

# Использование семантической сети для выявления функциональных требований при проектировании IT-систем автоматизации производства на примере высокоинтенсивного аквабиологического производства

М.Г. Жабицкий, А.А. Любарский, Е.С. Долина, А.А. Агарков

**Аннотация.** В статье рассматривается целесообразность внедрения нового этапа при проектировании систем автоматизации производства – построение семантического графа на основе предметной области знаний, применимых к конкретному производству. Описаны необходимость такого этапа, его актуальность при выборе подхода к проектированию, а также архитектуры конечной системы. Рассмотрены аспекты использования построенного графа как архитектурной схемы наиболее высокого уровня, а также выявление функциональных требований и доменных областей проектируемой системы для соблюдения принципов «чистой» архитектуры и упрощения масштабирования системы.

**Ключевые слова**— автоматизация производства, архитектура систем, доменные области, семантическая сеть.

## I. ВВЕДЕНИЕ

Сегодня широко обсуждается и исследуется внедрение передовых стратегий и технологий для повышения эффективности производств аквакультуры и снижения воздействия на окружающую среду. Так называемая Precision aquaculture «Точная аквакультура» характеризуется применением инженерных принципов управления при выращивании рыбы для улучшения способности контролировать и анализировать биологические процессы производства, создавая связь между системами компьютерного зрения, сенсорами и встроенными системами для записи, мониторинга и контроля параметров, связанных с работой ферм. Главное требование такого подхода в непрерывном мониторинге и контроле параметров, связанных с поведением и физиологическим состоянием организмов.

Для выполнения такого требования необходимо

Статья получена 27 июня 2024.

Жабицкий Михаил Георгиевич, Национальный Исследовательский Ядерный Университет МИФИ, Заместитель директора ВИШ, jabitsky@mail.ru

Любарский Андрей Андреевич, Национальный Исследовательский Ядерный Университет МИФИ, магистрант, AALyubarskii@mephi.ru

Долина Екатерина Сергеевна, Национальный Исследовательский Ядерный Университет МИФИ, магистрант, ESDolina@mephi.ru

Агарков Александр Алексеевич, Национальный Исследовательский Ядерный университет МИФИ, инженер, AAAgarkov@mephi.ru спроектировать систему, учитывающую каждый аспект производства, а также позволяющую доменам системы непрерывно обмениваться данными друг с другом.

Благодаря таким технологиям как IoT (Internet of Things), способы автоматизации становятся все более и более продвинутыми, что позволяет внедрять полностью автоматические производственные цепочки, в которых компоненты производства обмениваются данными друг с другом и позволяют непрерывно контролировать автоматизированный процесс. Концепция IoT «интернет вещей», сформулированная еще в 1999 году, предполагает сети передачи данных между физическими устройствами и различными промышленными объектами, оснащенными датчиками, программным обеспечением и средствами связи для обмена данными с другими устройствами и системами через интернет. Эта технология позволяет создавать широкий спектр устройств - от простых датчиков до сложных комплексных систем, которые контролируют другие устройства, анализировать данные и принимать решения на основе этих данных.

IIoT (Промышленный интернет вещей) фокусируется на использовании технологий Интернета вещей в промышленных средах, таких как производственные предприятия, энергетические объекты и транспортные системы, с целью совершенствования традиционных процессов за счет интеграции передовых технологий. собирает данные об оборудовании, производственных процессах и продуктах в режиме реального времени, которые затем анализируются для выявления закономерностей и знаний, на основе которых принимаются управленческие решения по оптимизации производства. Кроме того, устройства IIoT позволяют проводить профилактическое обслуживание оборудования, отслеживать запасы ресурсов в режиме реального времени.

Для создания полностью автоматического производства с использованием IoT необходимо спроектировать IT-

систему, содержащую в себе всю логику и выступающую связующим звеном между датчиками и промышленным парком устройств контроля процессов. При проектировании таких комплексных систем и грамотного разбиения объемной логики производства на программные домены, чаще всего применяют принцип DDD [1]. DDD — это мощный подход к разработке программного обеспечения, который помогает создавать системы, максимально соответствующие потребностям бизнеса. Он фокусируется на моделировании реальных бизнес-процессов и улучшении коммуникации между техническими специалистами и бизнес-экспертами, что в конечном итоге приводит к созданию более качественных и устойчивых программных продуктов. Согласно принципу DDD, архитектура системы должна основываться на бизнес-доменах процессов, заложенных в систему [2].

## II. ПРОЕКТИРОВАНИЕ АРХИТЕКТУРЫ СИСТЕМЫ

Архитектура автоматизированной системы – это наиболее абстрактное ее представление, которое включает в себя идеализированные модели компонентов системы, а также модели взаимодействий между компонентами. Элементы архитектуры находятся во взаимосвязи, образуя единую автоматизированную систему и обеспечивая решение поставленной задачи автоматизации на архитектурном уровне. В то же время архитектура оставляет достаточно свободы для выбора конкретных технических решений [3]. Архитектура системы может быть представлена на четырех уровнях: операционный, системный, логический и физический.

- Операционный уровень отвечает за реализацию требований к системе. В рамках автоматизации производства на операционном уровне описывается человеческое видение производственной цепочки, в которой каждый узел выполняется какой-либо подсистемой и описан способ автоматизации конкретного этапа цепочки.

- Системный же уровень предполагает IT-архитектуру и показывает, как построено ПО, управляющее производством. На этом уровне описывается архитектурная композиция (монолитная, микросервисная и т.д.), а также возможности масштабирования.

- На логическом уровне раскрывается уже устройство каждой части системы, взаимодействующей с конкретным устройством. Например, это может быть контроллер для взаимодействия с датчиком влажности и т.п.

- На физическом уровне описано расположение компонентов автоматизации (датчиков, сенсоров, исполнительных устройств), а также описываются протоколы их работы (частоты сигналов, вид коммуникации).

Таким образом, для полного описания системы может быть использована набирающая популярность нотация C4, представляющая собой 4 вышеописанных уровня системы, в которой C1 – операционный уровень, C2 – системный уровень, C3 – логический уровень, C4 – уровень классов или физического устройства. [4] Логика

изображения системы по нотации C4 представлена на рисунке 1.

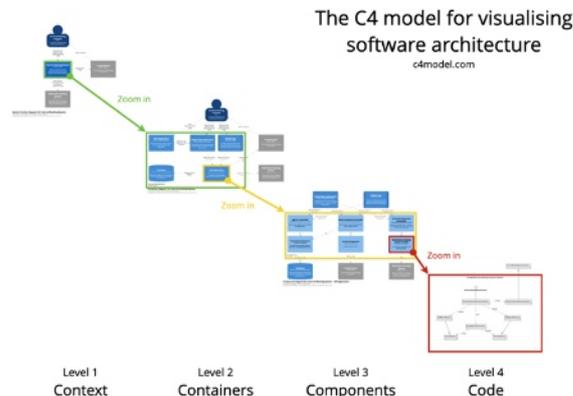


Рис. 1 – Логика построения архитектурной диаграммы по нотации C4 [5]

Подход к проектированию с использованием данной нотации позволяет четко трассировать контекст использования на конкретные элементы ПО. Соответственно возникает два тезиса:

- Декомпозиция ниже уровня C1 подчиняется определенному принципу, для корректной трассировки контекстных объектов на элементы ПО.

- Любое изменение контекстной диаграммы влечет за собой полное изменение всех последующих уровней

Таким образом, залогом успеха построения АСУ ТП с четкой трассировкой необходимых функций и корректного программного разделения является контекстная диаграмма. Для построения такой диаграммы необходимо привлечение специалиста, представляющего детально все производственные цепочки, который может учесть все детали одной цепочки, а также обеспечить переиспользование системы на другой линии производства при необходимости. Даже такая аналитика чрезвычайно трудна, а при валидации такой диаграммы ошибки практически неизбежны.

При использовании принципа DDD логичным решением является выделять домены, опираясь на текущее положение дел, например производственные цеха, размещая в каждом элемент системы, обеспечивая тем самым отказоустойчивость системы и ее применимость. Однако такой подход может быть не всегда валиден, например в случае отсутствия цехового деления, или же при чересчур сильной декомпозиции цепочки и излишнего вовлечения цехов. В таком случае необходимо учитывать это при построении контекстной диаграммы, что является одним из ключевых элементов проектирования АСУ ТП. Если пропустить какой-либо шаг или элемент при построении уровня C1, это повлечет за собой изменения во всех последующих уровнях, что задерживает и усложняет дальнейший процесс разработки. Для облегчения процесса построения такой диаграммы предлагается использовать такой инструмент как семантические сети или же онтологии области знаний, применяемых на производстве.

### III. СЕМАНТИЧЕСКИЕ СЕТИ

Семантические сети – это структура данных, используемая для представления знаний в форме графа, где вершины (узлы) обозначают понятия или объекты, а ребра (связи) обозначают отношения между этими понятиями или объектами. Они являются одним из методов моделирования знаний в области искусственного интеллекта и когнитивной науки.[6] Основными компонентами семантической сети являются узлы и ребра. Узлы представляют собой различные понятия, объекты, события или состояния относящиеся к рассматриваемой области знания. Ребра же обозначают отношения между узлами, например, "является частью", "имеет свойство", "связан с" и так далее. Пример семантической сети приведен на рисунке 2.

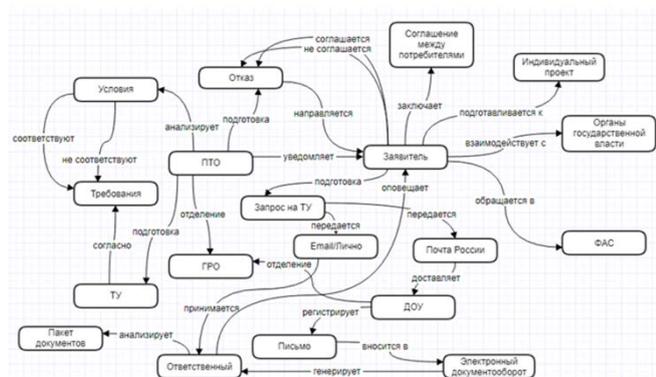


Рис. 2 – Пример семантической сети для описания процедуры подготовки ТУ [7]

Таким образом, при построении семантической сети области знания предприятия, достаточно указать все имеющиеся предметы и объекты в рассматриваемой производственной цепочке, а также указать происходящие процессы, затем связать их отношениями друг с другом, в ходе чего будет получена семантическая сеть производственной цепочки. Строго говоря, построить полную семантическую сеть производства является достаточно сложной задачей, поэтому обычно применяют дискретный способ построения, описанный выше. Доменные зоны для дискретизации выбираются исходя из предназначения сети. В случае автоматизации производства и обзора имеющихся понятий, можно выделить геолокационный подход (разбиение по условным цехам), процессный подход (по производственным цепочкам), а также объектный подход (на основе начального объекта и его конечной формы). Таким образом, можно получить части обширной семантической сети, подлежащей слиянию в общую сеть. Пример семантической сети аквабиологического предприятия "AS-IS" изображен на рисунке 3.

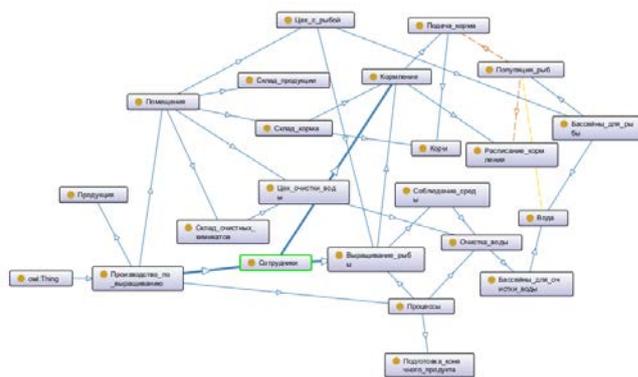


Рис. 3 – Семантическая сеть аквабиологического производства "AS-IS"

После построения общей семантической сети предприятия "AS-IS" необходимо выявить участки (объекты, процессы) подлежащие автоматизации. При принятии решения о замене участка, необходимо учитывать трудозатраты при замене, а также верхнеуровнево описывать требования к будущему модулю (блоку) системы. Проведя верхнеуровневый анализ и выявив участки, подлежащие замене с удовлетворительными трудозатратами, необходимо построить обновленную семантическую сеть предприятия в модели "TO-BE". Пример такой сети для аквабиологического производства приведен на рисунке 4.

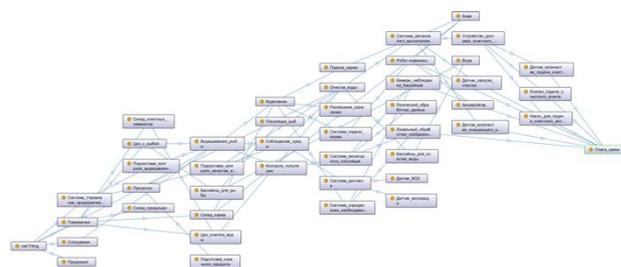


Рис. 4 – Семантическая сеть аквабиологического производства "TO-BE"

Именно эта семантическая сеть будет взята за основу проектирования будущей системы. Используя такой подход, семантическую сеть предметно-объектной области знания можно назвать уровнем C0 при построении АСУ ТП в терминологии нотации C4. Каждое понятие или объект или предмет можно страссировать на объект контекстной диаграммы, который в дальнейшем трассируется на конкретные логические блоки системы, реализующие функционал, изложенный на семантической сети. Благодаря такому подходу, определение мест автоматизации предприятия происходит не на контекстной диаграмме, а непосредственно на семантической сети с указанием конкретных объектов, подлежащих замене, что упрощает восприятие как процесса "AS-IS" так и "TO-BE".

Далее семантическая сеть подлежит уже обратной декомпозиции на сети, которые лягут в основу контекстных диаграмм процесса. Такой метод работы чем-то схож с основным принципом математического

анализа, при котором исследуемые величины интегрируются, и дифференцируются по разному дифференциалу, для разностороннего изучения функции. Однако в случае применения семантической сети для области, рассматриваемой в этой статье, декомпозицию желательно осуществлять по производственным цепочкам, с учетом даже малейшего включения соседних сущностей. Таким образом можно решить проблему трудновыполнимого анализа при построении контекстной диаграммы и уменьшить количество ошибочно неучтенных требований. Более того, при использовании семантической сети как артефакта проектирования, упрощается выявление функциональных требований, так как построив семантическую сеть предприятия “AS-IS” упрощается выявление объектов и/или процессов, подлежащих автоматизации и построение семантической сети “TO-BE” благодаря наглядному изложению текущего положения дел.

#### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внедрение семантических сетей при проектировании систем автоматизации производства представляет собой значительный шаг вперед в области инженерных решений. Семантические сети позволяют эффективно моделировать знания и процессы, создавая четкую и наглядную архитектурную схему, которая облегчает выявление функциональных требований и проектирование архитектуры системы.

Применение семантических сетей в качестве уровня C0 в нотации C4 позволяет систематически и последовательно представлять взаимодействие компонентов системы. Это способствует улучшению понимания процессов, повышению точности проектирования и снижению риска ошибок. Использование семантических сетей для разбиения производственной цепочки на доменные области помогает создавать более устойчивые и масштабируемые системы, которые легко адаптируются к изменениям и нововведениям.

Семантические сети также облегчают процесс декомпозиции и интеграции производственных цепочек, что упрощает выявление объектов и процессов, подлежащих автоматизации. Это позволяет более точно определить требования к будущим модулям системы и позволяет уменьшить количество неучтенных требований при проектировании. Анализ текущих (AS-IS) и будущих (TO-BE) состояний системы на основе семантических сетей помогает лучше понять текущие процессы и планировать их оптимизацию.

Таким образом, использование семантических сетей при проектировании систем автоматизации производства не только упрощает процесс выявления функциональных требований, но и способствует созданию более эффективных, надежных и адаптивных систем. Это подтверждает актуальность и перспективность применения семантических сетей в контексте автоматизации производственных процессов, особенно в условиях популярности создания автоматизированных систем для производства.

#### БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] Э. Эванс Предметно-ориентированное проектирование (DDD): структуризация сложных программных систем. - М.: ООО "И.Д. Вильямс", 2011.
- [2] Денисенко, В. В. Компьютерное управление технологическими процессами, экспериментом, оборудованием / В. В. Денисенко. — Москва : Горячая линия-Телеком, 2013. — 606 с. — ISBN 978-5-9912-0060-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/5153> (дата обращения: 16.07.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
- [3] Клир Жд. Системология. Автоматизация решения системных задач. М.: Радио и связь, 1990. - 544 с.
- [4] Беллемар А. Б43. Создание событийно-управляемых микросервисов: Пер. с англ. — СПб.: БХВ-Петербург, 2022. — 320 с.: ил. ISBN 978-5-9775-6757-2.
- [5] The C4 model for visualising software architecture // URL: <https://c4model.com/> (дата обращения: 15.05.2024).
- [6] Семенов ЮА. Телекоммуникационные технологии. Москва. 2014.
- [7] Петрова А.И. Описание процедуры подготовки технических условий на основе семантических сетей // Современные научные исследования и инновации. 2018. № 4 [Электронный ресурс]. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2018/04/86382> (дата обращения: 03.06.2024).

# Usage of semantic web to identify functional requirements in the design of IT-systems for production automation on the example of high-intensity aquabiological production

M.G. Zhabitsky, A.A. Lyubarsky, E.S. Dolina, A.A. Agarkov

**Abstract.** The article considers the feasibility of introducing a new stage in the design of production automation systems - the construction of a semantic graph based on the subject area of knowledge applicable to a particular production. The necessity of such a stage, its relevance in choosing the design approach, as well as the architecture of the final system are described. The aspects of using the constructed graph as the highest level architectural scheme are considered, as well as the identification of functional requirements and domain areas of the designed system to comply with the principles of “clean” architecture and simplify the scaling of the system.

**Keywords—** domains, industrial automation, semantic web, system architecture.

## REFERENCES

- [1] E. Evans E. Evans Subject-Driven Design (DDD): structuring complex software systems. - Moscow: I.D. Williams LLC, 2011.
- [2] Denisenko, V. V. Computer control of technological processes, experiment, equipment / V. V. Denisenko. - Moscow : Goryachaya Liniya-Telecom, 2013. - 606 c. - ISBN 978-5-9912-0060-8. - Text : electronic // Lan : electronic-library system. - URL: <https://e.lanbook.com/book/5153> (date of access: 16.07.2024). - Access mode: for authorized users.
- [3] Clear Jd. Systemology. Automation of the solution of system tasks. Moscow: Radio and communication, 1990. - 544 c.
- [4] Bellemare A. B43. Creation of event-driven microservices: Per. from Engl. - SPb.: BHV-Peterburg, 2022. - 320 p.: ill. ISBN 978-5-9775-6757-2.
- [5] The C4 model for visualizing software architecture // URL: <https://c4model.com/> (accessed 15.05.2024).
- [6] Semenov YuA. Telecommunication technologies. Moscow. 2014.
- [7] Petrova A.I. Description of the procedure for preparing technical specifications based on semantic networks // Modern Scientific Research and Innovations. 2018. no. 4 [Electronic resource]. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2018/04/86382> (date of reference: 03.06.2024).