагмента структуры предприятия. В дальнейшем будет рассматриваться process cell производства творожной массы «Хуторок» (выделена на рисунке 6).

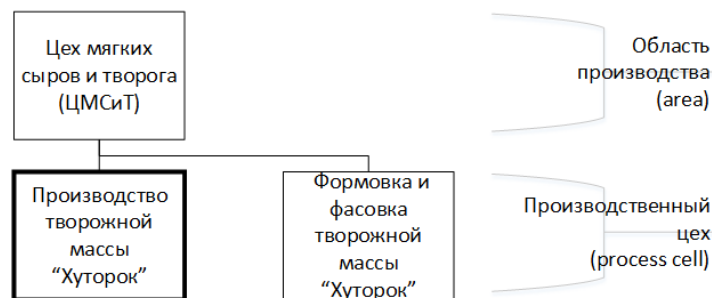


Рисунок 6. Ячейки процесса в цехе мягких сыров и творога

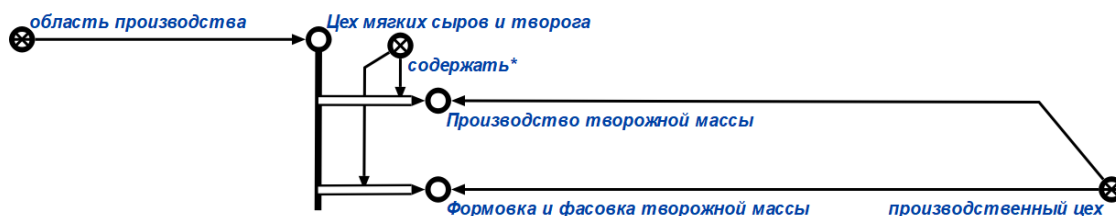


Рисунок 7. Формальное представление связи третьего и четвертого уровня модели.

6.3.5. Нижние уровни физической модели

Три нижние уровня модели оборудования рассматриваются совместно, поскольку, согласно ISA-88, и unit (технологические установки), и equipment module (блоки оборудования), и control module (модули управления) могут непосредственно содержаться в process cell, как показано на рисунке 8. Аналогичным образом, unit может непосредственно содержать как equipment module, так и control module. Unit является основной единицей рецептурного производства. Фактически, процесс рецептурного производства происходит именно в unit. Unit выполняют major processing activities (главные производственные действия), тем или иным образом придающие ценность промежуточному или конечному продукту – смешивание, осуществление химических реакций и др. Как правило, они строятся вокруг некоторой емкости, но это не обязательно так.

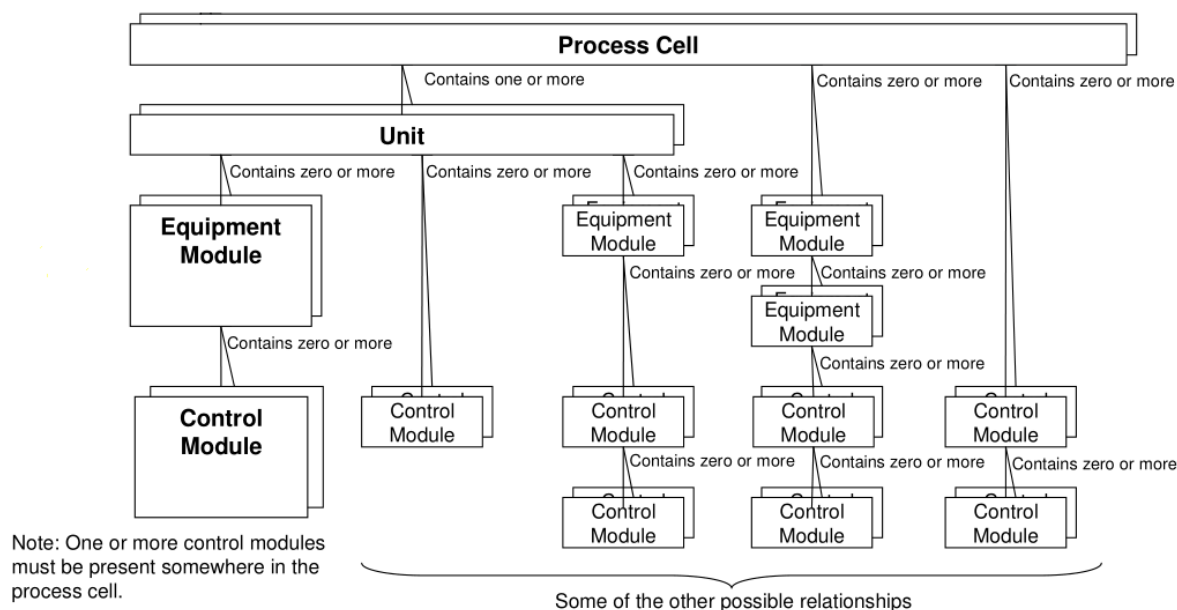


Рисунок 8 - Возможные отношения между сущностями трех нижних уровней физической модели в ISA-88

Equipment module (блок оборудования) представляет собой группу физических устройств, образованную для выполнения некоторой конкретной функции в рамках рецептурного производства. Стандартом ISA-88 подразумевается, что equipment module способен реализовывать логику, основанную на принятии решений (decision-based logic). В качестве примера можно привести контроль уровня жидкости или давления в некоторой емкости или поддержание определенного температурного режима обрабатываемого вещества.

Control module (модуль управления) – базовый элемент физической модели, представляющий собой связанный набор управляющих модулей (датчики, клапаны и пр.), рассматриваемых как единая сущность. Следует заметить, что не всегда control module будет иметь физическую реализацию – он может быть инструкцией или группой инструкций программируемого микроконтроллера или драйвером некоторого устройства.

В рассматриваемом process cell по производству творога имеется 32 коагулятора (unit), две линии приемки смеси, восемь линий выдачи, восемь линий откачки сыворотки и 16 бойлеров (equipment module), что показано на рисунке 9. Формальное представление нижних уровней физической модели представлено на рисунке 10. Перечисление управляющих модулей опущено для краткости, некоторые из них будут рассмотрены в примере ниже.

6.3.6. Формализация технической документации

Практическое приложение физической модели состоит в формализации документации предприятия, в частности функциональных схем. Принципиальная простота взаимного перехода между технологическим чертежом и его семантическим представлением, в которой мы убедимся далее, дает возможность задавать вопросы к элементам чертежа, инициировать команды, воздействующие на состояние соответствующего физического оборудования и отслеживать динамику состояния оборудования. Эта функциональность обеспечивается коллективом рецепторных и эффекторных агентов, работающих над семантическим представлением документации, хранящимся в общей семантической памяти. Это позволяет «оживить» техническую документацию предприятия, сделать ее многоцелевой.

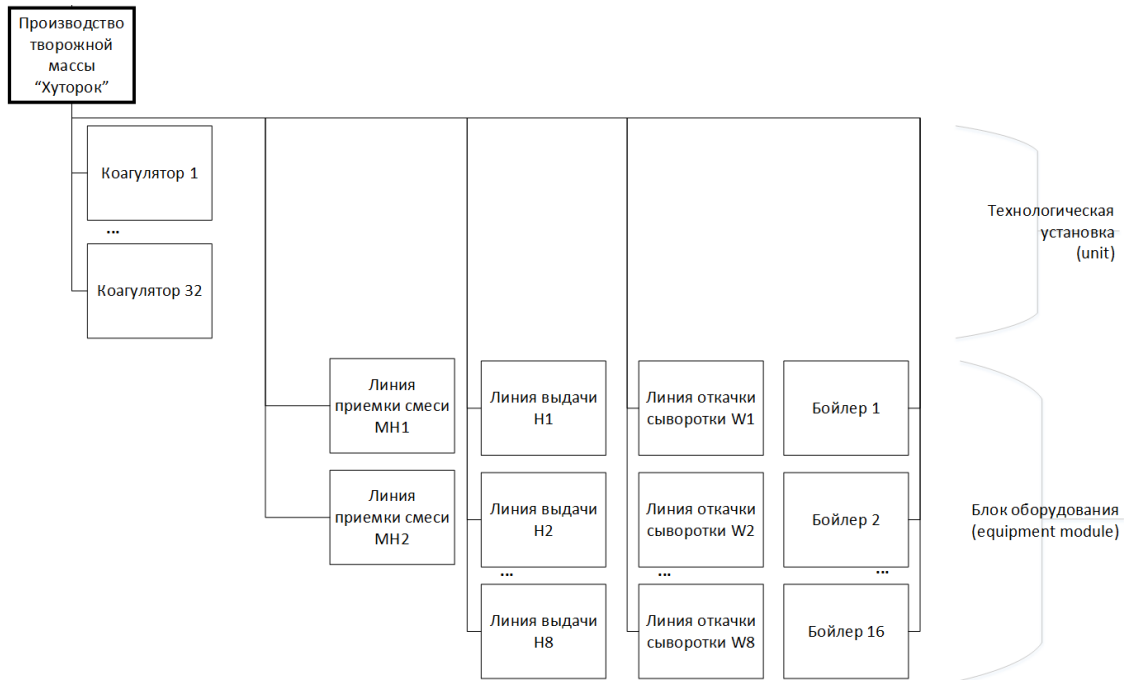


Рисунок 9 - Unit и equipment module в process cell, отвечающем за производство творожной массы

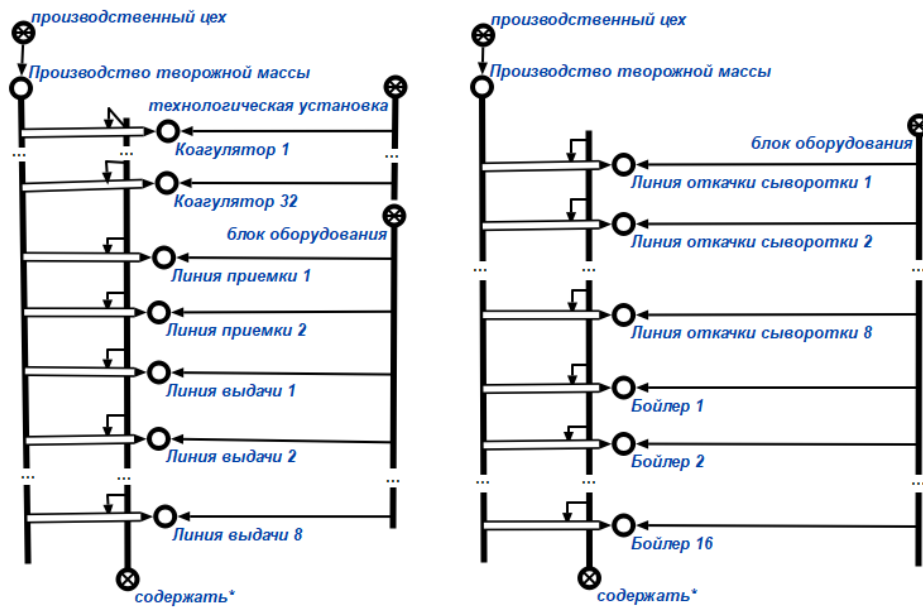


Рисунок 10 - Формальное представление нижних уровней физической модели.

В качестве примера практического приложения рассмотрим изображенный на рисунке 11 в виде функциональной схемы [23] фрагмент ячейки процесса, касающийся оборудования, используемого на этапе нагрева сгустка творожной массы, содержащий два коагулятора KOAG14 и KOAG15 (unit) и бойлер B1 (equipment module). Кроме того, на ней изображен целый ряд датчиков (температурный – TE4, уровня – LS41, LS42), насосов (N4) и клапанов (V40, V41, 14V1, 15V1), а также теплообменник (W1), которые, в соответствии со стандартом ISA-88 относятся к модулям управления, поскольку являются базовыми

элементами оборудования, выполняющими атомарные функции. Стрелками показана циркуляция греющей воды по системе подогрева.

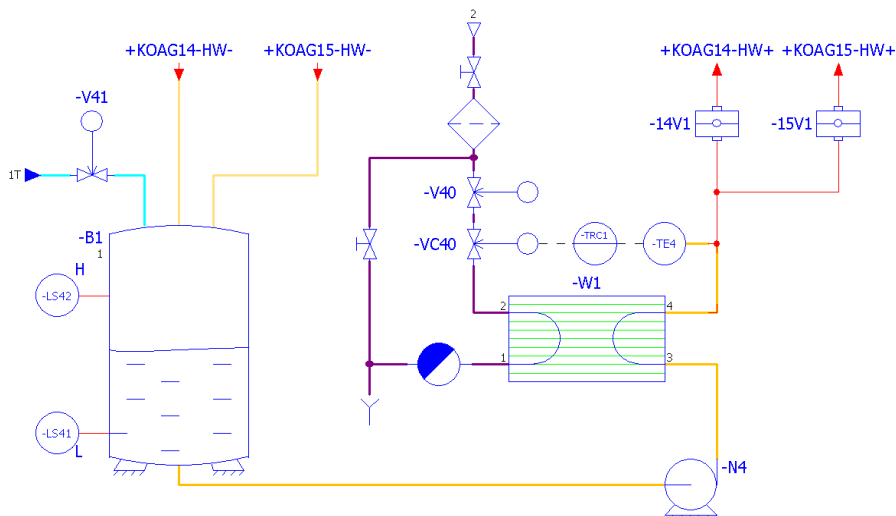


Рисунок 11 - Функциональная схема, выполненная средствами ГОСТ 21.404-85

Рассмотрим процесс превращения технологической схемы в ее семантическое представление. Каждой единице оборудования – конкретному датчику, насосу, трубе, коагулятору соответствует узел семантической сети. Тот факт, что конкретная единица оборудования является экземпляром того или иного класса оборудования, обозначается связью от узла, обозначающего класс, к узлу оборудования (рисунок 12).



Рисунок 12 - Пример экземпляра класса оборудования

Трубы относятся к особому виду оборудования, соединяющему другое производственное оборудование между собой. Если в рамках технологического процесса обрабатываемое вещество по трубе переходит от одной единицы оборудования к другой, то узел единицы оборудования, из которой исходит вещество, связывается со знаком трубы бинарным отношением *оборудование-источник**, а узел единицы оборудования, в которое вещество поступает, связывается со знаком трубы отношением *оборудование-приемник** (рисунок 13).

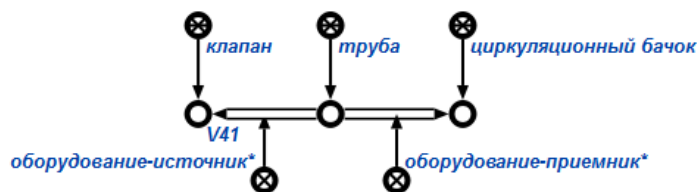


Рисунок 13 - Соединение двух единиц оборудования трубой

Может иметь место односторонняя связь датчика с трубой, непосредственно не относящаяся к перемещению вещества. Она обозначается связкой отношения *соединение** между знаком датчика и знаком трубы (рисунок 14).

На рисунке 11 также представлены в виде отдельных сущностей конструктивные части оборудования (датчики температуры коагуляторов). Для связи единицы оборудования с ее

конструктивной частью используется связка отношения *часть-целое**, связывающая узел единицы оборудования и узел его конструктивной части (рисунок 15).

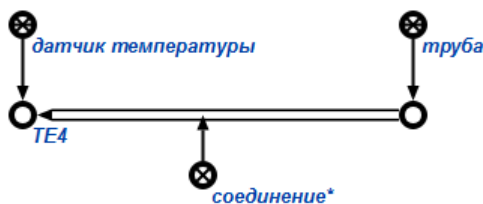


Рисунок 14 - Связь датчика и трубы

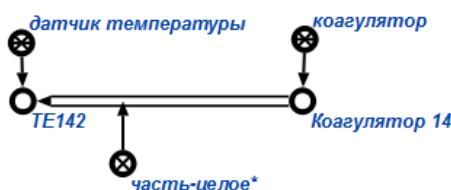


Рисунок 15 - Связь единицы оборудования с его конструктивной частью

Для отдельного цеха полученное в результате этих преобразований описание было бы достаточно полным. Однако для предприятия со множеством цехов, коим является «Савушкин продукт», имеется необходимость унификации семантического представления на основе общей онтологии. Это необходимо, среди прочего, для упрощения управления цехами и обеспечения межцехового взаимодействия. В качестве такой общей онтологии может выступить онтология ПрО физических моделей рецептурных производств, построенная в результате формализации стандарта ISA88. Она будет находиться в онтологической модели предприятия уровнем выше онтологии конкретного отраслевого производства, но уровнем ниже онтологии рецептурных производств в целом. Такая иерархическая организация онтологий позволяет обеспечить независимость конкретной производственной рецептуры от конкретного производственного оборудования, поскольку их взаимосвязь будет устанавливаться на более высоком уровне абстракции, что сходно с шаблоном проектирования «Мост» в объектно-ориентированной парадигме [24].

Чтобы установить связь полученного на первом этапе описания с понятиями, определенными в физической модели, необходимо сопоставить конкретные элементы оборудования с соответствующими уровням модели оборудования, рассмотренными выше. Совместив эти два описания, можно увидеть, каким образом связаны модули управления и модули оборудования. Эта связь является ключевой для обеспечения общности и повторного использования компонентов в рамках управления рецептурным производством [25].

К примеру, чтобы сказать, что конкретная единица оборудования (скажем, клапан) является модулем управления, необходимо включить обозначающий этот клапан узел семантической сети во множество модулей управления, как показано на рисунке 16



Рисунок 16 - Клапан является модулем управления

Оборудование остальных уровней идентифицируется аналогичным образом.

В результате описанных преобразований получаем фрагмент семантической сети, соответствующий рассматриваемому чертежу. Изобразим его на рисунке 18.

Представив таким образом исходный чертеж, мы получаем возможность задавать к нему различные вопросы. Рассмотрим два примера.

- «Приведите пример блока оборудования, содержащего теплообменник». Для ответа на вопрос используется sc-агент поиска конструкций по произвольному образцу. Его аргументом является sc-узел, обозначающий образец поиска, приведенный на рисунке 17. На естественном языке этот образец поиска можно переформулировать следующим образом: «Найти все такие структуры, входящие во множество блоков оборудования, в которые, среди прочего, входит один или более элементов множества теплообменник». Ответ на этот вопрос изобразим на рисунке 19 в виде фрагмента семантической сети.
- «Какие виды оборудования используются на этапе нагрева сгустка творожной массы?». Для ответа на этот вопрос используется sc-агент поиска подклассов указанного класса, используемых в рамках указанной структуры. Этот агент имеет два аргумента – узел структуры, в рамках которой выполняется поиск и узел класса сущностей, подклассы которого необходимо найти. Значениями аргументов в данном случае будут: (1) структура, изображенная на рис. 18 и (2) узел оборудование. Ответом на этот вопрос будет множество классов {коагулятор, датчик температуры, клапан, датчик объема, труба, циркуляционный бачок, теплообменник, насос}. Обратим внимание, что этот агент универсален и позволяет получать ответы на широкий класс вопросов общего вида «Какие X используются в Y?»»

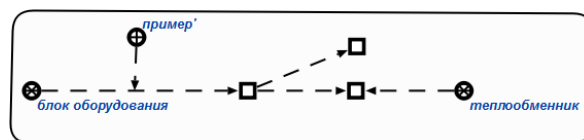


Рисунок 17 - Пример образца поиска

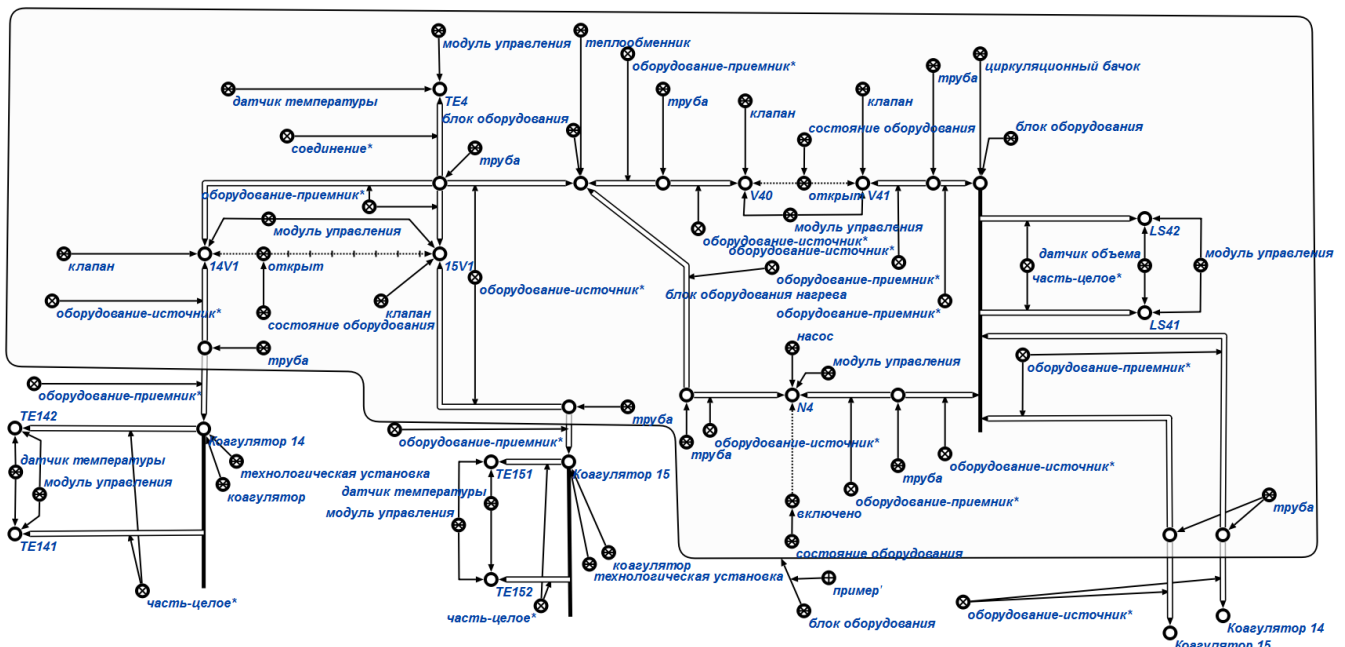


Рисунок 18 - Фрагмент семантической сети, соответствующий технологической схеме

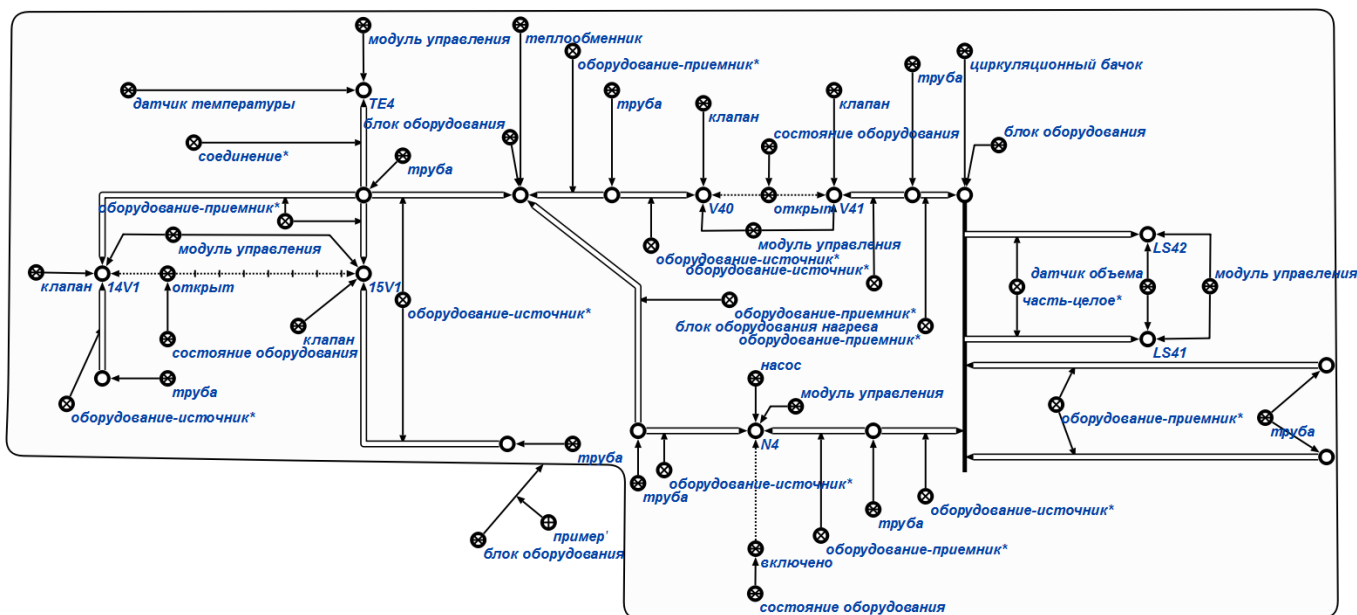


Рисунок 19 - Ответ системы на вопрос о блоке оборудования, содержащем теплообменник

6.4. Процедурная модель предприятия «Савушкин продукт»

Процедурная модель предприятия исследуется в рамках *ПрО моделей процедурного управления оборудованием рецептурных производств*. В данной ПрО объектом исследования является класс procedural element (процедурных элементов) – составных частей процедурной модели. По уровню детализации различаются следующие их разновидности – process cell procedure (процедуры производственного цеха), unit procedure (процедуры технологических установок), operation (операции) и phase (фазы). Кроме того, procedural element может относиться как к equipment (оборудованию) – equipment procedural element (процедурный элемент оборудования), так и к recipe (рецептуре) – recipe procedural element (рецептурный элемент оборудования).

В качестве примера приведем фрагмент процедурной модели производства творога в цехе мягких сыров и творога ОАО «Савушкин продукт», выполненный средствами [26].



Рисунок 20 - Процедурная модель, выполненная в соответствии с ISA-88.00.02

Процедура изготовления творога «Хуторок» заключается в последовательном выполнении unit procedure приготовления, формовки и фасовки (см. левую треть рисунка 20).

Unit procedure приготовления творожной массы включает, среди прочих, operation наполнения, нагрева и мойки (см. центральную часть рисунка 20). Operation нагрева включает единственную одноименную phase, что видно в правой трети рисунка 20.

В рамках формального представления каждому процедурному элементу будет соответствовать узел семантической сети. Конкретная разновидность процедурного элемента указывается аналогично тому, как было рассмотрено указание типа оборудования в описании модели оборудования. Процедурные элементы разного уровня детализации связываются между собой отношением *декомпозиция**. Последовательность выполнения процедурных элементов в рамках процедурного элемента более высокого уровня задается связками отношения *порядок исполнения**. После выполнения указанных преобразований получается фрагмент семантической сети, изображенный на языке SCg на рисунке 21.

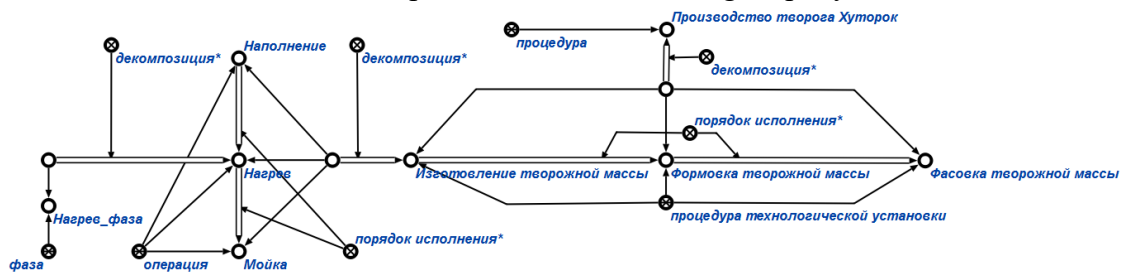


Рисунок 21 - Формальное представление процедурной модели производства творога

Заключение

В работе показаны основные принципы онтологического проектирования предприятий рецептурного производства на примере предприятия «Савушкин продукт». Ключевые положения данной работы:

- Предприятие рассматривается как **интеллектуальная многоагентная система**, управляемая знаниями, хранимыми в памяти, которая является общей для всех агентов этой системы и называется корпоративной памятью предприятия. Агентами такого интеллектуального предприятия являются как программные агенты, работающие над указанной корпоративной памятью, так и сотрудники предприятия, работающие и взаимодействующие через эту память;
- основой онтологического проектирования предприятия является четко заданная целостная **система формальных онтологий**, каждая из которых описывает принципы того или иного аспекта организации деятельности предприятий заданного класса. Каждой из формальных онтологий ставится во взаимно однозначное соответствие **ПрО**, которая формально включает в себя такие модели (спецификации) всевозможных предприятий, которые рассматривают эти предприятия в том аспекте, которому посвящена онтология, соответствующая этой ПрО. Совокупность моделей, которые описывают одно и то же проектируемое предприятие, но соответствуют различным онтологиям, составляют **интегрированную онтологическую модель проектируемого предприятия**;
- принципы организации деятельности, направленной на **совершенствование и адаптацию** предприятия к изменяющимся условиям также должны быть строго описаны в виде **онтологии совершенствования предприятий** заданного класса, которая, в свою очередь, должна быть декомпозирована на несколько частных онтологий, описывающих совершенствование различных аспектов структуризации или деятельности предприятия

- основным критерием качества разработанной **системы формальных онтологий**, соответствующих заданному классу предприятий, является возможность так декомпозировать онтологию совершенствования предприятий заданного класса, чтобы совершенствование различных аспектов предприятия могло осуществляться одновременно и в достаточной степени независимо друг от друга. Этот критерий характеризует **степень гибкости предприятий**, проектируемых на основе указанной системы формальных онтологий;
- в основе системы формальных онтологий для **предприятий рецептурного производства** лежит формализация **стандарта ISA-88**, который представляется в виде системы следующих онтологий:
 - **онтологии физических моделей рецептурных производств;**
 - **онтологии процессных моделей рецептурных производств;**
 - **онтологии моделей процедурного управления оборудованием рецептурных производств;**
 - **онтологии деятельности по управлению рецептурным производством.**

Важно подчеркнуть высокое качество стандарта ISA-88, позволяющее проектировать предприятия рецептурного производства, обладающие высокой степенью гибкости. Формализация стандартов позволяет упростить процесс приведения производства в соответствие стандартам и процесс аудита предприятия на предмет такого соответствия. Кроме того, формализация стандартов даёт возможность существенно повысить уровень информационного обслуживания и обучения сотрудников предприятия по вопросам использования стандартов.

Список источников

- [1] *Гаврилова, Т.А.* Интеллектуальные технологии в менеджменте: инструменты и системы / Т.А. Гаврилова, Д.И. Муромцев // Учеб. пособие. – СПб: «Высшая школа менеджмента», 2008.
- [2] *Шведин, Б.Я.* Онтология предприятия: экспириентологический подход: Технология построения онтологической модели предприятия / Б.Я. Шведин. – М: Ленанд, 2010. – 240 с.
- [3] *Боргест, Н.М.* Онтология проектирования: теоретические основы. Часть 1. Понятия и принципы / Н.М. Боргест // Учеб. пособие. – Самара: Изд-во СГАУ, 2010. – 88 с.
- [4] *Тузовский, А.Ф.* Системы управления знаниями (методы и технологии) / А.Ф. Тузовский, С.В. Чириков, В.З. Ямпольский // Под общ. ред. В.З. Ямпольского. – Томск: Изд-во НТЛ, 2005. – 260 с.
- [5] *Поспелов, Д.А.* Принципы ситуационного управления / Д.А. Поспелов // Известия РАН СССР, Техническая кибернетика. – 1971. – №2. – С. 10-17.
- [6] *Клыков, Ю.И.* Ситуационное управление большими системами / Ю.И. Клыков. – М.: Энергия. – 1974. – 134 с.
- [7] *Поспелов, Д.А.* Ситуационное управление. Теория и практика / Д.А. Поспелов. – М.: Наука, 1986. – 284 с.
- [8] *Скобелев, П.О.* Онтологии деятельности для ситуационного управления предприятиями в реальном времени / П.О. Скобелев // Онтология проектирования. – 2014. – №1.
- [9] *Терехин, Д.Э.* Системы ситуационного управления на основе технологий Semantic Web / Д.Э. Терехин, А.Ф. Тузовский // «Знания – Онтологии – Теории» (ЗОНТ-15): Мат-лы V Всероссийской конференции. – Новосибирск, Институт математики СО РАН, 2015. – с.151-155.
- [10] *Russel, S.J.* Artificial Intelligence: A Modern Approach. 3rd Edition / S.J. Russel, P. Norvig. – Prentice Hall, 2010. – 1152 p.
- [11] *Тарасов, В.Б.* От многоагентных систем к интеллектуальным организациям / В.Б. Тарасов // Эдиториал УРСС, 2002. – 352 с.
- [12] *Hammer, M.* Reengineering Work: Don't Automate, Obliterate / M. Hammer. – Harvard Business Review, July–August, 1990. – p. 104-112.
- [13] *Алиев, Р.А.* Производственные системы с искусственным интеллектом / Р.А. Алиев, Н.М. Абдикеев, М.М. Шахназаров. – М.: Радио и связь, 1990. – 264 с.

- [14] **Голенков, В.В.** Проект открытой семантической технологии компонентного проектирования интеллектуальных систем. Часть 1: Принципы создания / В. В. Голенков, Н.А. Гулякина // *Онтология проектирования*. – 2014. – №1. – с.42-64.
- [15] **Голенков, В.В.** Проект открытой семантической технологии компонентного проектирования интеллектуальных систем. Часть 2: Унифицированные модели проектирования / В. В. Голенков, Н.А. Гулякина // *Онтология проектирования*. – 2014. – №4. – с.34-53.
- [16] **Давыденко, И.Т.** Средства структуризации семантических моделей баз знаний / И.Т. Давыденко, Н.В. Гракова, Е.С. Сергиенко, А.В. Федотова // *Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем (OSTIS-2016): материалы VI Междунар.научн.-техн.конф.* – Мн.: БГУИР, 2016. – с. 93-106.
- [17] **Шункевич, Д.В.** Смысловая модель обработки знаний в интеллектуальных системах / Д.В. Шункевич, К.В. Русецкий // *Электроника-инфо*. – 2014. – № 3. – с. 35-37.
- [18] ISA88, Batch Control [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.isa.org/isa88>. – Дата доступа: 20.11.2016.
- [19] **Parshall, J.** Applying S88: Batch Control from a user’s perspective / J. Parshall and L. Lamb. – ISA, 1999. – 171 p.
- [20] ANSI/ISA-88.00.01-2010 Batch Control Part 1: Models and Terminology. – ISA, 2010. – 158 p.
- [21] ГОСТ Р МЭК 61512-1-2016. Управление серийным производством. Часть 1. Модели и терминология. – М.:Стандартинформ, 2016. – 70 с.
- [22] Метасистема IMS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ims.ostis.net>. – Дата доступа: 24.11.2016
- [23] ГОСТ 21.404-85. Система проектной документации для строительства. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах. – М.: Стандартинформ, 2007. – 12 с.
- [24] **Gamma, E.** Design patterns: elements of reusable object-oriented software / E. Gamma, R. Helm, R. Johnson, J. Vlissides. – Addison-Wesley, 1995. – 395 p.
- [25] JBF: Introduction to S88. For the improvement of the design of batch systems. – 2007. – 56 p.
- [26] ISA-88.00.02-2001 Batch Control Part 2: Data Structures and Guidelines for Languages. – ISA, 2001. – 124 p.

DESIGNING BATCH MANUFACTURING ENTERPRISES USING ONTOLOGIES

V.V.Golenkov¹, V.V.Taberko², D.S. Ivanyuk², K.V. Rusetski¹, D.V. Shunkevich¹, I.T. Davydenko¹, V.V. Zakharov¹, V.P. Ivashenko¹, D.N. Koronchik¹

¹*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus*

golen@bsuir.by

²*JSC «Savushkin product», Brest, Belarus*

id@pda.savushkin.by

Abstract

This article offers an ontological approach to designing batch manufacturing enterprises based on using formal ontologies. Belarusian enterprise JSC “Savushkin product” is used as an example. In particular, this article covers formalization of standards, that form the basis for enterprise operation, with ISA-88 used as an example. We propose to treat the ISA-88 standard as an ontology of a batch manufacturing subject domain, represented as a natural language text. Formalization of a standard then boils down to mapping structure and contents of the standard to a hierarchy of subject domains and respective ontologies. Formal representation of a standard forms the basis for corporate intelligent system and simplifies automation of a wide range of tasks, such as providing information service for employees, making enterprise adherent to standards and formal standard adherence evaluation. Fundamental new result covered in this article consists in using formal representation of the industry standard implemented using graphodynamical model of knowledge representation and processing as a basis for creating an enterprise-wide intelligent system.

Key words: *ontology, ontology-based design, intelligent system, batch manufacturing enterprise, ISA-88 standard.*

Цитирование: *Golenkov VV, Taberko VV, Ivanyuk DS, Rusetski KV, Shunkevich DV, Davydenko IT, Zakharov VV, Ivashenko VP, Koronchik DN. Designing Batch Manufacturing Enterprises Using Ontologies. Ontology of designing. 2017. – 24(2): XXX-XXX. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-2-XXX-XXX.*

References

- [1] *Gavrilova TA, Muromtsev DI. Intelligent technologies in management: tools and systems [In Russian]. – Saint-Petersburg: “Graduate School of Management”; 2008.*
 - [2] *Shvedin BYA. Enterprise ontology: an experientological approach: Technology for constructing an ontological model of an enterprise [In Russian]. – Moscow: Lenand publ.; 2010.*
 - [3] *Borgest NM. Ontology of designing: theoretical basics. Part 1. Terms and principles. – Samara: Samara State Aviation University publ.; 2010.*
 - [4] *Tuzovskiy AF, Tchirikov SV, Yampolskiy VZ. Knowledge management systems (methods and technologies) [In Russian]. Ed. by Yampolskiy VZ. – Tomsk: NTL publ.; 2005.*
 - [5] *Pospelov DA. Situational control principles [In Russian]. USSR RAS News 1971; 2: 10-17.*
 - [6] *Klykov YuI. Situational control of large systems [In Russian]. – Moscow: Energiya publ.; 1974.*
 - [7] *Pospelov DA. Situational control. Theory and practice [In Russian]. – Moscow: Nauka publ.; 1986.*
 - [8] *Skobelev PO. Activity ontologies for realtime situational control of an enterprise [In Russian]. Ontology of Designing 2012;1(3): 6-38.*
 - [9] *Terekhin DE, Tuzovskiy AF. Situational control systems based on Semantic Web technologies [In Russian]. “Knowledge – Ontologies – Theories”: Proc. of 5th Nationwide Russian Conference. – Novosibirsk: Math Institute of CO RAS; 2015: 151-155.*
 - [10] *Russel SJ, Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach (3 ed.). Prentice Hall; 2010.*
 - [11] *Tarasov VB. From multiagent systems to intelligent organizations [In Russian]. Editorial URSS; 2002.*
 - [12] *Hammer M. Reengineering Work: Don't Automate, Obliterate. Harvard Business Review; 1990: 68.4: 104-112.*
 - [13] *Aliyev RA, Abdikeyev NM, Shakhnazarov MM. Enterprise systems with artificial intelligence [In Russian]. – Moscow: Radio i svyaz publ.; 1990.*
 - [14] *Golenkov VV, Guliakina NA. Project of Open Semantic Technology of the Componental Design of Intelligent Systems. Part 1: The Principles of Creation [In Russian]. Ontology of designing 2014; 1(11): 42-64.*
 - [15] *Golenkov VV, Guliakina NA. Project of Open Semantic Technology of the Componental Design of Intelligent Systems. Part 2: Unified Model Design [In Russian]. Ontology of designing 2014; 4(14): 34-53.*
 - [16] *Davydenko IT, Grakova NV, Sergienko ES, Fedotova AV. The Tools of Structuring the Semantic Models of Knowledge Bases [In Russian]. Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2016): proceedings of the 6th international scientific and technical conference. – Minsk: BSUIR; 2016: 93-106.*
 - [17] *Shunkevich DV, Rusetski KV. Sense model of knowledge processing in intelligent systems. Electronics-info 2014; 3(105): 35-38.*
 - [18] *ISA88, Batch Control. – 2017. – URL: <https://www.isa.org/isa88>. – Valid on: 01.03.2017.*
 - [19] *Parshall J, Lamb L. Applying S88: Batch Control from a user's perspective. ISA; 1999.*
 - [20] *ANSI/ISA-88.00.01-2010 Batch Control Part 1: Models and Terminology. ISA; 2010.*
 - [21] *ГОСТ Р МЭК 61512-1-2016. Batch Control Part 1: Models and Terminology [In Russian]. – Moscow: Standartinform; 2016.*
 - [22] *IMS Metasystem. – 2017. – URL: <http://ims.ostis.net>. – Valid on: 01.03.2017.*
 - [23] *GOST 21.404-85. System of design documents for construction. Industrial process automation. Instrumentation symbols for use in diagrams [In Russian]. – Moscow: Standartinform; 2007.*
 - [24] *Gamma E, Helm R, Johnson R, Vlissides J. Design patterns: elements of reusable object-oriented software. Addison-Wesley; 1995.*
 - [25] *JBF: Introduction to S88. For the improvement of the design of batch systems. JBF; 2007.*
 - [26] *ISA-88.00.02-2001 Batch Control Part 2: Data Structures and Guidelines for Languages. ISA; 2001.*
-

Сведения об авторах



Голенков Владимир Васильевич, 1949 г. рождения. В 1971 г. с отличием окончил **физический** факультет Белорусского государственного университета, д.т.н. (1996), профессор, заведующий кафедрой интеллектуальных информационных технологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, инициатор ежегодной международной научно-технической конференции «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем», член Российской ассоциации искусственного интеллекта, член редколлегии журналов «Программные продукты и системы», «Онтология проектирования», «Электроника ИНФО», «Речевые технологии». В

списке научных трудов более 100 работ в области семантических технологий.

Vladimir Golenkov was born in 1949. In 1971 he graduated from the physics department of Belarusian State University with honors diploma, Dr. of science (1996), professor. The head of the department of Intelligent information technologies of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, initiator of the annual international science and technical conference «Open Semantic technologies for Intelligent Systems» (OSTIS), member of Russian association of artificial intelligence, editorial board member of such journals as «Program products and systems», «Ontology of designing», «Electronics-INFO», «Speech technologies». The list of his published works consists of more than 100 articles on the various aspects of semantic approach in the intelligent systems design.



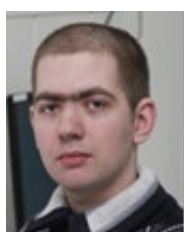
Таберко Валерий Васильевич, 1963 г. рождения. В 1985 г. окончил факультет прикладной математики Белорусского государственного университета. С 1985 г. до 1993 г. работал на Брестском электромеханическом заводе, в 1993 г. перешел на предприятие “Брестский молочный комбинат” начальником информационно-вычислительного центра, в настоящее время занимает должность заместителя генерального директора по логистике на ОАО “Савушкин продукт”.

Valery Taberko was born in 1963. In 1985 he graduated from the faculty of Applied Mathematics of Belarusian State University. Since 1985 till 1993 worked at Brest electromechanical plant, in 1993 moved to a new job at Brest milk plant as Head of Information and Computing Center, now works as Deputy Director for Logistics at JSC «Savushkin product».



Иванюк Дмитрий Сергеевич, 1982 г. рождения. В 2005 г. с отличием окончил факультет электронно-информационных систем Брестского государственного технического университета, исследователь технических наук, ведущий инженер-программист отдела программирования ОАО «Савушкин продукт», старший преподаватель кафедры интеллектуальных информационных технологий Брестского государственного технического университета. Имеет около 10 печатных работ в области нейронных сетей и семантических технологий.

Dzmitry Ivanuk was born in 1982. In 2005 he graduated from the intelligent information technologies department of Brest State Technical University with honors diploma, Researcher of technical sciences. Lead software development engineer at JSC «Savushkin product», senior lecturer at department of Intelligent Information Technologies in Brest State Technical University. Has over 10 published works on the subject of semantic technologies and artificial neural networks.



Русецкий Кирилл Валерьевич, 1990 г. рождения. В 2013 г. окончил Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники по специальности «Искусственный интеллект», магистр технических наук, аспирант кафедры интеллектуальных информационных технологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. Имеет около 20 печатных работ в области семантических технологий.

Kirill Rusetski was born in 1990. In 2013 he graduated from Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics majoring in Artificial intelligence. Master of technical sciences. Post graduate student of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. Has near 20 published works on the subject of semantic technologies.



Шункевич Даниил Вячеславович, 1990 г. рождения. В 2012 г. с отличием окончил Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники по специальности «Искусственный интеллект», исследователь технических наук, ассистент кафедры интеллектуальных информационных технологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. Имеет более 50 печатных работ в области семантических технологий.

Daniil Shunkevich was born in 1990. In 2012 he graduated from Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics with honors diploma majoring in Artificial intelligence. Researcher of technical sciences. Assistant in Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. Has over 50 published works on the subject of semantic technologies.



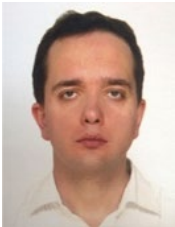
Давыденко Ирина Тимофеевна, 1987 г. рождения. В 2010 г. окончила Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники по специальности «Искусственный интеллект», исследователь технических наук, ассистент кафедры интеллектуальных информационных технологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. Имеет более 60 печатных работ в области семантических технологий.

Irina Davydenko was born in 1987. In 2010 she graduated from Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics majoring in Artificial intelligence. Researcher of technical sciences. Assistant in Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. Has over 60 published works on the subject of semantic technologies.



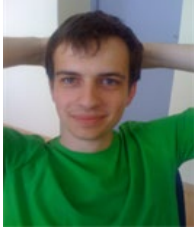
Захаров Владимир Владимирович, 1964 г. рождения. В 1986 г. Окончил Минское высшее инженерное зенитное ракетное училище ПВО, кандидат технических наук (2004), доцент кафедры интеллектуальных информационных технологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. Имеет более 40 печатных работ в области синтеза спецпроцессоров и защиты информации.

Vladimir Zakharov was born in 1964. In 1986 he graduated from Minsk Higher Air Defense Anti-aircraft Missile Academy. PhD (2004). Assistant professor of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. Has over 40 published works on the subject of synthesis of special processors and information protection.



Иващенко Валерьян Петрович, 1978 г. рождения. В 2000 г. окончил Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники по специальности «Искусственный интеллект», кандидат технических наук (2015), доцент кафедры интеллектуальных информационных технологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. Имеет более 50 печатных работ в области семантических технологий.

Valerian Ivashenko was born in 1987. In 2000 he graduated from Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics majoring in Artificial intelligence. PhD (2015). Assistant professor in Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. Has over 50 published works on the subject of semantic technologies.



Корончик Денис Николаевич, 1987 г. рождения. В 2009 г. окончил Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники по специальности «Искусственный интеллект», исследователь технических наук. Имеет около 10 печатных работ в области семантических технологий.

Denis Koronchik was born in 1987. In 2009 he graduated from Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics majoring in Artificial intelligence. Researcher of technical sciences. Has over 10 published works on the subject of semantic technologies.

Материал предлагается в тематический раздел *Прикладные онтологии проектирования.*