

ОНТОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К КОМПЛЕКСНОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЙ РЕЦЕПТУРНОГО ПРОИЗВОДСТВА В КОНТЕКСТЕ КОНЦЕПЦИИ INDUSTRY 4.0

Иванюк Д. С., Пупена А. Н., Шункевич Д. В.
ОАО «Савушкин продукт»

Национальный университет пищевых технологий
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Брест, Республика Беларусь
Киев, Украина

Минск, Республика Беларусь

E-mail: id@pda.savushkin.by, pupena_san@ukr.net, shunkevich@bsuir.by

В работе рассматривается онтологический подход к проектированию предприятий рецептурного производства, предполагающий переход от рассмотрения производственных процессов в рамках одного предприятия к рассмотрению процессов, охватывающих, в соответствии с концепцией Industry 4.0, и смежные предприятия – поставщиков сырья (молочные фермы) и оптовых потребителей продукции (магазины, торговые сети). Рассмотрены примеры реализации указанного подхода на предприятии ОАО «Савушкин продукт», в частности, рассматривается описание моделей предприятия на основе онтологического подхода, реализация подсистемы информационного обслуживания сотрудников в рамках SCADA-системы, подсистема управления логистическими процессами. Кроме того, рассматривается агентно-ориентированный подход к организации взаимодействия роботов в рамках роботизированных производственных комплексов, основанный на взаимодействии через общую семантическую память.

ВВЕДЕНИЕ

Данная статья рассматривает дальнейшее развитие автоматизации предприятий рецептурного производства на примере ОАО «Савушкин продукт». Оно состоит в переходе от рассмотрения производственных процессов, происходящих в рамках конкретного предприятия, к рассмотрению полного продуктового цикла – от получения заявки от магазина-клиента до ее выполнения (удовлетворения запроса потребителя). Данный процесс, кроме самого предприятия, включает в качестве субъектов молочные фермы, логистические службы, магазины и др. Также даже в рамках одного предприятия на сегодняшний день используются разрозненные системы (несколько SCADA-систем, система управления транспортом, система управления складом и др.). Стыковка таких систем и поддержка согласованности информации в них осуществляется вручную (либо опускается). Сейчас существует потребность автоматизировать согласование информации и обеспечить, там где это уместно, взаимодействие устройств на разных этапах продуктового цикла. Наличие такой потребности привело к появлению инициативы Industry 4.0 в Германии и ей аналогичных в других странах мира.

Целью работы является развитие моделей, рассмотренных в работах [1] [2] [3], в соответствии с концепцией Industry 4.0.

I. КОНЦЕПЦИЯ INDUSTRY 4.0 И КИБЕРФИЗИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Концепция Industry 4.0 (Industrie 4.0) была сформулирована в Германии в 2011 году. Она

подразумевает создание и внедрение в производство т.н. киберфизических систем (КФС) и использование интернета вещей и услуг в производственных процессах [4]. Сейчас под термином Industry 4.0 подразумевают стек новых технологий и принципов для управления современным производством во всем мире. Многие страны разрабатывают свои стратегии и дорожные карты под различными названиями: «умная фабрика» (Нидерланды), «фабрика будущего» (Италия), «промышленный интернет вещей» (США) и другие.

Основные принципы концепции Industry 4.0 [5]:

- **Взаимодействие.** Возможность взаимодействия устройств, датчиков, людей посредством Интернета вещей (IoT), Интернета людей (IoP), Интернета услуг (IoS).
- **Виртуализация.** Означает способность киберфизической системы контролировать физические процессы. Данные сенсоров проецируются на модель предприятия, включающую состояние всех киберфизических систем. В случае возникновения нештатной ситуации должна быть возможность уведомить оператора, предоставив ему информацию по ее устранению и обеспечению безопасности, тем самым осуществляя поддержку принятия решений персоналом.
- **Децентрализация.** Растущая потребность в штучных партиях заказных продуктов увеличивает сложность централизованного управления производством. КФС

могут иметь встроенные вычислительные модули, позволяющие им принимать решения самостоятельно и переадресовывать задачу управляющей системе только в случае необходимости. Несмотря на это, необходимо обеспечить контроль качества конечного продукта и прослеживаемость, что требует централизованного управления. К примеру, необходимые шаги производственного процесса могут быть закодированы в RFID-метках, что освобождает от необходимости централизованного управления данным аспектом производства малых партий продукта.

- **Анализ и реагирование в реальном времени.** Для управления производством необходимо, чтобы данные с сенсоров постоянно собирались и анализировались в режиме реального времени. В случае отказа одной производственной установки можно «перепоручить» ее задачу другой.
- **Ориентированность на услуги.** Услуги компаний, КФС и людей доступны в Интернете услуг и могут быть использованы другими участниками. Услуги могут предоставляться как внутри предприятия, так и другим предприятиям. КФС предоставляют свои услуги в виде веб-служб. Это позволит реализовать производство продукта путем комбинирования производственных операций в соответствии со спецификацией клиента, закодированной, например, на RFID-метке.
- **Модульность.** Система должна быть гибкой, т.е. легко адаптируемой к меняющимся требованиям (например, сезонным изменениям в потреблении, изменению характеристик продукта или производства). Адаптация должна осуществляться заменой или расширением отдельных компонентов системы. Обеспечение совместимости компонентов требует наличия стандартизированных механизмов взаимодействия, позволяющих автоматически идентифицировать компоненты и включать их в Интернет услуг.

Под КФС понимается совокупность интеллектуальных, легко интегрируемых физических компонентов со встроенными в них вычислительными ресурсами, тесно взаимодействующих между собой и отслеживающих изменения в состоянии внешнего мира [6].

Для построения КФС предприятия необходима интеграция вычислительных ресурсов и физико-технических процессов. Сенсоры, манипуляторы, информационные и управляющие системы должны взаимодействовать между собой на всех этапах производства, в том числе и выходящих за рамки одного конкретного предприятия [7]. Следует, однако, понимать, что внед-

рение новых систем автоматизации, в том числе интеллектуальных, на предприятии должно основываться на уже имеющихся у предприятия ресурсах [8].

Потребность в комплексной автоматизации сложных процессов, требующих согласованной работы множества служб и технических средств, создает потребность в разработке подобных систем. В дальнейшем будем рассматривать повышение уровня автоматизации предприятий рецептурного производства в рамках проектирования КФС, отвечающей за производство творога «Хуторок» на ОАО «Савушкин продукт».

Такая КФС должна обеспечивать комплексную информационную поддержку и автоматизацию процесса производства творога «Хуторок» от доения коровы до поступления готовой продукции в магазин. В этом процессе можно выделить следующие основные стадии:

- сбор молока на ферме;
- доставка молока с фермы на молокозавод;
- обработка молока на молокозаводе и получение творога;
- формовка и упаковка творога;
- доставка продукции со склада завода на склад заказчика (магазина, торговой сети и т.п.).

II. ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМ КОМПЛЕКСНОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЯ И ПРЕДЛАГАЕМЫЙ ПОДХОД К ИХ РЕШЕНИЮ

Основной проблемой, возникающей при разработке системы комплексной автоматизации, является проблема интеграции различных компонентов системы и обеспечения взаимодействия между ними. Решение данной проблемы традиционным способом, предполагающим разработку средств коммуникации между разнородными компонентами системы (интерфейсов, протоколов и т.д.), с одной стороны, приводит к существенным накладным расходам, связанным с разработкой таких средств, с другой стороны, сильно усложняет архитектуру такой системы, значительно повышая трудоемкость ее сопровождения и развития. Очевидно, что постоянное развитие технологий производства на различных его этапах и расширение самого производства обуславливает требование гибкости к системе автоматизации, то есть способности легко дополнять ее различными компонентами и при необходимости модифицировать уже существующие компоненты.

Для решения перечисленных проблем предлагается развитие идей онтологического подхода к проектированию предприятий на основе Технологии OSTIS [1] [2]. Предприятие предлагается рассматривать как единую информационную многоагентную систему, в рамках которой:

- вся информация объединяется в единое информационное пространство (базу знаний предприятия, которая хранится в семантической памяти);
- все участники процесса (люди, роботизированные системы, различного рода производственные комплексы и т.д.) трактуются как агенты над этой общей базой знаний. Это означает, что они (а) отслеживают интересующие их ситуации в базе знаний и реагируют на них, (б) описывают результаты своей деятельности в базе знаний для того, чтобы эта информация была доступна другим агентам и они могли ее анализировать. В конечном итоге весь менеджмент процессов производства при таком подходе сводится к грамотной спецификации задач в такой общей базе знаний, указанию их приоритетов, исполнителей, сроков выполнения и т.д.;
- база знаний системы имеет иерархическую организацию, т.е. представляет собой иерархию предметных областей и соответствующих им онтологий;
- сама многоагентная система также имеет иерархическую организацию: агенты могут объединяться в коллективы произвольной степени вложенности (членом коллектива агентов также может быть коллектив агентов). Например, группа роботизированных систем может быть логически (или даже физически) объединена в целый роботизированный комплекс, способный решать задачи определенного класса.

Многоагентная система над общей базой знаний, реализованная по Технологии OSTIS, таким образом, отвечает концепции Industry 4.0 и, следовательно, может рассматриваться как киберфизическая:

- общая база знаний реализует принцип взаимодействия людей, датчиков и устройств, выступая посредником такого взаимодействия, виртуализации – в базе знаний представляется модель предприятия и сопутствующих физических процессов с необходимым уровнем детализации, ориентированности на услуги, – каждый участник производственного процесса (агент) специфицируется в рамках общей базы знаний, включая свою функциональность (предоставляемые услуги), модульности – за счет представляемых в ней библиотек совместимых, повторно используемых компонентов.
- многоагентный подход реализует принцип децентрализации по определению многоагентной системы [9], анализа и реагирования – агенты отслеживают состояние базы знаний предприятия и активизируются при возникновении определенных ситуаций (в том числе нештатных).

Предложенный подход обладает рядом преимуществ, таких как:

- отсутствие необходимости разработки средств непосредственного взаимодействия компонентов системы (человек-роботизированная система, человек-человек и т.д.) за счет их взаимодействия посредством общей памяти;
- за счет того, что все агенты взаимодействуют посредством общей памяти, в общем случае для системы не важно, как физически устроен тот или иной агент. Таким образом, постепенная замена ручного труда автоматизированными системами или совершенствование таких систем не требует внесения изменений в общую систему автоматизации;
- за счет использования общей единой базы знаний и широких возможностей ассоциативного поиска в такой базе знаний любой участник процесса производства в любой момент имеет доступ ко всей необходимой ему информации, а не к каким-либо заранее предусмотренным ее фрагментам, расширение числа которых может быть связано с дополнительными накладными расходами. Таким образом, существенно облегчается процесс мониторинга различных процессов и ускоряется поиск ответов на интересующие пользователя вопросы. При этом запросы пользователя к системе могут уточняться различными способами;
- одна и та же информация, хранимая в базе знаний, может по-разному визуализироваться для различных категорий пользователей, при этом сама информация будет оставаться неизменной – будут меняться только средства ее отображения. Таким образом, отсутствует необходимость дублирования информации;
- поскольку все производственные процессы специфицируются в базе знаний и управляются ей, внесение изменений в такие процессы в общем случае сводится к внесению изменений в базу знаний и при необходимости – к замене соответствующего оборудования. При этом существенно снижаются накладные расходы на перепрограммирование компонентов системы, налаживание взаимодействия между ними;
- спецификация всех производственных процессов в единой базе знаний предоставляет широкие возможности для их автоматического анализа, в том числе – постоянного мониторинга текущих процессов, автоматического выявления и устранения нештатных ситуаций, оптимизации текущих процессов, автоматического планирования будущих процессов и т.д.

III. АРХИТЕКТУРА ПРЕДЛАГАЕМОЙ СИСТЕМЫ

Разработка системы комплексной автоматизации предполагает выделение нескольких подсистем, ориентированных на решение задач определенных классов. В настоящее время практически на любом предприятии некоторые из этих подсистем уже реализованы с использованием современных технологий и выполняют свои классические функции.

К основным производственным подсистемам относятся (от более низкого уровня к более высокому):

- SCADA – решается задача диспетчерского управления технологическим процессом (оператором), сбора и архивации технологических данных;
- MES (управление производственными процессами) – осуществляется выпуск продукции в рамках производства;
- WMS (управление складом) – осуществляется хранение готовой продукции до отгрузки заказчику;
- ERP (планирование ресурсов предприятия) – определяет, какой продукт в каких количествах и на каких производственных мощностях будет производиться.

При этом каждый уровень связан не только с последующим, но и с предыдущим. Таким образом, одной из задач при построении и внедрении системы комплексной автоматизации является интеграция уже существующих подсистем в единую систему и обеспечение возможности развития указанных систем без разрушения единой комплексной системы производства. В конечном итоге построение такой системы предполагает переход от интеграции разнородных подсистем к единому унифицированному технологическому фундаменту для реализации всех подсистем перечисленных классов.

Предлагаемая система разрабатывается на основе Технологии OSTIS, а значит, в соответствии с ней состоит из базы знаний, машины обработки знаний и пользовательского интерфейса.

В общем случае база знаний системы комплексной автоматизации предприятия содержит [1]:

- онтологии соответствующих отрасли промышленных стандартов, таких как ISA-88 [10];
- модели предприятия, построенные на основе этих онтологий (в случае ISA-88 – физическая, процедурная, процессная и др.);
- онтологии усовершенствования предприятия, формализующие принципы усовершенствования и адаптации предприятия к меняющимся внешним условиям;
- средства коллективной разработки баз знаний предприятия и соответствующих компонентов машин обработки знаний;

- модели пользовательских интерфейсов систем управления предприятием;
- модели информационного обслуживания различных категорий пользователей;
- модели представления знаний предприятия, с помощью которых предприятие можно описать во всех необходимых аспектах:
 - модель управления знаниями предприятия [11];
 - онтологическая модель предприятия [12];
 - многоагентная модель предприятия [9];
 - модель ситуационного управления предприятием [13];
 - модель реинжиниринга бизнес-процессов [14].

Кроме того, для комплексного описания процесса производства база знаний системы комплексной автоматизации предприятия должна, среди прочих, содержать следующие модели:

- модели языков описания ячеек производства;
- модели ячеек производства, описанные с помощью этих языков;
- модели логистических процессов;
- модель взаимодействия промышленных роботов.

Для описания моделей ячеек производства на предприятиях рецептурного производства используется, в частности, стандарт ISA-88. В работе [1] рассмотрена формализация стандарта ISA-88 в виде семейства онтологий, показаны фрагменты моделей предприятия, построенных на его основе. В данной работе будет рассмотрен язык спецификации процедурных моделей предприятия (PFC), который описан в главе 6 второй части данного документа [15].

Модель логистических процессов необходима на всех этапах производства для описания внутренних (межцеховая логистика, складская логистика) и внешних логистических процессов (взаимодействие с фермами – поставщиками сырья – и магазинами – заказчиками конечной продукции). Модели языков описания и описанные с их помощью модели ячеек используются в рамках третьей и четвертой стадий, упомянутых во введении к статье, для формализации процесса производства и структуры используемого для этого оборудования.

Модель взаимодействия промышленных роботов дополняет физическую модель предприятия, причем понятие робота имеет расширенную трактовку: под ним могут пониматься также технологические установки и их комплексы, работающие либо с минимальным вмешательством человека, либо вовсе без него.

Далее рассмотрим конкретные примеры реализации предложенных ранее принципов в рам-

ках различных подсистем разрабатываемой системы.

IV. ОПИСАНИЕ МОДЕЛЕЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА

Для удобства работы персонала предприятия с системой комплексной автоматизации необходимо обеспечить, с одной стороны, возможность взаимодействия системы с пользователями удобными им способами (в том числе – с использованием различных графических языков, на ограниченном естественном языке и посредством речевых сообщений), с другой стороны, обеспечить возможность добавления в систему новых языковых средств, например, новых графических языков.

Каждая интеллектуальная система оперирует базой знаний на внутреннем языке, и диалог осуществляется как обмен сообщениями между пользователем и системой. Чтобы такой диалог состоялся, необходимо отобразить фрагмент базы знаний во внешнюю форму. Такая форма может иметь как универсальный, так и специализированный характер. Трансляция с внутреннего языка на внешний и обратно в рамках Технологии OSTIS организовывается так, чтобы механизмы трансляции не зависели от внешнего языка; для реализации нового специализированного языка в таком случае необходимо будет только описать его синтаксис и семантику, универсальная же модель трансляции не будет зависеть от данного описания.

Механизм трансляции обеспечивается благодаря наличию в системе набора рецепторных и эффекторных агентов [16] в режиме постоянного обмена сообщениями между пользователем и системой. Данный механизм обмена сообщениями выглядит следующим образом:

- пользователь с помощью редактора на синтаксисе одного из специализированных внешних языков записывает некоторую информацию;
- рецепторные агенты фиксируют факт начала трансляции записанной синтаксической структуры;
- эффекторные агенты преобразуют синтаксическую структуру с помощью набора правил в последовательность элементов, составляющих фрагмент семантически связного sc-текста, однозначно интерпретируемого в памяти системы;
- если пользователь делает изменения в полученном sc-тексте, то происходит обратный процесс: устанавливается соответствие между знаками сущностей и их изображениями, в результате чего отображается синтаксическая структура на выбранном языке.

Семантика любого языка подразумевает выделение набора однозначно определенных сущностей, достаточных для написания текстов, несущих смысловую нагрузку для пользователя или машины (системы). Под текстами языка понимаются синтаксические структуры, являющиеся изображениями сущностей языка. Накопленные правила языка задают однозначные соответствия между множеством сущностей (алфавитом языка) и множеством изображений (знаков файлов), используемых для трансляции текстов в память интеллектуальной системы и из нее, а также для визуализации этих текстов.

В процессе описания каждого языка можно выделить некоторые аспекты, являющиеся общими для всех языков или для конкретного семейства языков. Исследования в этой области направлены на обоснование некоторого метаязыка, задающего структуру описания большинства существующих языков. Данный метаязык даст толчок к развитию естественно-языковых интерфейсов и позволит привести в лингвистические аспекты любого языка алгоритмическую точность.

Технология производства творога может быть описана по стандарту ISA S88. В контексте автоматизированного производства и стандарта ISA-88 выделяются следующие специализированные внешние языки: язык описания процедурной модели (PFC) и язык описания физической модели (P&ID), который, впрочем, не является частью стандарта ISA-88, но описывает оборудование на самом нижнем уровне иерархии согласно стандарту ISA-5.1 и аналогичным. С помощью языка PFC будет описан фрагмент производственной ячейки по изготовлению творога «Хуторок», который будет рассмотрен далее.

Язык PFC определяется в главе 6 стандарта ISA-88.00.02 и предназначен для описания рецептов со сложными процедурами, включающими параллельные шаги и условные ветвления. PFC-диаграммы изображают процедурную логику, используя набор значков, соединенных направленными связями, указывающими порядок исполнения процедурных элементов.

Алфавит языка PFC включает следующие элементы:

- процедурные элементы – элементы процедурной иерархии (фазы, операции и др.);
- дополнительные элементы – элементы, отвечающие за распределение, согласование и движение продукта в рамках процедуры (элемент размещения, элемент синхронизации);
- структуры, представленные в виде классов временных сущностей, задающих порядок исполнения процедурных элементов (выбор ветви исполнения, параллельно исполняемые ветви);

- переходы между процедурными и дополнительными элементами (неявный и явный переход, требующий выполнения некоторого условия).

В качестве примера разработки процедурной модели будет использована ячейка производства творога «Хуторок» предприятия «Савушкин продукт». Данная ячейка отражает стадию обработки молока на заводе на примере изготовления конкретного продукта. На рисунке 1 показаны коагуляторы, используемые для приготовления творога:



Рис. 1 – Коагуляторы

Мастер-рецепт описывает процесс от обработки молочной смеси до фасовки творожной массы. Рецептурная и аппаратная процедуры фокусируются на изготовлении творожной массы как на этапе выполнения мастер-рецепта. Наконец в рамках аппаратной процедуры акцентируется внимание на операции отделения и откачки сыворотки.

Мастер-рецепт изготовления творога «Хуторок» включает в себя следующие этапы:

- Подогрев основы до 28 градусов по Цельсию с параллельным внесением закваски;
- Заквашивание;
- Сквашивание;
- Нагрев;
- Разрезка;
- Отделение сыворотки;
- Откачка сыворотки с параллельным вымешиванием при необходимости;
- Подготовка к выдаче.

Запись аппаратной процедуры на языке PFC представлена на рисунке 2.

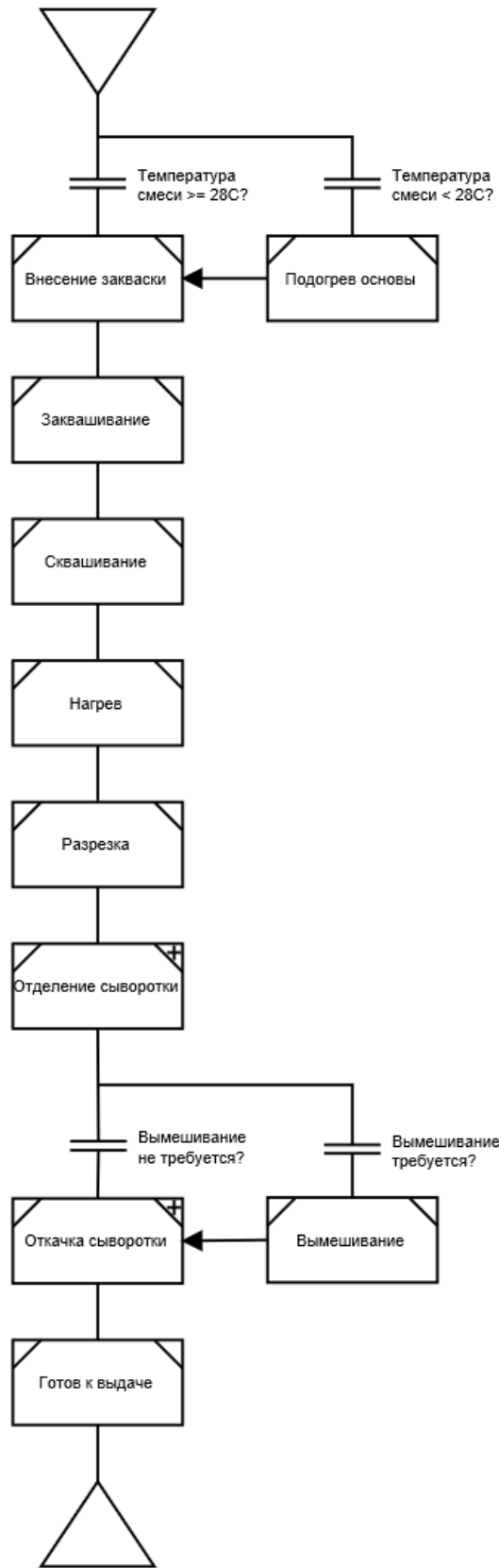


Рис. 2 – Аппаратная процедура производства творога

SCg-представление аппаратной процедуры производства творога (Рис. 3)

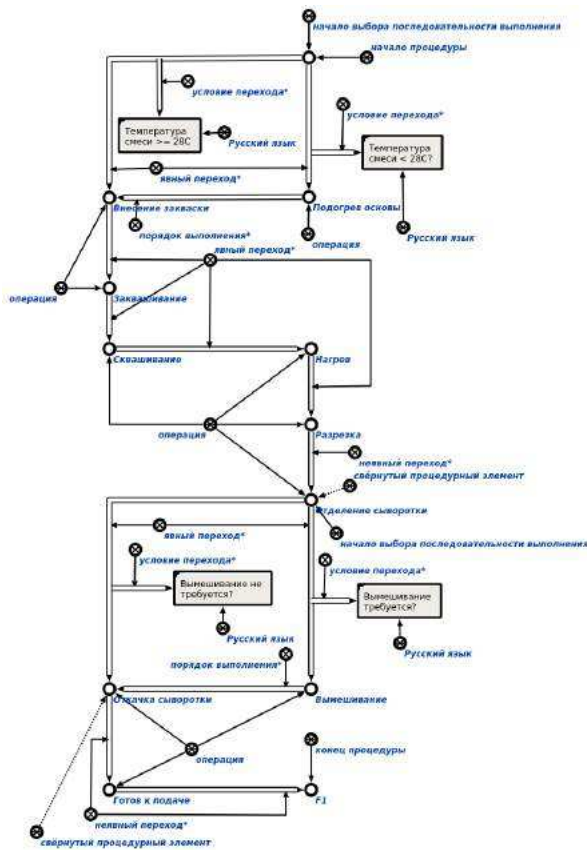


Рис. 3 – SCg-представление аппаратной процедуры производства творога

V. РЕАЛИЗАЦИЯ SCADA-ПОДСИСТЕМЫ

В рамках SCADA-подсистемы на данный момент реализована подсистема информационного обслуживания сотрудников. Основной задачей данной SCADA-системы, связанной с текущей реализацией, является предоставление в интерактивном режиме различной справочной информации об объектах и понятиях, используемых в SCADA-системе. Данная подсистема, в первую очередь, ориентирована на обслуживание мастера и начальника цеха.

В текущей реализации принцип работы системы заключается в следующем: в рамках интерфейса SCADA-системы присутствуют интерактивные элементы, которым однозначно соответствуют объекты и понятия в базе знаний системы информационного обслуживания (в настоящее время связь устанавливается через основную русскоязычный идентификатор [16]). При взаимодействии пользователя с интерактивным элементом в рамках SCADA-системы отправляется запрос к системе информационного обслуживания, содержащий идентификатор запрашиваемого элемента, после чего система отображает семантическую окрестность запрашиваемого элемента в текущем состоянии базы знаний.

В качестве примера рассмотрим фрагмент SCADA-системы «Хуторок». Пользователь (мастер) хочет получить дополнительную справочную информацию о текущем управляющем ре-

цепте. Для этого он нажимает на соответствующую кнопку в проекте (Рис. 4), после чего в браузере отображается ответ на запрос семантической окрестности понятия «управляющий рецепт» на языке SCn (Рис. 5).

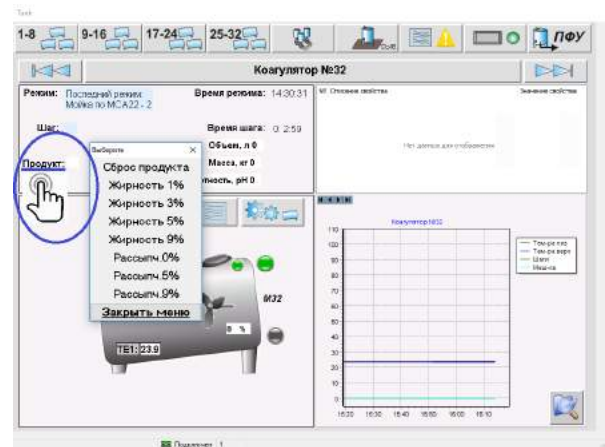


Рис. 4 – Запрос в SCADA-системе

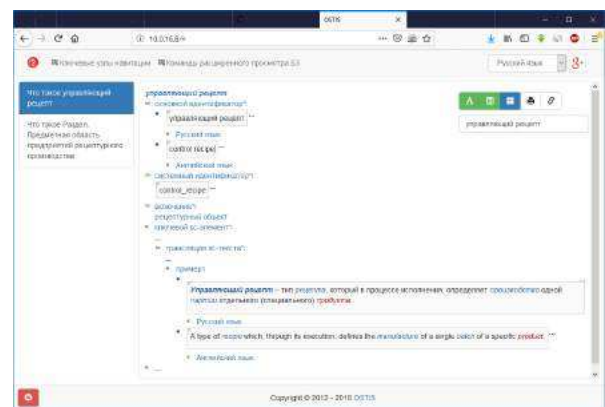


Рис. 5 – Ответ системы информационного обслуживания

Другой вариант использования системы информационного обслуживания мастером заключается в выявлении причин сложившейся ситуации (как штатной, так и нештатной). В текущей версии системы для решения данной задачи в составе решателя задач системы информационного обслуживания реализован *Абстрактный sc-агент поиска причин текущего состояния заданного объекта*. Указанный sc-агент находит в базе знаний все действия, в результате выполнения которых было изменено состояние объекта, являющегося аргументом запроса.

Пример работы данного sc-агента приведен на рисунках 6 и 7. Клапан K1 Valve2 является частью коагулятора K1 и в настоящий момент открыт (Рис. 6). После задания вопроса система в результате работы sc-агента выдает ответ о том, что клапан открыт, поскольку в данный момент для коагулятора K1 выполняется операция мойки (Рис. 7).

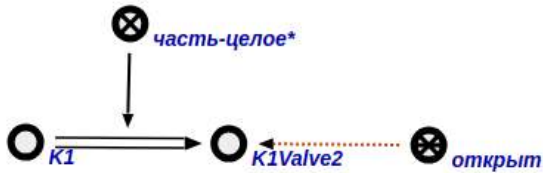


Рис. 6 – Связь клапана и коагулятора

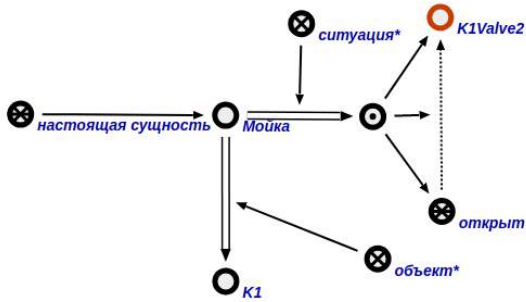


Рис. 7 – Причина открытия клапана

VI. РЕАЛИЗАЦИЯ ПОДСИСТЕМЫ ПО ЛОГИСТИКЕ

Основной задачей подсистем по логистике является обеспечение эффективного взаимодействия собственно производства, склада и транспорта.

В частности, логистическая цепочка производства творога «Хуторок» включает следующие этапы (Рис. 8)

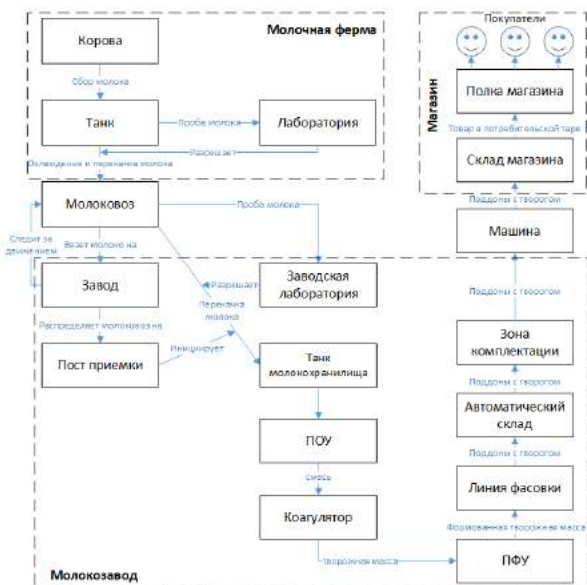


Рис. 8 – Логистическая цепочка производства творога

Любое ожидание и простои (ожидание приготовления, охлаждение продукта и простои машины во время ожидания загрузки) увеличивают себестоимость продукции. Таким образом,

для минимизации расходов необходимо, с одной стороны, обеспечить минимальную задержку между указанными этапами, с другой стороны, при возникновении задержек оперативно изменять время начала следующих этапов.

В свою очередь, перечисленные этапы могут делиться на более простые. Например, приготовление партии заключается в выполнении одного или нескольких рецептов на производственных аппаратах (в соответствии с S88), а рецепты состоят из последовательно выполняемых операций. Если операция во время выполнения по каким-либо причинам становится на паузу, то это означает, что время приготовления рецепта увеличивается. Сведения о данном событии должны поступать в базу знаний системы информационного обслуживания, после чего могут быть использованы для автоматической или ручной оценки критичности ситуации и, при необходимости, корректировки дальнейших этапов.

Например, если задержка в процессе приготовления партии превышает определенную величину, то необходимо отложить время загрузки данной партии для доставки заказчику; в противном случае машина приедет и будет ожидать, пока продукт охладится на складе. Система информационного обслуживания может отслеживать такие ситуации и в случае необходимости изменять время выезда машины на склад для загрузки с учетом нового времени готовности партии.

Пример правила в базе знаний, описывающего такого рода корректировку, представлен на рисунке 9 (предполагается, что задержка не должна превышать 30 мин.).

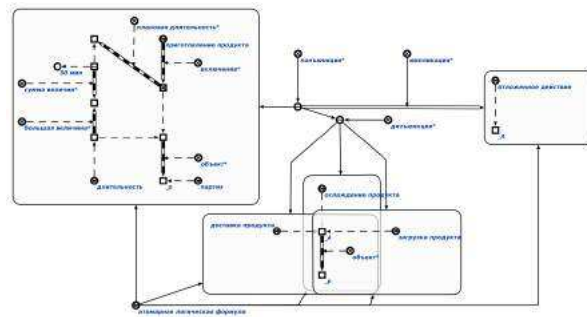


Рис. 9 – Правило, описывающее корректировку в случае задержки на производстве

VII. РЕАЛИЗАЦИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДСИСТЕМЫ

Важнейшим компонентом системы комплексной автоматизации является подсистема, ориентированная на работу с роботизированными установками. Согласно изложенным выше принципам построения системы автоматизации предприятия, все участники процесса производства, включая роботов, тракуются как агенты, работающие над общим информационным пространством. Таким образом, с одной стороны, ро-

боты фиксируют результаты своей деятельности в общей базе знаний, с другой стороны, могут управляться ситуациями и событиями в базе знаний. Рассмотрим более подробно использование робототехнической подсистемы на примере линии производства творога.

Линия производства творога на данный момент включает в себя три роботизированных узла: узел упаковки продукта в короба, узел паллетирования и узел транспортировки паллет с готовым продуктом в приемный порт склада на основе мобильного робота. Первые два используют коллаборативного робота.

Рассмотрим задачу упаковки творогов в короба коллаборативным роботом. Общий вид установки приведен на рисунке 10.



Рис. 10 – Установка по укладке творогов

Установка получает на вход поток творогов, который затем разделяется и формируется в группы по 12 шт. Робот с помощью захватного механизма забирает партию и укладывает в две коробки. Упаковка творога допускается в два типа коробок: одноуровневые по 6 шт. и в двухуровневые – по 12. Далее коробки по выходному транспортеру выдаются на узел паллетизации. Для работы системы роботу необходима следующая информация, получаемая от системы информационного обслуживания:

- текущая производительность линии;
- тип подаваемой коробки;
- отсутствие коробок на входе;
- состояние соседних с роботом узлов производственной линии (работает, не работает, неисправен, авария);
- время планового обслуживания захватного механизма.

На основе данной информации программное обеспечение робота гибко реагирует на текущие параметры всего производственного процесса. Подстраивая скорость и задержки в выполнении операций, робот динамически управляет производительностью ячейки, чтобы не создавать очереди на входном и выходном конвейерах. Тип подаваемой коробки определяет количество продукта, которое роботу необходимо уложить в

нее. Состояние соседних узлов производственного процесса позволяет роботу переключить процесс упаковки в режим ручной обработки или пустить продукт во временный накопитель.

Следующий узел – узел паллетирования. Его общий вид приведен на рисунке 11. Данный узел укладывает коробки на поддон.



Рис. 11 – Установка по паллетизации творогов

Далее рассмотрим задачу транспортировки готового продукта на склад с помощью мобильного робота. Вид робота приведен на рисунке 12.



Рис. 12 – Мобильный транспортный узел

Мобильный робот оперирует понятием миссии, которая состоит из точки забора продукта, маршрута доставки и точки выгрузки. После запуска производственного процесса робот занимает позицию погрузки или ожидает внешнего сигнала о том, что паллета заполнена. После этого робот приступает к процессу загрузки паллеты

на борт. Далее, основываясь на доступной карте помещения, динамической обстановке в цеху с соблюдением норм безопасности, робот передвигается с паллетой до приемного порта, где при наличии свободного места осуществляет разгрузку.

Конструирование миссий для робота выполняется системой комплексной автоматизации. Для этого решаются следующие подзадачи:

- создание расписания для вывоза продукта с нескольких линий с учетом производительности их и робота;
- выбор времени зарядки мобильного робота в моменты простоя;
- определение уровня безопасности по уровню текущей динамической ситуации в цехе.

VIII. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе рассмотрен онтологический подход к проектированию предприятий рецептурного производства, предполагающий переход от рассмотрения производственных процессов в рамках одного предприятия к рассмотрению процессов, охватывающих, в соответствии с концепцией Industry 4.0, и смежные предприятия – поставщиков сырья (молочные фермы) и оптовых потребителей продукции (магазины, торговые сети).

Рассмотрены примеры реализации указанного подхода на предприятии ОАО «Савушкин продукт», в частности, рассматривается описание моделей предприятия на основе онтологического подхода, реализация подсистемы информационного обслуживания сотрудников в рамках SCADA-системы, подсистема управления логистическими процессами, а также подсистемы, ориентированной на работу с роботизированными установками.

1. 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. 123–144. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-2-123-144.
2. Интеграция искусственных нейронных сетей с базами знаний / В. В. Голенков и другие // *Онтология проектирования*. – 2018. – Т. 8, №3(29). – С. 366–386.
3. Taberko, V. Design Principles of Integrated Information Services for Batch Manufacturing Enterprise Employees / V. Taberko [et al.] // *Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем = Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2019): материалы международной научно-технической конференции, Минск, 21–23 февраля 2019 г.* / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники; редкол.: В. В. Голенков (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2019. – С. 215–224.
4. Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0: Securing the Future of German Manufacturing Industry / H. Kagermann, J. Hellbig, A. Hellinger, W. Wahlster // *Final Report of the Industrie 4.0 Working Group*. – 2013.
5. Hermann, M, Pentek, T, Otto, B. Design principles for industrie 4.0 scenarios. In *System Sciences (HICSS): 49th Hawaii International Conference on 2016 Jan 5*. – 2016. – Pp. 3928–3937.
6. *Applied Cyber-Physical Systems* / Ed. by S. C. Suh, U. J. Tanik, J. N. Carbone, A. E. Eroglu. – Heidelberg: Springer-Verlag. – 2014.
7. Тарасов, В. Б. Стратегический инжиниринг предприятий будущего: массовое сотрудничество, интернет вещей, инициатива «индустрия 4.0», что дальше? // *Инжиниринг предприятий и управление знаниями (ИП&УЗ-2016): сб. науч. тр. XIX науч.-практ. конф. Москва, 26–27 апреля 2016 г.* / под науч. ред. Ю. Ф. Тельнова. М.: ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г. В. Плеханова». – 2016. – С. 57–68.
8. [Electronic resource] / Garbrecht, S. The three rules of Industrial Operations Management and Industrial IoT Applications. – 2017. – Mode of access: <https://www.linkedin.com/pulse/three-rules-industrial-operations-management-iot-steven-garbrecht/>. – Date of access: 14.09.2021.
9. Тарасов, В. Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика / В. Б. Тарасов. – М.: Эдиториал УРСС, 2002. – 348 с.
10. [Electronic resource] / ISA88, Batch Control. – 2016, Nov. – Mode of access: <https://www.isa.org/isa88>. – Date of access: 03.09.2021.
11. Гаврилова, Т. Л. и др. Инженерия знаний. Модели и методы: Учебник / Т. Л. Гаврилова, Д. В. Кудрявцев, Д. И. Муромцев. – СПб.: Издательство «Лань», 2016. – 348 с.
12. Шведин, Б. Я. Онтология предприятия: экспириентологический подход: Технология построения онтологической модели предприятия / Б. Я. Шведин. – М.: Ленанд, 2010. – 240 с.
13. Поспелов, Д. А. Ситуационное управление. Теория и практика / Д. А. Поспелов. – М.: Наука, 1986. – 284 с.
14. Robson, M., Ullah, P. A practical guide to business process re-engineering, Gower Publishing, Ltd. – 1996. – 171 p.
15. Instrumentation, Systems, and Automation Society, ANSI/ISA-88.02-2001 Batch Control Part 2: Data Structures and Guidelines for Languages, ISA, Research Triangle Park, USA. – 2001.
16. Голенков, В. В. Открытая технология онтологического проектирования, производства и эксплуатации семантически совместимых гибридных интеллектуальных компьютерных систем / В. В. Голенков, Н. А. Гулякина, Д. В. Шункевич. – Минск: Бестпринт, 2021. – 690 с. – ISBN 978-985-7267-13-2.