

## РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СФЕРЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

К. А. КОНЕВ • В. В. АНТОНОВ

**Аннотация.** Целью работы является решение актуальной задачи по разработке метода поддержки принятия решений в сфере обеспечения качества на промышленных предприятиях. Для достижения данной цели решаются задачи: анализа особенностей предметной области, краткое описание ситуационно-онтологической методологии, на основе которой формируется решение, а также формирование решения в виде метода применения этой методологии для поддержки принятия решений в сфере обеспечения качества на промышленных предприятиях. Для решения поставленных задач в работе рассмотрены особенности принятия решений в этой предметной области, сформирована потребность в принятии множества решений, на основе большого объема разнообразной информации, полученной из различных источников как одна из характеристик данной предметной области. Для улучшения понимания кратко описана ситуационно-онтологическая методология для поддержки принятия решений в сфере обеспечения качества на промышленных предприятиях, введены множества для описания уровней модели рассматриваемой предметной области. Разработана структура системы поддержки принятия решений для сферы обеспечения качества (для объекта контроля). Кроме того, разработана теоретико-множественная модель процесса функционирования интеллектуальной компоненты, а также структурная схема её функционирования. Разработаны структура этапов метода применения методологии поддержки принятия решений в сфере обеспечения качества на промышленных предприятиях и алгоритм их реализации по созданию СППР. Сложность исследования определяет особенность предметной области. В качестве результата исследования выступает алгоритм применения ситуационно-онтологической методологии для поддержки принятия решений в сфере обеспечения качества на промышленных предприятиях.

**Ключевые слова:** система поддержки принятия решений; ситуационно-онтологическая модель; сфера обеспечения качества промышленного предприятия; критериальная функция; интеллектуальная компонента системы поддержки принятия решений.

### ВВЕДЕНИЕ

Современное промышленное предприятие в значительной мере отличается от заводов прошлого века. Информационная революция, резкий рост сложности используемого оборудования и технологий, многочисленные оптимизации, вызванные необходимостью обеспечения конкурентоспособности, и другие факторы привели к тому, что промышленное предприятие имеет очень сложную иерархическую структуру управления, в которой огромные объёмы информации перемещаются как между уровнями, так и горизонтально, в рамках технологических процессов. Уровень сложности управления таков, что руководство вынуждено осуществлять делегирование полномочий и ответственности, что ведёт к тому, что управленческие решения определённого уровня принимают даже обычные исполнители. Например, такие профессии, как контролёр качества, диспетчер, аналитик, ежедневно принимают многочисленные решения, хотя не являются менеджерами. Такие обстоятельства создают благоприятную почву для цифровизации промышленности, чему можно увидеть множество примеров. Не так хорошо дело обстоит с цифровизацией процессов принятия решений [1], поскольку в данной области значительно ниже формализация процессов, и обычно требуются дополнительные исследования особенностей управленческих процессов в организации. Пожалуй, особенно сложно создавать современные информационные средства поддержки принятия решений

в сфере обеспечения качества, хотя именно в данной области находится ключ к конкурентоспособности любого современного промышленного предприятия.

Целью данной статьи является решение актуальной задачи по созданию метода применения методологии создания системы поддержки принятия решений в сфере обеспечения качества на промышленном предприятии.

### **ОСОБЕННОСТИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СФЕРЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Сфера обеспечения качества является одной из областей деятельности, наиболее насыщенных точками принятия решений на промышленном предприятии, что неудивительно, поскольку её основу составляют такие мероприятия, как контроль, проверки, аудиты, испытания, то есть разнообразные способы определения соответствия между реальным и требуемым состоянием исследуемого объекта [2]. Более того, по итогам всех этих контрольных мероприятий возникают ещё более важные мероприятия, направленные на поиск причин несоответствий, которые значительно более многоаспектны и многовариантны, чем контроль. Наконец, устранение причин выявленных несоответствий может потребовать большое количество разнообразных решений в самых разных сферах: от технических и организационных до социальных или даже психологических.

Рассмотрим особенности процесса принятия решений в сфере обеспечения качества промышленного предприятия, в числе которых имеет смысл отметить [3]:

- большой спектр задач специалистов в сфере качества, от которых требуются разнообразные компетенции в различных областях деятельности промышленного предприятия, поскольку причины несоответствий могут быть самые разные;
- значительный объём обрабатываемой информации, возникающий как по причине многообразия принимаемых решений в сфере обеспечения качества, так и вследствие большого числа факторов, которые могут влиять на качество;
- высокие риски принимаемых в данной области решений, особенно для предприятий, выпускающих продукцию, эксплуатация которой сопряжена с рисками для жизни и здоровья людей;
- большое разнообразие источников информации для обеспечения качества, связанных как с техническими аспектами работы предприятия, так и с экономическими, психологическими, эргономическими и т. д.;
- очень значительная сложность информации об объектах управления для специалистов, обеспечивающих качество сложной, высокотехнологической продукции, что требует специальных компетенций для специалистов по обеспечению качества, которые занимаются определением причин несоответствий и планированием решения вызывающих их проблем.

Таким образом, можно отметить, что сфера обеспечения качества, особенно на предприятии, выпускающем сложную, высокотехнологичную продукцию, требует принятия множества решений, на основе большого объёма разнообразной информации, полученной из различных источников. Для адекватного управления таким процессом требуется либо значительный штат высококвалифицированных экспертов, имеющих значительный опыт во всех сферах деятельности предприятия, либо правильно разработанная и хорошо сконфигурированная АСППР [4], способная значительно повысить потенциал в сфере принятия решений специалистов в сфере обеспечения качества.

Отметим, что под автоматизированной системой поддержки принятия решений (АСППР) в сфере обеспечения качества в данной статье понимается система, предназначенная для информационного обеспечения процессов подготовки вариантов решений по контролю и испытаниям продукции, аудитам качества, поверке, калибровке средств измерения, аттестации оборудования и работников, вопросам идентификации и управления несоответствиями, расследования причин несоответствий, формирования улучшений и другим.

Рассмотрим методологию для разработки такой АСППР.

### КРАТКИЙ ОБЗОР СИТУАЦИОННО-ОНТОЛОГИЧЕСКОЙ МЕТОДОЛОГИИ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

В статьях [5] описывается концепция и структурные элементы ситуационно-онтологической методологии поддержки принятия решений. Её суть состоит в том, что при создании СППР осуществляется построение многоуровневой многоаспектной модели от уровня предприятия до уровня оценки принятого решения, в которой учитывается как онтологический аспект [6–8], то есть структурированное описание знаний в максимально общих понятиях, так и во многом противоположный ситуационный аспект [9], то есть описание состояния исследуемого объекта в сложившихся обстоятельствах времени и места. Такое противоречивое описание стало возможно благодаря иерархичности описания модели, подразумевающего использование онтологического описания на более высоких уровнях общности модели, на которых описывается предприятие, бизнес-процесс, а ситуационного – на нижних уровнях, на которых описывается ситуация, сложившаяся в конкретной точке принятия решений.

В поддержку методологии были разработаны методы осуществления переходов между уровнями данной методологии (рис. 1).

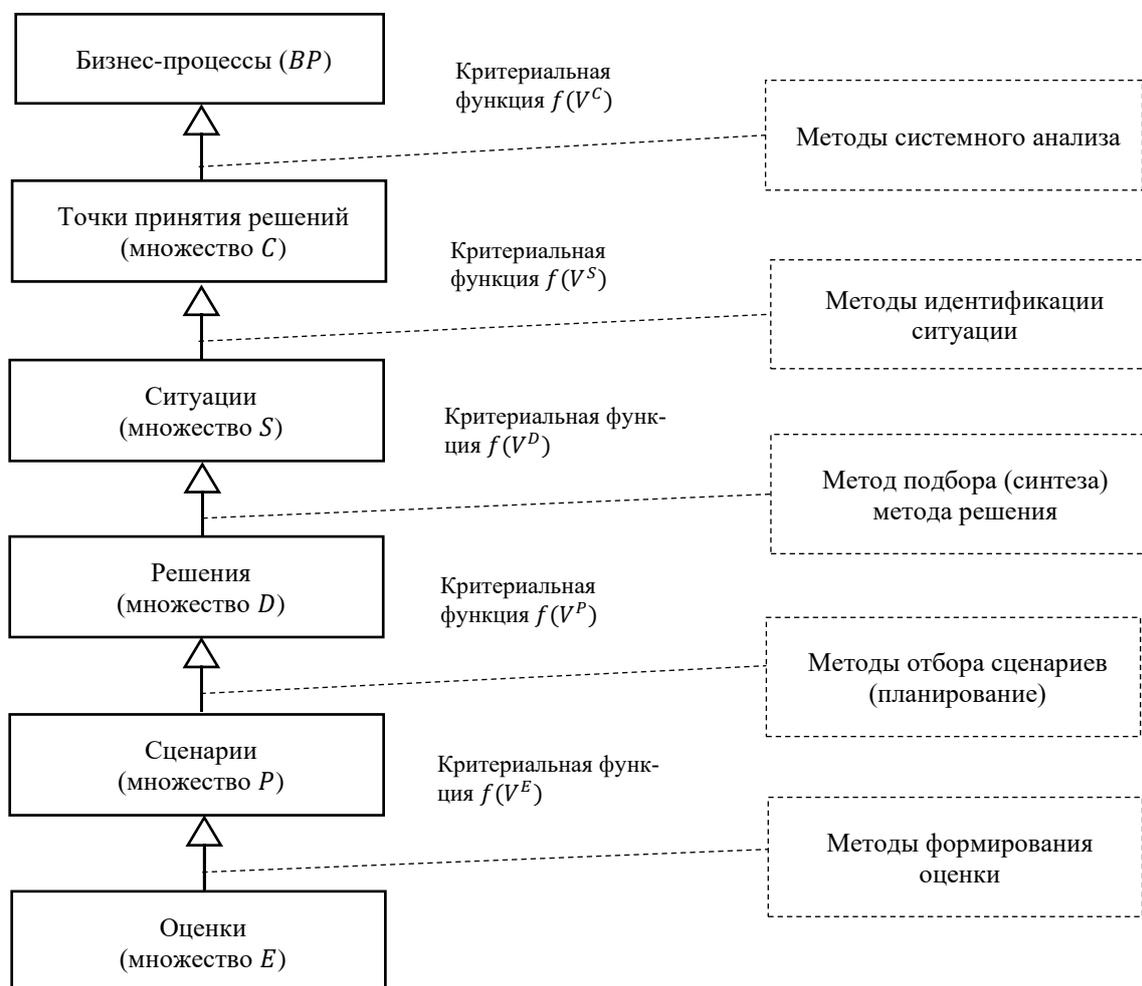


Рис. 1 Категории обобщения объектов в процессе принятия решения.

Здесь  $f(V^e)$  – критериальная функция, то есть алгоритм, в соответствии с которым множество правил  $V^e$  позволяет перейти с одного уровня процесса принятия решений на другой, причём индекс  $e \in \{BP, C, S, D, P, E\}$  показывает ассоциацию с соответствующим множеством концептов (понятий) исследуемой предметной области. Структура данной функции зависит

от особенностей предметной области и может варьироваться от наборов простейших критериев (например, «параметр в допуске – да или нет») до сложных методов многокритериального анализа с элементами нечёткой логики и адаптивных алгоритмов методов машинного обучения и нейронных сетей. Разработка подходов к выбору конкретных методов на каждом уровне – отдельная задача, которая не рассматривается в данной статье.

Подробное рассмотрение аналитических выражений, применяющихся при описании переходов между уровнями, и их семантика, выполнено в [10].

Возможность представления модели бизнес-процессов предприятия в виде иерархии уровней модели позволяет лучше прорабатывать трансформации моделей между уровнями, в результате которых нередко теряется много полезной для проекта информации [11].

Важно отметить, что само по себе преобразование множеств от общего к частному не даёт полной картины в отношении критериальных функций, задавая лишь их наиболее общий вид.

Введём некоторые понятия для расширения данного понятия.

Любой переход требует анализа характеристик, мер и критериев, на основе которых он реализуется. Следовательно, для раскрытия понятия критериальной функции требуется ввести три этих множества:  $Ch$ ,  $L$ ,  $Cr$ .

Определим, что характеристика  $ch_i^S \in Ch^S$  является частью описания ситуации  $s_j \in S$ . Введём понятие «мера», то есть оценка  $l_k^S \in L^S$ , которая описывает характеристику, например, «самая малая» или «очень высокая». Для полного описания ситуации зададим множество  $Cr^S$ , которое в момент времени  $t_k^S \in T^S$  определяет интерпретацию меры, то есть  $Cr^S$  ассоциирована с  $L^S$ . Таким образом, ситуацию можно представить как  $S = \langle Ch^S, Cr^S, L^S, T^S \rangle$ .

Множество  $Ch^S$  определяет перечень характеристик, которые описывают отдельный элемент множества концептов (понятий)  $e \in \{BP, C, S, D, P, E\}$ . Эти характеристики должны описывать свойства всех представителей этого множества в рамках выбранной точки зрения. Например, если имеется ситуация «контроль изделия в момент времени  $t$ », то характеристика «статус контроля» должна описывать все варианты значений, которые может принимать данная ситуация.

В рассмотренной методологии поставлена задача формирования структуры СППР для сферы обеспечения качества на промышленном предприятии.

Из теории систем известно, что структура искусственной системы определяется её задачами. Согласно [12], структура СППР должна обеспечивать решение следующих задач:

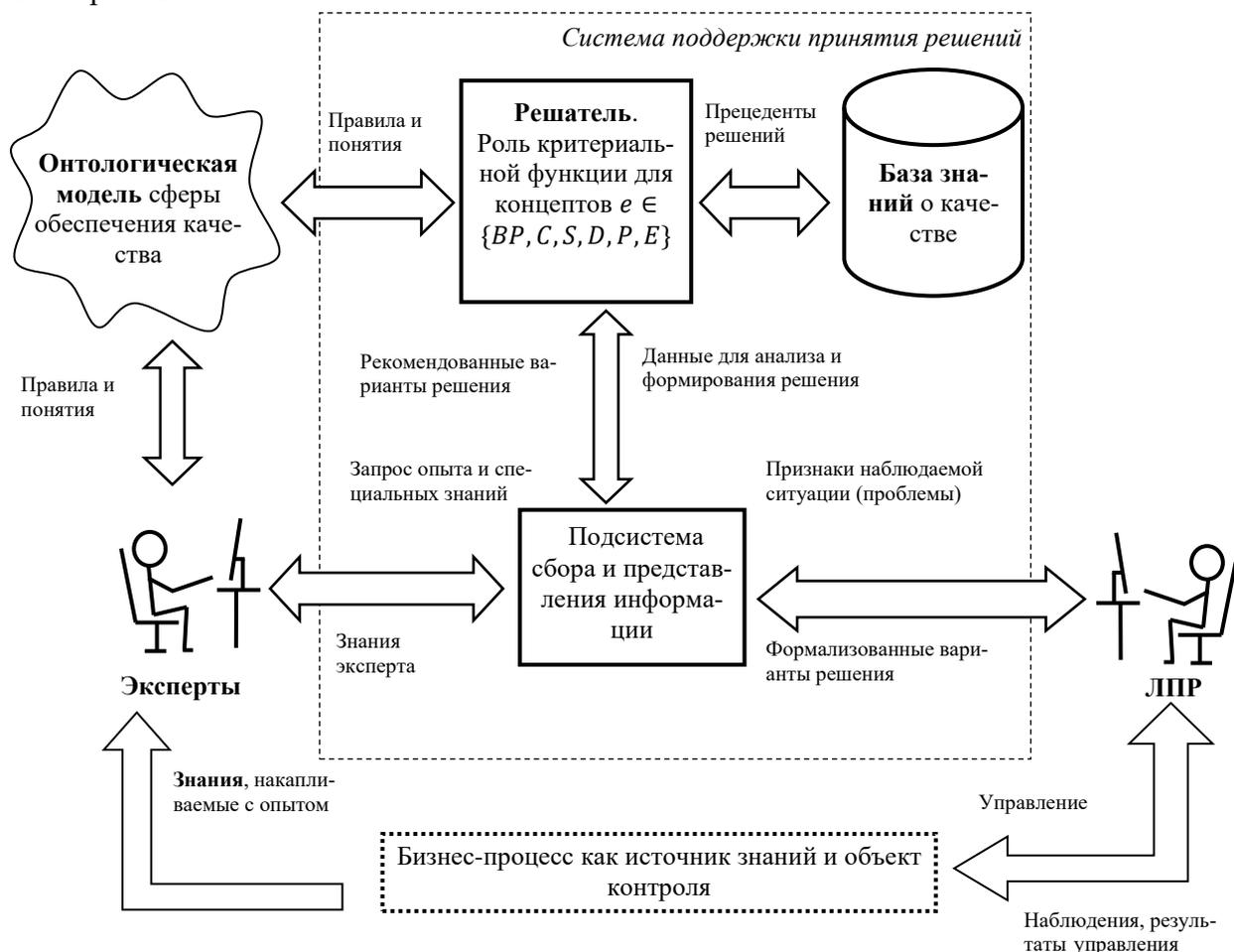
- сбор информации о характеристиках ситуации на объекте управления, характеризующих проблему управления, о возможных решениях этой проблемы, сценариях реализации этих решений и правилах, соотносящих ситуации, решения и сценарии;
- представление информации из системы пользователю;
- формирование вариантов решения, что обеспечивается за счёт:
  - идентификации ситуаций по их параметрам (анализа);
  - выбора варианта решения и связанных с ним сценариев реализации (синтез);
  - сохранения прецедента выбора в базе знаний.

Важно отметить, что опыт последних лет однозначно утверждает, что решение любой практической задачи, кроме, разве что, самых простых, требует предварительного моделирования вариантов решения. Таким образом, в состав СППР должна войти модель, наиболее подходящим типом которой является онтологическая, как наиболее общая и наиболее гибкая.

Следовательно, структура СППР должна включать:

- подсистему сбора информации;
- подсистему представления информации;
- решатель (интеллектуальная компонента);
- база знаний;
- онтологическая модель.

Структура СППР для сферы обеспечения качества на промышленном предприятии показана на рис. 2:



**Рис. 2** Структура системы поддержки принятия решений для сферы обеспечения качества (для объекта контроля).

Актуальный взгляд на инструменты поддержки должностных лиц при формировании решений (см., например, [13–16]) даёт информацию о необходимости интеграции в них специального компонента, который обеспечивает имитацию когнитивных способностей человека – интеллектуальной подсистемы, выступающей в роли решателя в СППР и самой имеющей сложную структуру. По ранее упомянутому принципу связи между структурой системы и решаемыми ею задачами рассмотрим задачи интеллектуальной подсистемы [17]:

- дополнение, обновление и сохранение знаний, то есть её самообучение [18], управление базой знаний на основе информации о параметрах известных ситуаций, требующих выбора из нескольких вариантов, а также данные об опыте таких операций;
- формирование оценки последствий таких решений за счёт информации о результатах реализации сценариев их выполнения (планов);
- выбор и проверка вариантов решения и сценариев их реализации в соответствии с фактами из баз знаний.

В двух указанных выше утверждениях целесообразно уделить внимание следующим семантическим компонентам: прогнозированию результатов принятых решений и их объяснимости. Первая задача очень подробно рассматривалась несколькими исследователями (см., например, [19–21]) и связана с выбором метода анализа результатов процесса принятия результатов. Вторая во многом связана с конкретным интеллектуальным методом, который применяется в рамках интеллектуальной подсистемы (см., например, [22–24]).

Исходя из функций можно рассмотреть следующую структуру интеллектуальной подсистемы:

- подсистема управления базой знаний;
- подсистема анализа и оценки последствий принятых решений;
- подсистема выбора варианта решения.

Подсистема управления базой знаний – это специальная надстройка над базой знаний, веб-сайтом или иным структурированным хранилищем информации, позволяющая не только осуществлять поиск необходимых данных, но и генерировать правила построения отношений между различными информационными объектами, не только причинно-следственные, но и отношения композиции, категоризации, направленной и ненаправленной ассоциации и т. д. Конкретизация описания данной подсистемы интеллектуальной компоненты СППР зависит от выбранного метода принятия решений. Данный вопрос достаточно хорошо исследован и проработан различными авторами [25, 26].

Подсистема анализа и оценки последствий принятых решений обеспечивает обработку и анализ количественной информации, собранной на объекте управления, для оценки характера влияния на характеристики его состояния принятого решения. В данном аспекте важно отметить проблемы, связанные с оценкой последствий принятых решений:

- отделение характеристик объекта управления, на которое повлияло именно оцениваемое решение, а не комплекс прочих решений, что является очень сложной задачей;
- последствия некоторых решений могут быть оценены только через очень продолжительный период времени, когда актуальность такой оценки станет очень мала;
- некоторые решения ведут к новым решениям, образуя цепочки решений, в результате невозможно предсказать состав такой цепочки, а значит, и построить четкий алгоритм для формирования оценки.

Поэтому такие оценки часто получают с использованием оценочных методов или нечёткой логики [27].

Подсистема перебора и выбора варианта решения – есть сам метод принятия решений, реализованный с помощью информационных технологий. Как правило, данный метод связан с поиском по заданным критериям нужного информационного объекта. Поиск может быть полностью автоматическим, адаптивным или автоматизированным.

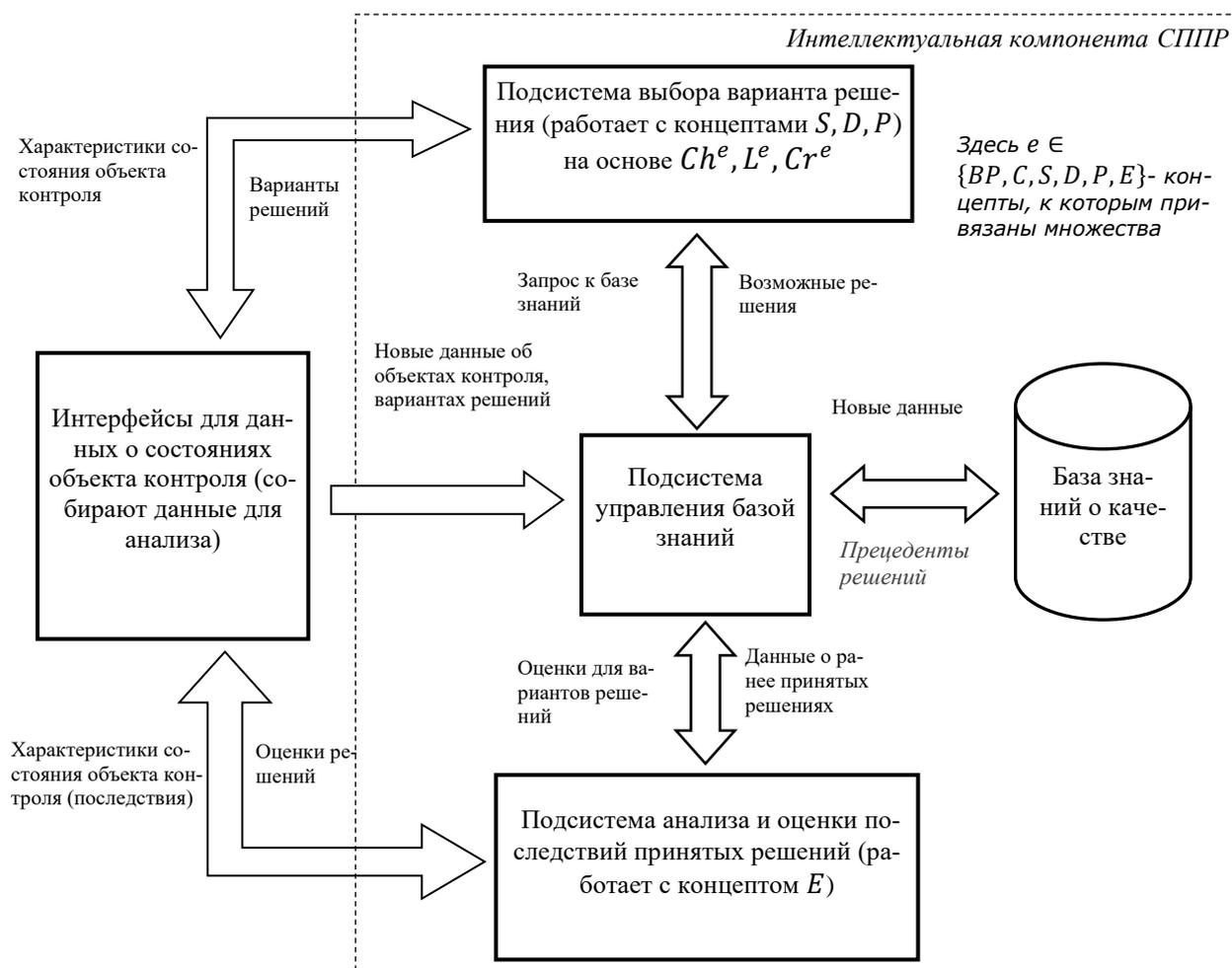
На рис. 3 представлена обобщённая структура интеллектуальной компоненты СППР для сферы обеспечения качества.

Таким образом, на основе предложенной в [28] ситуационно-онтологической методологии поддержки принятия решений в сфере обеспечения качества на промышленных предприятиях возникает возможность разработать метод её применения.

Определим структуру и алгоритм метода применения ситуационно-онтологической методологии поддержки принятия решений в сфере обеспечения качества на промышленных предприятиях.

### **СТРУКТУРА И АЛГОРИТМ МЕТОДА ПРИМЕНЕНИЯ СИТУАЦИОННО-ОНТОЛОГИЧЕСКОЙ МЕТОДОЛОГИИ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СФЕРЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

Как было указано выше, особенностью ситуационно-онтологической методологии поддержки принятия решений является представление модели организационной деятельности, связанной с этим, в виде многоуровневой иерархии, в которой на каждом уровне применяется свой тип моделей. Эта идея не является принципиально новой и успешно применяется во многих современных методологиях проектирования. Новыми являются состав данной модели, правила связи между уровнями, а также подход к использованию данной методологии для решения практических задач.



**Рис. 3** Структурная схема интеллектуальной компоненты СППР для сферы обеспечения качества.

Сформируем метод применения ситуационно-онтологической методологии поддержки принятия решений в сфере обеспечения качества на промышленных предприятиях.

1. Первым делом необходимо определить – что желает получить Заказчик и что ему может предложить для решения Разработчик.

1.1. На начальных этапах необходимо обеспечить сбор данных о требованиях к системе, сформировать границы исследуемой предметной области, которые обычно соответствуют границам бизнес-процесса, в рамках которого реализуется процесс принятия решений, следовательно, первый шаг можно сформулировать следующим образом: «описание и анализ объекта управления как целого и как компонента более сложной системы».

Данный шаг соответствует формированию концептуальных моделей существующих методологий проектирования информационных систем [29, 30], таких как TOGAF, UML, SADT, ARIS и т. д.

1.2. Далее выполняется обследование компонентов объекта управления, то есть определение состава необходимых для работы бизнес-процессов, формирование их концептуальных моделей с использованием тех же инструментов, что и на предыдущем шаге. На данном этапе формируется общее представление об исследуемых объектах и процессах и определяются основные концепты онтологической модели  $e \in \{BP, C, S, D, P, E\}$ . Это шаг «сбора данных о бизнес-процессах».

2. После формирования модели процесса необходимо перейти, собственно, к процессу принятия решений, ради которого проводится вся работа. На данном этапе, как указывалось

выше, следует сформировать онтологию процесса принятия решения как наиболее общую модель для данной задачи. При этом онтологическое представление должно быть максимально приближено к ситуационному, поэтому целесообразно использовать онтологическую модель типа «диаграмма состояний» по стандарту IDef5 [31]. При этом модель может быть ограничена только диаграммой состояний, если решение принимается за 2–3 шага или развернута на 2 уровня: онтологическую и ситуационную, если для получения результата требуется выполнить цепочку связанных решений. В качестве ситуационной модели допустимо использовать диаграмму состояний UML [32] или специализированную метаситуационную модель. На данном этапе происходит формирование множеств  $Ch^e, L^e, Cr^e$  (индекс  $e$  согласно п. 1.2), привязанным к концептам онтологической модели. Следует отметить, что поскольку на начальных этапах сведения об объекте управления могут быть не полными, то на следующих этапах эти множества будут дополняться.

Таким образом, данный шаг метод можно назвать «структурирование процесса и построение ситуационно-онтологической модели».

3. Построение модели и прототипа СППР – один из самых важных этапов проектирования.

3.1. После формирования общей модели бизнес-процесса и модели входящего в него процесса принятия решения необходимо выбрать или сформировать структуру СППР. Типовая структура СППР описана в [33], но применительно к принятию решений в сфере обеспечения качества обязательно добавляется нормативная подсистема как один из источников правил. Кроме того, могут быть дополнительные компоненты, увязанные со спецификой конкретного бизнес-процесса и конкретных точек принятия решений. Следует отметить, что в структуре СППР указывается место интеллектуальной подсистемы, если она предусмотрена, и её структура. Таким образом, на данном шаге формируется структурная физическая модель СППР, включающая описание всех точек принятия решений, для которых она разрабатывается.

Формулировкой для описания данного шага является: «формирование модели структуры СППР и множества точек принятия решений».

3.2. Следующим компонентом физической модели является выбор метода для настройки решателя в СППР. Это конкретный алгоритм, который наиболее подходит для решения задачи выбора решения в конкретной точке принятия решений. Если точек принятия решений несколько, то может потребоваться не один метод для настройки решателя. Выбор таких методов рекомендуется осуществлять методом многокритериального выбора [34].

На данном этапе окончательно формируется критериальная функция для каждого концепта, для которого настраивается СППР. Обычно это уровень ситуации (множество  $S$ ), решения (множество  $D$ ) и сценария (множество  $P$ ). Если состав множеств  $Ch^e, L^e, Cr^e$  (индекс  $e$  согласно п. 1.2) недостаточен для решения задач идентификации ситуаций, синтеза решений или отбора сценария, то необходимо проведение дополнительных исследований для пополнения знаний или использование обучающихся адаптивных алгоритмов (машинное обучение или нейронные сети). Для описания данного шага используем формулировку: «выбор метода решения для настройки решателя в СППР».

4. После окончания этапа проектирования необходимо начать построение СППР, что также осуществляется поэтапно.

4.1. На данном шаге осуществляются работы по подготовке данных для использования в решателе СППР, что реализуется за счёт разработки методов (и алгоритмов для их программной реализации) по подготовке данных. Здесь может быть очень большой спектр методов, связанных со сбором цифрового следа, парсингом текстовых источников, графических файлов или других источников, статистической обработкой данных для удобства обработки и т. д. Данный шаг может вообще не потребоваться, если данные уже готовы и хранятся в реляционных базах данных, но обычно без него обойтись не получается.

Этот шаг можно описать как «подготовка данных для обеспечения возможности дальнейшей обработки методами поддержки принятия решений».

4.2. Реализация алгоритмов по обработке данных для принятия решений с использованием эвристик, экспертного анализа, аналитическими, статистическими или интеллектуальными методами [35, 36] составляет данный шаг метода применения ситуационно-онтологической методологии поддержки принятия решений в сфере обеспечения качества на промышленных предприятиях. На данном шаге осуществляется формирование программного кода (конфигурации стандартного функционала) для обеспечения работы метода поддержки принятия решения. К данному моменту онтология, включающая концепты всех задействованных в СППР уровней и множества их характеристик, мер и критериев, должна быть построена. Критериальные функции  $f(V^e)$  (индекс  $e$  согласно п. 1.2) должны быть ассоциированы с конкретным алгоритмом или операцией, с помощью которых выполняются идентификация ситуации, синтез решения, отбор сценария и т. д. Если в рамках СППР формируется подсистема оценки последствий принятых решений, то для концепта оценок  $E$  тоже должны быть определены множества  $Ch^e, L^e, Cr^e$  (индекс  $e$  согласно п. 1.2) и критериальные функции для их использования при оценке последствий. Для каждой задачи в каждой точке принятия решений в данной части будут своя работа и свой, скорее всего уникальный, алгоритм.

Для описания этого шага используем следующий текст: «настройка решателя СППР выбранным методом на основе подготовленных данных».

4.3. Настройка решателя СППР требует апробации выбранного метода, что производится на тестовом примере, а затем на реальных данных. Данный этап играет важную роль, поскольку на основе его результатов во многом определяется, будет ли использоваться выбранное проектное решение или потребуется доработка проекта. Данный этап называется «верификация и валидация СППР».

4.4. После апробации метода принятия решений принимается решение о развёртывании всех компонент СППР, после чего осуществляются их конфигурирование (программирование при необходимости) и внедрение на предприятии. Этот процесс можно озаглавить: «развёртывание компонент СППР и внедрение их на промышленном предприятии».

5. Заключительным шагом является «использование разработанной СППР для решения поставленных задач». Важно отметить, что на данном шаге следует решить задачи системной интеграции разработанной модели СППР и нормативного базиса предприятия.

На основе вышесказанного можно построить схему алгоритма реализации метода (рис. 4).

Следует отметить, что предложенный алгоритм отражает концептуальный уровень метода проектирования СППР и может быть детализирован или уточнён для каждого конкретного проекта.

Следовательно, можно заключить, что для ситуационно-онтологической методологии поддержки принятия решений в сфере обеспечения качества на промышленных предприятиях на концептуальном уровне разработан метод применения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье были детально рассмотрены особенности принятия решений в сфере обеспечения качества в промышленности, проведён анализ структуры реализуемых компонент в рамках ситуационно-онтологической методологии поддержки принятия решений, сформирована теоретико-множественная модель процесса функционирования интеллектуальной компоненты, разработана структура этапов и алгоритм их реализации по созданию СППР. Таким образом, сформулирован метод применения ситуационно-онтологической методологии поддержки принятия решений в сфере обеспечения качества на промышленных предприятиях. Иными словами, можно сделать вывод, что цель данной работы была достигнута.

В развитие данной темы выполняются исследования частных вопросов и реализуются мероприятия по практическому применению данного метода при опытно-конструкторских работах по цифровизации и развёртыванию интеллектуальных решений на предприятии авиационного двигателестроения.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Зоидов К. Х., Урунов А. А., Акрамов Б. А. Искусственный интеллект: возможности применения для контроля качества готовой продукции в текстильной промышленности // Региональные проблемы преобразования экономики. 2021. № 2(124). С. 12-22. DOI 10.26726/1812-7096-2021-2-12-22. [[ Zoidov K. Kh., Urunov A. A., Akramov B. A. "Artificial intelligence: possibilities of application for quality control of finished products in the textile industry" (in Russian) // Regional Problems of Economic Transformation. 2021. No. 2 (124), pp. 12-22. ]]
2. Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Бекларян Г. Л. Разработка цифровых двойников для производственных предприятий // Бизнес-информатика. 2019. Т. 13, № 4. С. 7-16. DOI 10.17323/1998-0663.2019.4.7.16. EDN NWKMEZ. [[ Makarov V. L., Bakh-tizin A. R., Beklaryan G. L. "Development of digital twins for manufacturing enterprises" (in Russian) // Business Informatics. 2019. Vol. 13, No. 4, pp. 7-16. ]]
3. Ершов А. К. Управление качеством: учебное пособие. М.: Логос, 2017. 266 с. [[ Ershov A.K. Quality Management: Textbook (in Russian). Moscow: Logos, 2017. ]]
4. Станкевич Л. А. Интеллектуальные системы и технологии: Учебник и практикум. М.: Юрайт, 2020. 397 с. EDN LZWNFV. [[ Stankevich L. A. "Intelligent Systems and Technologies: Textbook and Workshop (in Russian). Moscow: Yurait, 2020. ]]
5. Антонов В. В., Конев К. А. Интеллектуальный метод поддержки принятия решений в типовой ситуации // Онтология проектирования. 2021. Т. 11, № 1(39). С.126-136. DOI 10.18287/2223-9537-2021-11-1-126-136. [[ Antonov V. V., Konev K. A. "Intelligent method of decision support in a typical situation" (in Russian) // Ontology of Designing. 2021. V. 11, No.1(39), pp.126-136. ]]
6. Боргест Н. М. Системный и онтологический анализы: схожесть и различие понятий // Онтология проектирования. 2024. Т. 14, № 1(51). С. 9-28. DOI 10.18287/2223-9537-2024-14-1-9-28. EDN KRGWSR. [[ Borgest N. M. "System and ontological analysis: similarity and difference of concepts // Ontology of Designing. 2024. Vol. 14, No. 1(51), pp. 9-28. DOI 10.18287/2223-9537-2024-14-1-9-28. EDN KRGWSR. (In Russian). ]]
7. Шведин Б. Я. Онтология предприятия: экспериментальный подход: технология построения онтологической модели предприятия. М.: URSS, 2010. 234 с. [[ Shvedin B. Ya. Enterprise Ontology: An Experimental Approach: Technology for Building an Enterprise Ontological Model (in Russian). Moscow. URSS, 2010. ]]
8. Семенова В. А., Смирнов С. В. Механизм нормализации эмпирического контекста в онтологическом анализе данных // СИИТ. 2021. Т. 3, № 3(7). С. 45-52. EDN QXRTXB. [[ Semenova V. A., Smirnov S. V. "The mechanism of normalization of the empirical context in the ontological analysis of data // SIIT. 2021. Vol. 3, No 3(7), pp. 45-52. DOI 10.54708/26585014\_2021\_33745. EDN QXRTXB. (In Russian). ]]
9. Скобелев П. О. Онтологии деятельности для ситуационного управления предприятиями в реальном времени // Онтология проектирования. 2012. № 1 (3). С. 6-38. [[ Skobelev P. O. "Ontologies of activity for situational management of enterprises in real time" (in Russian) // Ontology of design. 2012. No. 1 (3), pp. 6-38. ]]
10. Антонов В. В., Конев К. А. Усовершенствование ситуационной методологии разработки систем поддержки принятия решений для предприятий // Онтология проектирования. 2022. Т. 12, №4(46). С. 547-561. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-4-547-561. EDN UVKUWM. [[ Antonov V. V., Konev K. A. "Improving the situational methodology for developing decision support systems for enterprises" // Ontology of Design. 2022. Vol. 12, No. 4(46), pp. 547-561. (In Russian). EDN UVKUWM. ]]
11. Гидинда Г. М., Кромина А. М., Антонов В. В. Реинжиниринг инфраструктуры организации на примере кафедры университета // СИИТ. 2024. Т. 6, № 2(17). С. 3-10. EDN MIPNBO. [[ Gidinda G. M., Kromina A. M., Antonov V. V. "Reengineering of the organization's infrastructure on the example of a university department" // SIIT. 2024. Vol. 6, No. 2(17), pp. 3-10. EDN MIPNBO. (In Russian). ]]
12. Ризванов Д. А., Чернышев Е. С. Методы и алгоритмы поддержки принятия решений при управлении производственными ресурсами машиностроительного предприятия на основе многоагентного подхода // СИИТ. 2023. Т. 5, № 2(11). С. 96-106. EDN PIZIDE. [[ Rizvanov D. A., Chernyshev E. S. "Methods and algorithms for supporting decision-making in managing production resources of a machine-building enterprise based on a multi-agent approach" // SIIT. 2023. Vol. 5, No. 2(11), pp. 96-106. EDN PIZIDE. (In Russian). ]]
13. Duan Y., Edwards J., Dwivedi Y. K. "Artificial intelligence for decision making in the era of Big Data - evolution, challenges and research" // International Journal of Information Management. 2019. V. 48, pp. 63-71.
14. Заболотникова В. С. Разработка концептуальной модели управленческой системы в налоговой службе // Современные наукоемкие технологии. 2017. № 10. С. 7-12. EDN ZRDZBX. [[ Zabolotnikova V. S. "Development of a conceptual model of the management system in the tax service" (in Russian) // Modern Science-Intensive Technologies. 2017. No. 10, pp. 7-12. ]]
15. Измайлов М. К. Проблемы внедрения цифровизационных инноваций в процессы производства // Экономика Северо-Запада: проблемы и перспективы развития. 2023. № 2(73). С. 53-58. DOI 10.52897/2411-4588-2023-2-53-58. EDN IBVYSV. [[ Izmailov M. K. "Problems of introducing digital innovations into production processes" (in Russian) // Economy of the North-West: Problems and Development Prospects. 2023. No. 2 (73), pp. 53-58. ]]
16. Шалфеева Е. А. Методология производства жизнеспособных систем доверительного искусственного интеллекта // СИИТ. 2023. Т. 5, № 4(13). С. 28-49. EDN CJTKQH. [[ Shalfeeva E. A. "Methodology for the production of viable systems of trustworthy artificial intelligence" // SIIT. 2023. Vol. 5, No. 4(13), pp. 28-49. EDN CJTKQH. (In Russian). ]]
17. Антонов В. В., Конев К. А., Куликов Г. Г. Трансформация модели системы поддержки принятия решений для типовых ситуаций с применением интеллектуальных и аналитических методов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2021. Т. 21, № 3. С. 14–25. DOI 10.14529/ctcr210302. [[ Antonov V. V., Konev K. A.,

- Kulikov G. G. "Transformation of the decision support system model for typical situations using intelligent and analytical methods" // Bulletin of SUSU. 2021. V. 21, No. 3, pp. 14-25. (In Russian). ]]
18. Wang J., Ma Y., Zhang L., Gao R. X., Wu D. "Deep learning for smart manufacturing: Methods and applications" // Journal of Manufacturing Systems. 2018, Vol. 48, pp. 144-156.
  19. Al-Janabi S., Mahdi M. A. "Evaluation techniques to achievement an optimal biomedical analysis" // International Journal of Grid and Utility Computing. 2019. Vol. 10(5), pp. 512-527.
  20. Осипов В. П. и др. Интеллектуальное ядро системы поддержки принятия решений // Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша. 2018, № 205. 23 с. [[ Intelligent Core of the Decision Support System (in Russian) / V.P. Osipov et al // Preprints of the Keldysh Institute of Applied Mathematics. 2018, No. 205. ]]
  21. Веревкин А. П., Муртазин Т. М. Моделирование производственных процессов на основе когнитивной информации и временных рядов // СИИТ. 2022. Т. 4, № 1(8). С. 12-19. EDN QPTPES. [[ Verevkin A. P., Murtazin T. M. "Modeling of production processes based on cognitive information and time series" // SIIT. 2022. Vol. 4, No. 1(8), pp. 12-19. EDN QPTPES. (In Russian). ]]
  22. Zou J., Petrosian O. "Explainable AI: using shapley value to explain complex anomaly detection ML-based systems" // Frontiers in Artificial Intelligence and Applications. 2020, Vol. 332, pp. 152-164.
  23. Тиханычев О. В. Теория и практика автоматизации поддержки принятия решений. М.: Эдитус, 2018. 76 с. EDN URWWFD. [[ Tikhanychev O. V. Theory and Practice of Automation of Decision Support (in Russian). Moscow. Editus, 2018. ]]
  24. Родионова Л. Е., Антонов В. В., Баймурзина Л. И., Гидинда Г. М. Модели проектирования программных аналитических комплексов с декартово замкнутой категорией // СИИТ. 2023. Т. 5, № 5(14). С. 3-15. EDN AQLGLE. [[ Rodionova L. E., Antonov V. V., Vaimurzina L. I., Gidinda G. M. "Models for designing software analytical complexes with a Cartesian closed category" // SIIT. 2023. Vol. 5, No. 5(14), pp. 3-15. EDN AQLGLE. (In Russian). ]]
  25. Введение в системное проектирование интеллектуальных баз знаний / С. А. Баркалов, А. В. Душкин, С. А. Колодяжный, В. И. Сумин. М.: Горячая линия–Телеком, 2017. 108 с. EDN YKUHVD. [[ Barkalov S. A., Dushkin A. V., Kolodyazhny S. A. et al. Introduction to System Design of Intelligent Knowledge Bases (in Russian). Moscow. Hot Line-Telecom, 2017. ]]
  26. Шурыгин А. С., Макарова Е. А. Система агент-ориентированного моделирования функционирования кластеров предприятий с учётом налогообложения // СИИТ. 2023. Т. 5, № 6(15). С. 24-31. EDN TNDUPQ. [[ Shurygin A. S., Makarova E. A. "Agent-based modeling system for the functioning of enterprise clusters taking into account taxation" // SIIT. 2023. Vol. 5, No. 6(15), pp. 24-31. EDN TNDUPQ. (In Russian). ]]
  27. Балашов О. В., Букачев Д. С. Подход к оценке качества управленческих решений на основе нечёткой логики // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. 2020. Т. 5, № 1(15). С. 3-7. EDN CKRXTR. [[ Balashov O. V., Bukachev D. S. "An approach to assessing the quality of management decisions based on fuzzy logic" (in Russian) // International Journal of Information Technology and Energy Efficiency. 2020. Vol. 5, No. 1(15), pp. 3-7. ]]
  28. Антонов В. В., Конев К. А., Куликов Г. Г., Суворова В. А. Ситуационно-онтологическая методология принятия решений на примере бизнес-процессов авиаприборостроительного предприятия // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2021. Т. 21, № 1. С. 102-115. DOI: 10.14529/ctcr210110. [[ Antonov V. V., Konev K. A., Kulikov G. G., Suvorova V. A. "Situational-ontological methodology of decision-making on the example of business processes of an aircraft instrument-making enterprise" (in Russian) // Bulletin of the South Ural State University. Series: Computer Technologies, Control, Radio Electronics. 2021. Vol. 21, No. 1, pp. 102-115. ]]
  29. Bernanda D. Yu., Christianto K., Chandra A., Pradipta A. "Design enterprise architecture in forwarding company using TOGAF method" // International Journal of Open Information Technologies. 2020. Vol. 8, No. 8, pp. 79-83. EDN KIZODO.
  30. Федорова О. В., Мамаева А. А., Якунина Е. А. Применение методологий SADT и ARIS для моделирования и управления бизнес-процессами информационных систем // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2018. Т. 80, № 1(75). С. 105-109. DOI 10.20914/2310-1202-2018-1-105-109. [[ Fedorova O. V., Mamaeva A. A., Yakunina E. A. "Application of SADT and ARIS methodologies for modeling and managing business processes of information systems" (in Russian) // Bulletin of the VSU of Engineering Technologies. 2018. Vol. 80, No. 1(75), pp. 105-109. ]]
  31. KBSI (2006). IDEF5 Overview. URL <http://www.idef.com/IDEF5.htm>
  32. Флегонтов А. В., Матюшичев И. Ю. Моделирование информационных систем. Unified Modeling Language. М.: Лань, 2019. 112 с. [[ Flegontov A. V., Matyushichev I. Yu. Modeling of Information Systems. Unified Modeling Language. Moscow: Lan, 2019. (in Russian). ]]
  33. Юрченко И. Ф. Методологические основы создания информационной системы управления водопользованием на орошении // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2017. № 1. С. 13-17. EDN YINOJB. [[ Yurchenko I. F. "Methodological foundations for creating an information system for managing water use in irrigation" (in Russian) // Bulletin of Russian Agricultural Science. 2017. No. 1, pp. 13-17. ]]
  34. Интеллектуальный анализ данных в управлении производственными системами (подходы и методы) / Л. А. Мыльников, Б. Краузе, М. Кютц, К. Баде, И. А. Шмидт. М.: БИБЛИО-ГЛОБУС, 2017. 334 с. [[ Mylnikov L. A., Krause B., Kutz M. et al. Intelligent Data Analysis in Production Systems Management (Approaches and Methods) (in Russian). Moscow. BIBLIO-GLOBUS, 2017. ]]
  35. Коробов В. В. Теория и практика экспертных методов: Монография. М.: ИНФРА-М, 2019. 281 с. DOI 10.12737/monography\_5caee0067f1835.43206494. EDN FOYBJI. [[ Korobov V. V. Theory and Practice of Expert Methods: Monograph (in Russian). Moscow. INFRA-M, 2019. ]]

36. Серых В. И., Порватов С. П., Сединин В. И. Многопараметрический контроль продукции: достоверность и затраты // Методы менеджмента качества. 2010. № 5. С. 48-52. [[ Serykh V. I., Porvatov S. P., Sedinin V. I. "Multiparameter control of products: reliability and costs" (in Russian) // Quality Management Methods. 2010. No. 5, pp. 48-52. ]].

*Поступила в редакцию 28 октября 2024 г.*

#### МЕТАДАННЫЕ / METADATA

**Title:** Development of a decision support method in the field of quality assurance in industrial enterprises.

**Abstract:** The aim of the work is to solve the urgent problem of developing a decision support method in the field of quality assurance at industrial enterprises. To achieve this goal, the following tasks are solved: analysis of the subject area features, a brief description of the situational-ontological methodology, on the basis of which the decision is formed, as well as the formation of a solution in the form of a method for applying this methodology to support decision-making in the field of quality assurance at industrial enterprises. To solve the tasks set, the work considers the features of decision-making in this subject area, forms the need for making many decisions based on a large volume of diverse information obtained from various sources as one of the characteristics of this subject area. To improve understanding, the situational-ontological methodology for supporting decision-making in the field of quality assurance at industrial enterprises is briefly described, sets are introduced to describe the levels of the model of the subject area under consideration. The structure of the decision support system for the field of quality assurance (for the control object) is developed. In addition, a set-theoretic model of the functioning process of the intellectual component, as well as a structural diagram of its functioning, have been developed. The structure of the stages of the method for applying the methodology of decision support in the field of quality assurance at industrial enterprises and the algorithm for their implementation for creating a DSS have been developed. The complexity of the study is determined by the peculiarity of the subject area. The result of the study is an algorithm for applying the situational-ontological methodology to support decision making in the field of quality assurance at industrial enterprises.

**Key words:** decision support system; situational-ontological model; sphere of quality assurance of industrial enterprise; criteria function; intellectual component of decision support system.

**Язык статьи / Language:** русский / Russian.

**Поддержка/Support:** Государственное задание для высших учебных заведений № FEUE-2023-0007.

#### Об авторах / About the authors:

##### КОНЕВ Константин Анатольевич

Уфимский университет науки и технологий, Россия.  
Доц. каф. автоматизированных систем управления. Магистр техники и технологии (Башкирск. гос. ун-т, 2000). Канд. техн. наук (Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т, 2004). Иссл. в обл. ситуационного управления и онтологического моделирования.  
E-mail: sireo@rambler.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8595-7738>  
URL: [elibrary.ru/author\\_profile.asp?authorid=544899](http://elibrary.ru/author_profile.asp?authorid=544899)

##### АНТОНОВ Вячеслав Викторович

Уфимский университет науки и технологий, Россия.  
Зав. каф. автоматизированных систем управления, профессор. Инженер (Башкирск. гос. ун-т, 1979). Д-р техн. наук (Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т, 2015). Иссл. в обл. интеллектуальных систем..  
E-mail: antonov.v@bashkortostan.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5402-9525>  
URL: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?authorid=530537](https://elibrary.ru/author_profile.asp?authorid=530537)

##### KONEV Konstantin Anatolevich

Ufa University of Science and Technology (UUST), Russia.  
Assoc. Prof., Dept. of Automated Control Systems. Master of Engineering and Technology (Bashkir State Univ., 2000). Cand. Sci. (Eng.) (Ufa State Aviation Technical Univ., 2004). Research in the field of situational management and ontological modeling..  
E-mail: sireo@rambler.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8595-7738>  
URL: [elibrary.ru/author\\_profile.asp?authorid=544899](http://elibrary.ru/author_profile.asp?authorid=544899)

##### ANTONOV Vyacheslav Viktorovich

Ufa University of Science and Technology (UUST), Russia.  
Head of the Department of Automated Control Systems, Prof. Eng. (Bashkir State Univ., 1979). Doctor of Engineering Sciences (Ufa State Aviation Technical Univ., 2015). Research in the field of intelligent systems..  
E-mail: antonov.v@bashkortostan.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5402-9525>  
URL: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?authorid=530537](https://elibrary.ru/author_profile.asp?authorid=530537)