

ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СФЕРЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ

© 2022 К. А. Конев✉

*Уфимский государственный авиационный технический университет,
ул. Карла Маркса, 12, 450000 Уфа, Российская Федерация*

Аннотация. В статье описаны подходы по реализации ситуационно-онтологической методологии разработки систем поддержки принятия решений в области обеспечения качества с использованием инструментов для цифрового анализа и обработки данных. Исследование проведено с целью подтверждения возможности реализации методологии с использованием популярных инструментов для цифрового анализа данных. Актуальность исследования связана с высокими требованиями к персоналу в сфере обеспечения качества в части широты знаний о внутренних бизнес-процессах, нормативных требованиях к ним, различным инструментальным и эвристическим методах, что требует принятия большого числа разнородных решения, для которых требуется большой объём разнообразных знаний. В таких условиях система поддержки принятия решений является хорошим способом решения. Новизна предложенного решения связана как с новизной самой используемой ситуационно-онтологической методологии разработки систем поддержки принятия решений, так и с новизной применения совокупности известного метода дерева решений и программного пакета Knime Analytics Platform при формировании системы поддержки принятия решений в сфере обеспечения качества. В ходе исследования удалось продемонстрировать принципиальную реализуемость ситуационно-онтологической методологии разработки систем поддержки принятия решений в области обеспечения качества, была построена модель цифровой обработки данных о дефекте обеспечивающая формирование однозначного решения о дальнейших действиях с причиной этого дефекта на основе требований действующих регламентов организации.

Ключевые слова: анализ данных, принятие решений, ситуационно-онтологическая методология разработки систем поддержки принятия решений, метод дерева решений, обеспечение качества, несоответствующая продукция в промышленности.

ВВЕДЕНИЕ

Сфера обеспечения качества относится к сквозным видам профессиональной деятельности и характеризуется высочайшим разнообразием задач, включающих многочисленные виды экспертиз, проверочных мероприятий, испытаний, а также множество разнообразных видов планирования, анализа,

обеспечения и управления [1]. И для каждой работы нужен профильный специалист, обладающий высокой квалификацией. Но при этом стратегией по обеспечению качества в большинстве отраслей промышленности является минимизация расходов. Потребитель хочет получить качественный товар, но не готов переплачивать за работу служб и подразделений, которые никак не повышают потребительских характеристик этого товара — вечное неразрешимое противоречие. В каких-то отраслях, например, в авиастроении,

✉ Конев Константин Анатольевич
e-mail: sireo@rambler.ru



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

оно решается требованиями национальных или международных стандартов и законов, в каких-то, например, при производстве премиальных брендов, высокой наценкой за высококачественный товар, а где-то, например, при производстве дешевой одежды, их игнорируют или минимизируют. При этом для руководителя любого производства в большинстве ситуаций будет важнее потратить рубль на новое оборудование, чем на внедрение нового метода контроля. Обеспечивающие процессы всегда финансируются после основных — это непреложное правило бизнеса. В результате сложнейшие задачи обеспечения качества, имеющие значительно больший объём требующих внимания характеристик, необходимо решать в условиях меньших затрат. Что создаёт в данной сфере деятельности серьёзнейший дефицит квалифицированных работников. Молодые специалисты быстро получают богатый опыт и уходят на профессиональные треки, на которых больше платят и лучше карьерные перспективы. Таким образом, задачи автоматизации и интеллектуализации деятельности по обеспечению качества, создания систем поддержки принятия решений в данной деятельности, являются актуальными и значимыми. Особенно их решение важно для отраслей промышленности, связанных с жесткими государственными требованиями к качеству конечной продукции, например, в отрасли авиационного приборостроения. Именно методу принятия решений с использованием инструментального анализа данных для систем поддержки принятия решений при обеспечении качества на предприятии авиационного приборостроения и посвящена данная статья.

1. ДВУХТАКТНАЯ СХЕМА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ И ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ ЕЁ ИНТЕРПРЕТАЦИИ

Концепция принятия решения на основе анализа ситуации, базируется на широко известных работах Поспелова и ряда его последователей (см. например [2, 3]). Механизм познания мира человеком можно представить, как простую двухтактную схему: сначала

он анализирует ситуацию и подсознательно производит её идентификацию, а затем на основе понимания о том, какая эта ситуация, производит выбор из альтернатив, т. е. осуществляет принятие решения. В [4] было показано, что данная схема может быть дополнена целым рядом различных дополнительных инструментов, в том числе и интеллектуальных [5], которые позволят обеспечить поддержку принятия решения ЛПР и обеспечат сохранение, накопление и анализ опыта эксперта, что было названо ситуационно-онтологической методологией создания систем поддержки принятия решений. На рис. 1 показана обобщённая схема принятия решения с позиции данной методологии.

Анализ рис. 1 показывает, что для работы системы поддержки принятия решений, построенной в соответствии с предложенной методологией, потребуется решить несколько важных задач:

- сформировать модель бизнес-процесса;
- определить точки принятия решений;
- решить задачу автоматической идентификации ситуации;
- сконфигурировать и применить инструментарий для генерации вариантов решения для ЛПР в определённой ситуации, в конкретной точке принятия решений.

В статьях [6, 7] освещены подходы к решению первых трёх задач, но вопрос практической реализации по формированию решений с использованием конкретных инструментов был обойдён. В данной статье ставится задача построить рабочую схему получения готовых решений на основе анализа данных, которые становятся доступны после идентификации ситуации к некоторому, заранее определённому типу в условиях действующих жёстких ограничений внутренних регламентов промышленного предприятия, в роли которого выступает предприятие авиационного приборостроения.

2. ЗАДАЧА О МЕРАХ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НЕСООТВЕТСТВУЮЩУЮ ПРОДУКЦИЮ

Одним из важных элементов бизнес-процесса обеспечения качества в производстве

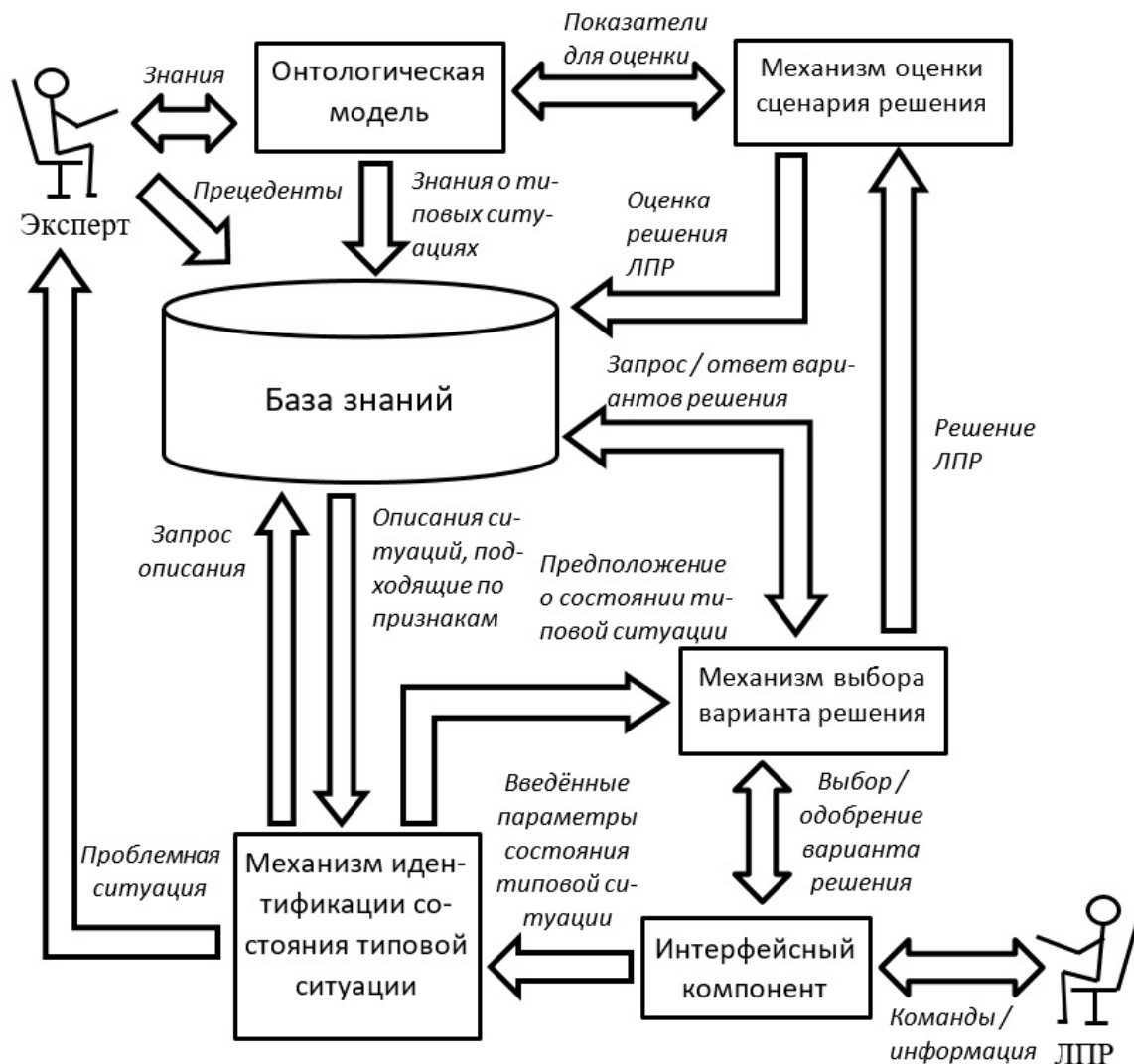


Рис. 1. Структурная схема СППР
[Fig. 1. Structure diagram of the DSS]

является процесс управления несоответствующей продукцией [8, 9]. В процессе по управлению несоответствующей продукцией, помимо прочих, есть важная точка принятия решений, в которой решается: является ли данный дефект собственно дефектом и какова стратегия по дальнейшим действиям по устранению причины дефекта специалистам предприятия. На этапе выбора осуществляется выбор решения по действиям с причиной данного дефекта, которое может быть одним из набора:

- причину устранить в минимально возможный срок с любыми издержками (например, если причина не позволяет эксплуатировать самолёт авиакомпании или останавливает сборочный конвейер на заводе);

- причину устранить быстро, но с минимальными инвестициями (например, при некачественной механической обработке детали или при ошибке в технологии);

- отложить устранение причины до выполнения некоторых условий (например, до появления свободных средств на закупку нужного оборудования);

- причину не устранять, а принять как допустимый риск (например, если использована проводка иного цвета, чем указано в технологии).

Таким образом, формируется алгоритм обработки данных о дефекте, который перебирает классификационные признаки и формирует один или несколько вариантов причин проблем, для каждого из которых на ос-

нове последующего анализа дополнительных признаков, таких как, например, влияние на функционирование продукции или оказываемую услугу, вероятность повторения, тяжесть последствий в плане финансовых потерь, тяжесть последствий в плане безопасности для эксплуатантов, общества и окружающей среды, тяжесть последствий в плане имиджа организации, стоимость устранения причины, время на устранение причины, требование к привлечению эксклюзивных специалистов к устранению причины и т. д.

Важным источником информации о дефекте является его описание. Допустим описание дефекта включает несколько категорий:

Место обнаружения — привязка к этапу жизненного цикла продукта или услуги, на которой зафиксирован дефект.

Пример: дефект обнаружен на этапе приёмочных испытаний.

Влияние на потребителя — уровень связи дефекта с конечным продуктом или услугой для потребителя, т. е. дефект может быть в диапазоне от потенциальных ошибок в документах до прямого отказа продукции (провала услуги) для потребителя.

Пример: дефект связан с оформлением сопроводительной документации, т. е. связан с качеством продукции косвенно.

Формулировку описания дефекта в виде описания нарушенных требований.

Пример описания: при включении устройства наблюдаются не предусмотренные эксплуатационной документацией биения, которые могут прекратиться через несколько секунд.

– Дополнительные обстоятельства дефекта — связь с внешними по отношению к процессу факторами, которые не были достаточно учтены при его реализации.

Пример: дефектный узел произведён монтажником радиоэлектронной аппаратуры последним в конце рабочей смены.

– Повторяемость — наличие или отсутствие аналогичных дефектов в анамнезе. Повторяемость может быть полной, т. е. во всех деталях или частичной, т. е. по месту обнаружения, формулировке описания, исполнителю, обстоятельствам и т. д.

Пример: на станке X повторно выявлено завышение диаметра сквозного отверстия детали, несмотря на заменённое сверло.

– Предполагаемый виновник — физическое лицо, оборудование или организационный процесс, который может выступить виновником дефекта. Нередко виновников может быть больше одного.

Пример: предположительно ошибка возникла по вине рабочего механического цеха, который не убедился, что деталь нужного размера, и технолога отдела технологий механообработки, упустившего при составлении инструкции необходимость повторного замера.

Значимость дефекта — достаточно емкая характеристика, определяющая объём вероятных потерь организации в части ресурсов, имиджа и влияния на безопасность.

Пример: исправление ошибок при разводке платы потребует затрат в размере Y рублей.

Вероятность обнаружения — вероятность выявить дефект, которая может быть очень низкой для скрытых дефектов или 100 % для явных дефектов.

Пример: скрытый дефект, связанный с отсутствием проверки состояния переменной Z в программном обеспечении системы управления газотурбинным двигателем, был случайно обнаружен на испытаниях на моторном стенде.

Если ввести классификацию для каждой характеристики дефекта и внести в базу данных, то появится возможность формировать правила по реагированию на различные сочетания данных характеристик при решении задачи выбора дальнейших действий с дефектом.

Очевидно, что информация из характеристик дефекта может быть использована не только для принятия решения о том, что его причину нужно устранять или нет. Но целью данной статьи является иллюстрация метода принятия решений, поэтому последующие решения об определении причины, виновников и мер по устранению дефекта здесь рассмотрены не будут.

Представим каждую характеристику как множество значений, исключив для простоты характеристику «Формулировка описания

дефекта», которая для решения о необходимости устранения причин дефекта не является значимой. Для обеспечения возможностей по дальнейшей цифровой обработке, сразу введём порядковые номера (указаны в скобках после значения) для каждого значения характеристик (см. табл. 1).

Важным отличительным признаком предметной области, связанной с обеспечением качества, является большой упор на стандартизацию и практическое использование значительного числа явно сформированных нормативных требований (правил). Иногда данные правила напрямую устанавливают национальные или международные стандарты, но в последнее время идёт постепенный переход к тому, чтобы правила реализации конкретных функций и, тем более, операций

устанавливались на уровне производственной организации, но в границах и ограничениях, которые сформированы на уровне национальных или международных регуляторов. Такой подход открывает возможность создания гибких адаптивных систем, в которых правила также подстраиваются в процессе функционирования с использованием методов машинного обучения или даже глубокого обучения, но в настоящей статье применительно к работе с дефектами рассмотрена задача поддержки принятия решений на основе существующего комплекса правил (см. рис. 2).

Рассмотрим типичную для предприятий авиационного приборостроения ситуацию, в которой правила принятия решений о дальнейших действиях с причиной дефекта явно

Таблица 1. Значения характеристик дефекта
[Table 1. Values of defect characteristics]

Характеристика	Обозначение	Множество значений
Место обнаружения	D	Разработка (1), испытания (2), производство (3), приёмочные испытания (4), эксплуатация (5)
Влияние на потребителя	I	Отсутствует (1), косвенное (2), слабое (3), среднее (4), значительное (5)
Дополнительные обстоятельства дефекта	C	Не выявлены (1), утро понедельника (2), вечер пятницы (3), сверхурочная работа (4), сверхсрочная работа (5), неудовлетворительные условия на рабочем месте (6), работа выполняется впервые (7), физические недостатки исполнителя (8), форс-мажорные обстоятельства (9), испытательный срок исполнителя (10)
Повторяемость	R	Полная повторяемость (1), повторяемость по нескольким характеристикам (2), повторяемость по одной характеристике (3), единичный случай (4)
Предполагаемый виновник	N	Исполнитель (1), организатор (2), предшествующий исполнитель (3), поставщик материалов, сырья или услуг (4), сервисные службы, включая хранение, погрузку, упаковку и доставку (5), эксплуатирующая организация (6)
Значимость дефекта	S	Нет потерь (1), незначительные внутренние потери (2), средние внутренние потери (3), средние внешние потери (4), значительные потери (5), критический ущерб (6)
Вероятность обнаружения	P	Скрытый дефект (1), выявляемый дефект (2), явный дефект (3)



Рис. 2. Схема принятия решения в ситуации анализа причины дефекта на основе правил [Fig. 2. Schema of decision making in the situation of rule-based analysis of the cause of a defect]

определены в стандарте в виде широкого комплекса правил и ограничений. Данные ограничения описаны в нескольких инструкциях и стандартах организации, названия которых не указываются по требованию организации. Обобщим данные правила, отбросим малозначительные, обезличим и получим интегральное табличное представление (см. табл. 2).

Таблица 2. Критерии выбора решений на основе правил инструкции [Table 2. Decision selection criteria based on instruction rules]

Решение	Комбинация характеристик
причину устранить с любыми издержками	Место обнаружения — эксплуатация, при условии, что Предполагаемый виновник НЕ эксплуатирующая организация Влияние на потребителя — среднее ИЛИ значительное Повторяемость — полная повторяемость Значимость дефекта — критический ущерб
причину устранить с минимальными инвестициями	Влияние на потребителя — слабое Повторяемость — повторяемость по нескольким характеристикам Значимость дефекта — значительные потери ИЛИ средние внутренние потери ИЛИ средние внешние потери
отложить устранение причины до выполнения некоторых условий	Влияние на потребителя — косвенное Повторяемость — повторяемость по одной характеристике
причину не устранять	Дополнительные обстоятельства дефекта — форс-мажорные обстоятельства Предполагаемый виновник — эксплуатирующая организация Значимость дефекта — нет потерь Значимость дефекта — незначительные внутренние потери, при условии, что Повторяемость — единичный случай

3. ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПРАВИЛ ИЗ РЕГЛАМЕНТА ПРЕДПРИЯТИЯ БЕЗ ИХ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ

Для формирования примера модели принятия решения, подготовим данные. Обычно данные о дефектах на предприятиях хранятся в табличной форме либо в виде бумажного журнала (постепенно уходящий в прошлое вариант), либо в виде файла в текстовом процессе или базе данных.

С целью повышения наглядности используем инструмент для анализа данных — программный пакет Knime Analytics Platform.

Knime Analytics Platform — open source инструмент для анализа данных, дающих возможность выполнять широкий спектр методов по анализу данных, включая чтение данных из различных источников, преобразование и фильтрацию, собственно анализ, визуализацию и экспорт. В данном программном средстве процесс программирования логики осуществляется через создание Workflow-мо-

дели, которая состоит из узлов, выполняющих необходимые функции, а узлы, в свою очередь, соединяются между собой стрелочками, показывающими направление движения данных [10].

Для задачи принятия решения о действиях с причинами дефекта в Knime Analytics Platform необходимо загрузить таблицу данных, поэтому сформируем таблицу в MS Excel, пример которой показан на рис. 3.

Следует подчеркнуть, что практически любая современная СУБД позволяет выгрузить данные по запросу в формате «*.xlsx» или «*.csv», поэтому при использовании данных оттуда потребуется только дополнительный запрос и выгрузка по шаблону.

Номер дефекта	Место обнаружения	Влияние на потребителя	Дополнительные обстоятельства дефекта	Повторяемость
1	разработка	среднее	не выявлены	полная повторяемость
2	испытания	слабое	утро понедельника	повторяемость по нескольким характеристикам
3	производство	среднее	форс-мажорные обстоятельства	повторяемость по одной характеристике
4	приёмочные испытания	слабое	вечер пятницы	единичный случай
5	эксплуатация	значительное	не выявлены	единичный случай
6	производство	среднее	сверхурочная работа	единичный случай
7	приёмочные испытания	значительное	не выявлены	полная повторяемость
8	эксплуатация	слабое	не выявлены	единичный случай
9	испытания	среднее	сверхсрочная работа	единичный случай
10	производство	значительное	неудовлетворительные условия на рабочем месте	повторяемость по нескольким характеристикам
11	производство	среднее	работа выполняется впервые	единичный случай
12	приёмочные испытания	косвенное	не выявлены	единичный случай

Рис. 3. Фрагмент таблицы дефектов в MS Excel
[Fig. 3. Fragment of the table of defects in MS Excel]

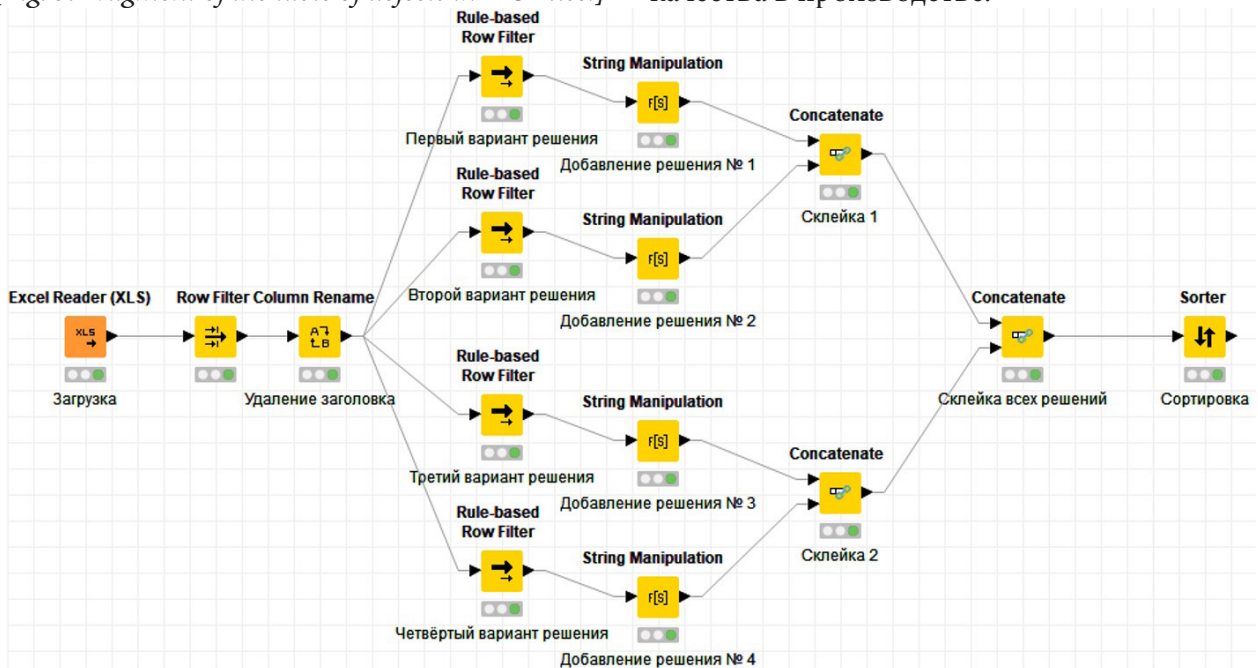


Рис. 4. Модель поиска решения в Knime Analytics Platform
[Fig. 4. Solution search model in Knime Analytics Platform]

После формирования перечня дефектов в пригодном для загрузки в KNIME формате, можно построить модель в Knime Analytics Platform (рис. 4).

Суть подхода составляет отбор каждого решения по правилам логического отбора, отображённым на рис. 5.

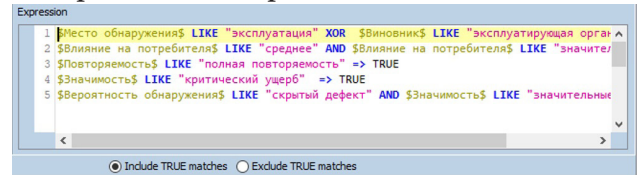


Рис. 5. Представление правил в Knime Analytics Platform

[Fig. 5. Representing Rules in Knime Analytics Platform]

Данный подход позволяет сформировать выборку решений. Однако, такой подход позволил принять однозначное решение только по нескольким позициям, а по ряду позиций предложил даже больше двух вариантов решения, причём без указания приоритетов по каждому из них (см. рис. 6).

Следовательно, использование жестко установленных правил для принятия решений порождает неопределённость с выбором, что не годится для практического использования при решении задач для обеспечения качества в производстве.

Row ID	H...	Место ...	Влияни...	Обстоя...
Row2	1	разработка	среднее	не выявлены
Row11	10	производство	значительное	неудовлет...
Row12	11	производство	среднее	работа вып...
Row13	12	приёмочны...	косвенное	не выявлены
Row14	13	производство	отсутствует	работа вып...
Row15	14	производство	среднее	не выявлены
Row16	15	приёмочны...	косвенное	физически...
Row16_dup	15	приёмочны...	косвенное	физически...
Row17	16	испытания	слабое	испытател...
Row17_dup	16	испытания	слабое	испытател...
Row17_dup_..	16	испытания	слабое	испытател...
Row3	2	испытания	слабое	утро понед...
Row3_dup	2	испытания	слабое	утро понед...
Row4	3	производство	среднее	не выявлены
Row4_dup	3	производство	среднее	не выявлены
Row4_dup_dup	3	производство	среднее	не выявлены
Row5	4	приёмочны...	слабое	вечер пятн...
Row5_dup	4	приёмочны...	слабое	вечер пятн...
Row6	5	эксплуатация	значительное	не выявлены
Row6_dup	5	эксплуатация	значительное	не выявлены

Рис. 6. Фрагмент результатов решения задачи в Knime Analytics Platform без дополнительной обработки данных [Fig. 6. Fragment of the results of solving the problem in the Knime Analytics Platform without additional data processing]

4. ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ЗА СЧЁТ РАНЖИРОВАНИЯ ПРАВИЛ ИЗ РЕГЛАМЕНТА

Для решения затруднений, выявленных при прямом использовании правил из внутренних регламентов предприятия, используем весьма популярный в статистике и машинном обучении метод, называемый методом дерева принятия решений [11]. Решим задачу категоризации в одну из четырёх категорий, соответствующим решениям, описанным в перечисленной в п. 2, на основе входных характеристик. Построим вручную дерево решений, для чего определим примерный порядок принятия решений ЛПР.

Необходимо проанализировать ранги условий для формирования исключений из выборки. Например, эксплуатационные дефекты, возникшие по вине эксплуатирующей организации, а также форс-мажорные обстоятельства однозначно ведут к отказу

от устранения причин дефектов независимо от прочих характеристик. Это исключения первого рода, которые необходимо анализировать в первую очередь. Далее анализируются условия выхода на вариант № 1, который находится вторым по уровню иерархии на дереве, а поскольку оба выхода на вариант № 1 находятся друг за другом, то возможно объединение условий исключения вариантов в один общий блок, в котором будет анализироваться сначала «Влияние на потребителя», потом «Значимость дефекта», затем «Повторяемость» и наконец, «Предполагаемый виновник». Аналогично формируются каскады условий для обоих выходов № 2 и № 3, а потом и нижнего выхода № 4.

На основе выполненных рассуждений можно построить дерево (рис. 7).

Визуализация показывает, что правила взаимозависимы и это необходимо учитывать при конфигурировании модели в Knime Analytics Platform.

Обозначим показатели для анализа дефектов в соответствии с табл. 1, их значения пронумеруем по порядку следования в той же таблице, а варианты решения обозначим в соответствии с обозначениями на рис. 7, тогда результат (Res) в рассмотренных выше условиях можно определить с помощью аналитических выражений.

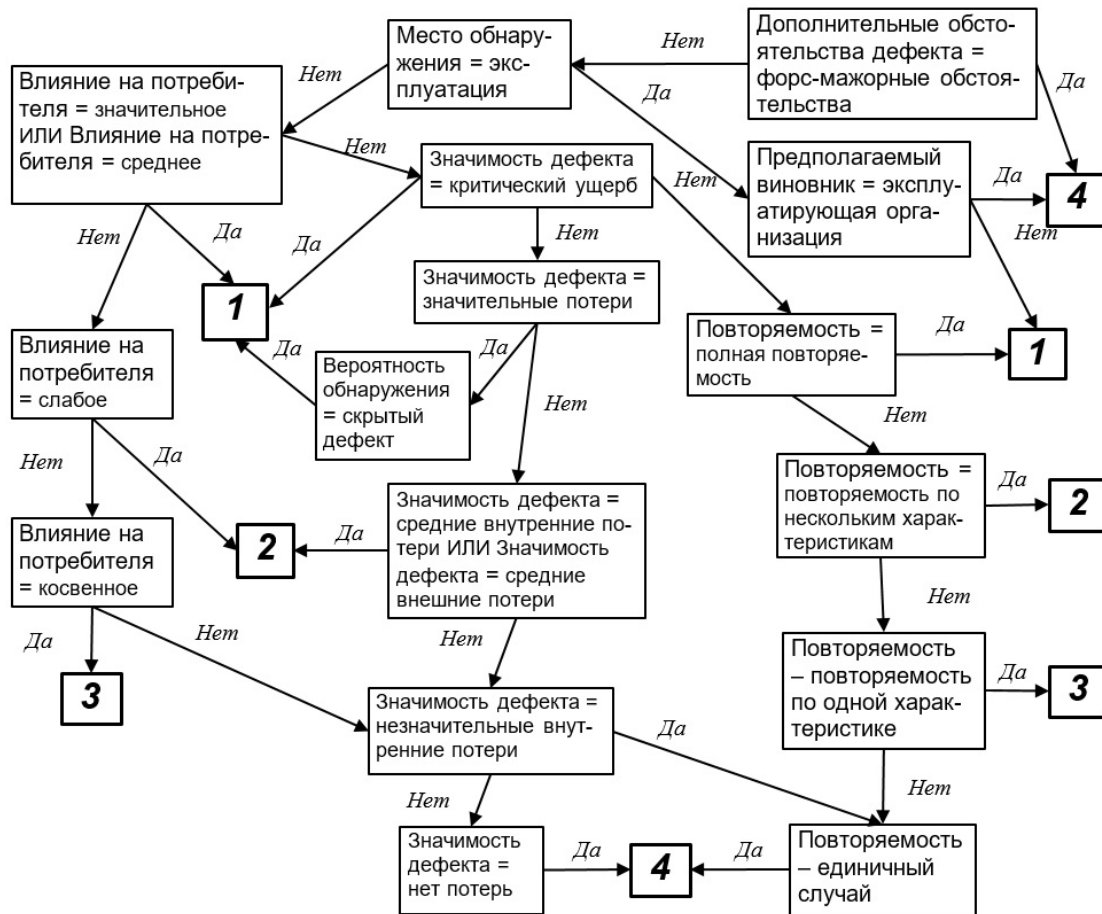
Введём множество всех зарегистрированных дефектов, имеющих какие угодно характеристики:

$$U = D \cup I \cup C \cup R \cup N \cup S \cup P. \quad (1)$$

Очевидно, что каждый вариант решения будет определённым подмножеством множества U .

Поскольку необходимо обеспечивать однозначность, то выявление каждого решения должно исключать условия так, чтобы элементы, уже попавшие в категории решений далее в выборе не участвовали, т. е. исключались. Иными словами, каждая итерация исключений будет уменьшать множество U , формируя новую базу для анализа. Аналитически данный пример можно описать следующим образом:

Введём понятие множества критериев для первого исключения K_1 :



Решения:

1. Причину устранить с любыми издержками (V1)
2. Причину устранить с минимальными инвестициями (V3)
3. Причину отложить устранение причины до выполнения некоторых условий (V3)
4. Причину не устранять (V4)

Рис. 7. Дерево решений для задачи о действиях с дефектной продукцией
 [Fig. 7. Decision tree for the problem of actions with defective products]

$$K_1 = \{\{D = 5 \cap N = 6\} \cup C = 9\},$$

где $K_1 \subseteq U$, тогда $Res = U \cap K_1 \rightarrow V4$, а оставшееся после исключения попавших в множество элементов, т. е. дополнение к множеству U будет определяться по формуле $U_1 = U \setminus K_1$, где $U_1 \subseteq U$.

Введём понятие множества критериев для второго исключения:

$$K_2 = \{I = 4 \cup I = 5 \cup S = 6 \cup R = 1 \cup N^*\},$$

где $N^* = N \setminus \{N = 6\}$ и $K_2 \subseteq U$, тогда $Res = U_1 \cap K_2 \rightarrow V1$, а оставшееся после исключения попавших в множество элементов, т. е. дополнение к множеству U_1 будет определяться по формуле $U_2 = U_1 \setminus K_2$, где $U_2 \subseteq U_1$.

Введём понятие множества критериев для третьего исключения

$$K_3 = \{I = 3 \cup S = 3 \cup S = 4 \cup S = 5 \cup R = 2\},$$

где $K_3 \subseteq U$, тогда $Res = U_2 \cap K_3 \rightarrow V2$, а оставшееся после исключения попавших в множество элементов, т. е. дополнение к множеству U_2 будет определяться по формуле $U_3 = U_2 \setminus K_3$, где $U_3 \subseteq U_2$.

Введём понятие множества критериев для четвёртого исключения

$$K_4 = \{I = 2 \cup R = 3\},$$

где $K_4 \subseteq U$, тогда $Res = U_3 \cap K_4 \rightarrow V3$, а оставшееся после исключения попавших в множество элементов, т. е. дополнение к множеству U_3 будет определяться по формуле $U_4 = U_3 \setminus K_4$, где $U_4 \subseteq U_3$.

Введём понятие множества критериев для пятого исключения

$$K_5 = \{\{S = 2 \cap R = 4\} \cup S = 1\},$$

где $K_5 \subseteq U$, тогда $Res = U_4 \cap K_5 \rightarrow V4$, а

оставшееся после исключения попавших в множество элементов уже не требуется, поскольку всё дерево уже пройдено.

Таким образом, формируется цикл от 1 до 5, в котором методом исключения уже просмотренных условий, которые ранжированы по значимости, определяется вариант решения, соответствующий каждому экземпляру множества дефектов. В данном цикле элементы множества дефектов соотносятся с категориями, которые составляют множество решений.

Если ввести понятие K — множество критериев (правил), V — множество допустимых решений по причинам дефектов, то возможно предложить общую форму аналитического выражения для поиска решений на всех итерациях цикла поиска решений:

$$Res = U \cap K \rightarrow V. \quad (2)$$

Представленные рассуждения можно представить в виде программного кода, например, на языке Python, но есть ещё более простой способ — сформировать и настроить модель в Knime Analytics Platform (см. рис. 8).

Результат решения задачи таким способом совершенно иной и даёт вполне однозначные варианты решений, что можно увидеть на рис. 9.

Следует учитывать, что сформированный пример построен на основе опыта решения достаточно часто повторяющегося задачи, поэтому в большинстве ситуаций сформированная таким образом оценка совпадает с экспертной. В других организациях может потребоваться дополнительная обработка данных для повышения уровня доверия к

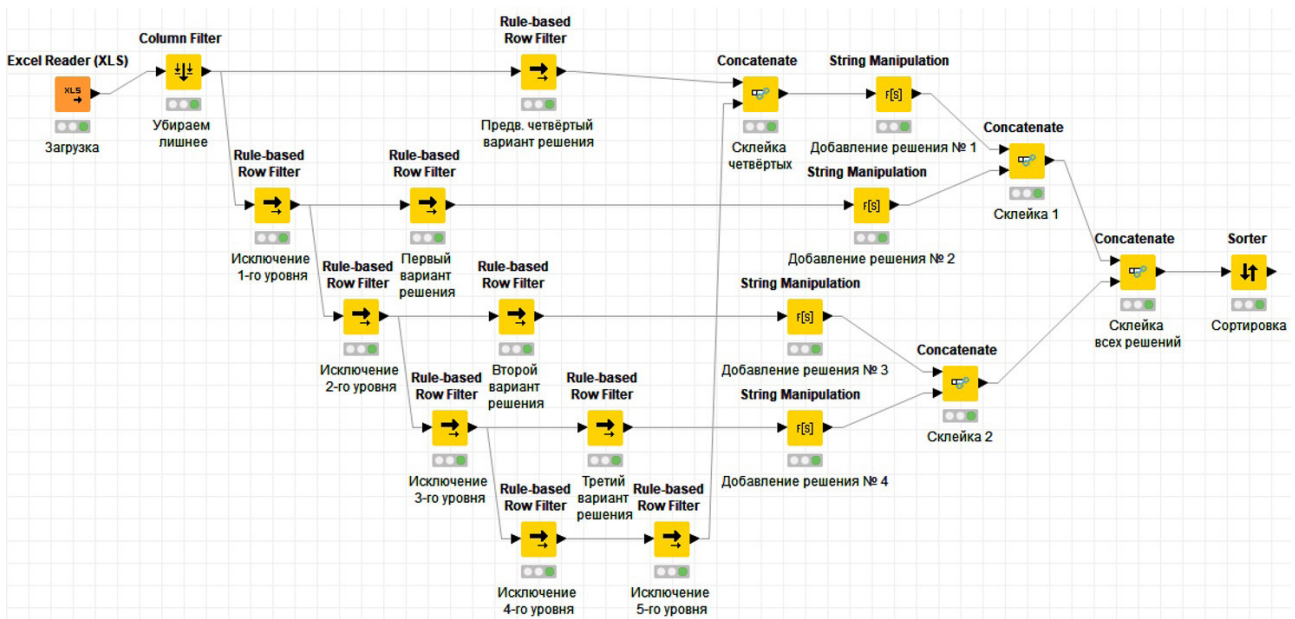


Рис. 8. Модель поиска решения в Knime Analytics Platform на основе дерева решений [Fig. 8. Solution search model in Knime Analytics Platform based on decision tree]

Table "default" - Rows: 16 Spec - Columns: 9 Properties Flow Variables

Row ID	Номер ...	Место ...	Влияни...	Допол...	Повторяемость	Предп...	Значимость д...	Вероятнос...	Решение
Row2	1	разработка	среднее	не выявлены	полная повторяемость	исполнитель	критический ущерб	скрытый дефект	причину устранить с минимальными инвестициями
Row3	2	испытания	слабое	утро понед...	повторяемость по не...	организатор	нет потерь	явный дефект	отложить устранение причины до выполнения некоторых условий
Row4	3	производство	среднее	не выявлены	повторяемость по од...	предшеств...	средние внешние ...	выявляемый д...	причину устранить с минимальными инвестициями
Row5	4	приёмоны...	слабое	вечер пятн...	единичный случай	исполнитель	нет потерь	скрытый дефект	отложить устранение причины до выполнения некоторых условий
Row6	5	эксплуатация	значительное	не выявлены	единичный случай	поставщик ...	средние внешние ...	выявляемый д...	причину устранить с минимальными инвестициями
Row7	6	производство	среднее	сверхсрочн...	единичный случай	организатор	значительные по...	явный дефект	причину устранить с минимальными инвестициями
Row8	7	приёмоны...	значительное	форс-мажор...	полная повторяемость	организатор	средние внешние ...	явный дефект	причину устранить с минимальными инвестициями
Row9	8	эксплуатация	слабое	не выявлены	единичный случай	эксплуатир...	средние внутренн...	выявляемый д...	причину устранить с минимальными инвестициями
Row10	9	испытания	среднее	сверхсрочн...	единичный случай	исполнитель	незначительные ...	явный дефект	причину устранить с минимальными инвестициями
Row11	10	производство	значительное	неудовлет...	повторяемость по не...	предшеств...	незначительные ...	скрытый дефект	причину устранить с минимальными инвестициями
Row12	11	производство	среднее	работа вып...	единичный случай	предшеств...	средние внешние ...	выявляемый д...	причину устранить с минимальными инвестициями
Row13	12	приёмоны...	косвенное	не выявлены	единичный случай	исполнитель	значительные по...	явный дефект	причину не устранять
Row14	13	производство	отсутствует	работа вып...	единичный случай	исполнитель	нет потерь	выявляемый д...	причину устранить с минимальными инвестициями
Row15	14	производство	среднее	не выявлены	единичный случай	исполнитель	нет потерь	явный дефект	причину устранить с минимальными инвестициями
Row16	15	приёмоны...	косвенное	физически...	единичный случай	сервисные ...	нет потерь	явный дефект	причину не устранять
Row17	16	испытания	слабое	испытател...	повторяемость по од...	предшеств...	значительные по...	выявляемый д...	отложить устранение причины до выполнения некоторых условий

Рис. 9. Результат поиска решения в Knime Analytics Platform на основе дерева решений [Fig. 9. Solution search result in Knime Analytics Platform based on decision tree]

рекомендации, генерируемой системой поддержки принятия решений. При наличии в таблице данных готовых решений, выбранных экспертами, открывается возможность формировать алгоритм обучения выборки, например, методом *k*-ближайших соседей или дерева решений [12, 13], т.е. применять методики машинного обучения. Данный подход позволит настроить характеристики, с помощью которых осуществляется отнесение каждого экземпляра множества дефектов к категориям решений. Другим путём повышения доверия может быть использование методов теории нечётких множеств [14].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования была поставлена задача конфигурирования и применения инструментария для генерации вариантов решений для ЛПР для точки принятия решений о дальнейших действиях с причиной дефекта несоответствующей продукции в рамках ситуационно-онтологической методологии разработки систем поддержки принятия решений. При решении задачи была подробно рассмотрена точка принятия решений, определены оцениваемые характеристики, собраны, обобщены и обезличены правила по которым принимается решение заданного типа, а также проведено два эксперимента по применению программного пакета *Knime Analytics Platform* для получения вариантов решения. В первом случае правила использовались без дополнительной обработки и результат был получен неудовлетворительный. Во втором случае для ранжирования правил был использован метод дерева решений и на выходе был получен однозначный удовлетворительный вариант, значительно сходный с вариантами выбранными экспертами.

Таким образом, для процесса управления несоответствующей продукцией бизнес-процесса обеспечения качества опытным путём на примере одной точки принятия решений было показано, что применение ситуационно-онтологической методологии для построения системы поддержки принятия решений возможно довести до реализации с исполь-

зованием существующих инструментальных средств.

Дальнейшие исследования будут посвящены практической реализации модели машинного обучения и модели нечёткого анализа на основе теории нечётких множеств для точки принятия решений в бизнес-процессе обеспечения качества.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Специалист по качеству: Профессиональный стандарт № 40.062. – Утв. приказом Министерства труда и социальной защиты РФ № 276н от 22.04.2021. – 26 с.
2. *Поспелов, Д. А.* Ситуационное управление: теория и практика / Д. А. Поспелов. – М. : Наука, 1986. – 138 с.
3. *Клыков, Ю. И.* Семиотические основы ситуационного управления / Ю. И. Клыков. – М. : МИФИ, 1974. – 169 с.
4. Ситуационно-онтологическая методология принятия решений на примере бизнес-процессов авиаприборостроительного предприятия / В. В. Антонов [и др.] // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2021. – Т. 21, № 1. – С. 102–115. – DOI 10.14529/ctcr210110.
5. Интеллектуальный анализ данных в управлении производственными системами (подходы и методы) / Л. А. Мыльников [и др.] – М. : БИБЛИО-ГЛОБУС, 2017. – 334 с.
6. *Антонов, В. В.* Интеллектуальный метод поддержки принятия решений в типовой ситуации / В. В. Антонов, К. А. Конев // Онтология проектирования. – 2021. – Т. 11, № 1(39). – С. 126–136. – DOI 10.18287/2223-9537-2021-11-1-126-136.
7. *Антонов, В. В.* Трансформация модели системы поддержки принятия решений для типовых ситуаций с применением интеллектуальных и аналитических методов /

В. В. Антонов, К. А. Конев, Г. Г. Куликов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2021. – Т. 21, № 3. – С. 14–25. – DOI 10.14529/ctcr210302.

8. Ершов, А. К. Управление качеством / А. К. Ершов. – М. : Университетская книга, Логос, 2017. – 266 с.

9. Системы менеджмента качества. Требования [Текст]: ГОСТ Р ИСО 9001-2015. – М. : Стандартиформ, 2015. – 23 с.

10. Обзор Knime Analytics Platform – open source системы для анализа данных [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/320500/>. – (Дата обращения: 20.03.2022).

11. Паклин, Н. Б. Бизнес-аналитика: от данных к знаниям / Н. Б. Паклин, В. И. Орешков – СПб. : Питер, 2013. – 704 с.

12. Сегаран, Т. Программируем коллективный разум. – Пер. с англ. / Т. Сегаран. – СПб. : Символ-Плюс, 2008. – 368 с.

13. Стрюков, Р. К. О модификации метода ближайших соседей / Р. К. Стрюков, А. И. Шашкин // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2015. – № 1. – С. 114–120.

14. Дилигенский, Н. В. Нечеткое моделирование и многокритериальная оптимизация производственных систем в условиях неопределенности: технология, экономика, экология / Н. В. Дилигенский, Л. Г. Дымова, П. В. Севастьянов. – М. : Изд-во Машиностроение – 1, 2004. – 397 с.

Конев Константин Анатольевич — канд. техн. наук, доц., доцент кафедры автоматизированных систем управления Уфимского государственного авиационного технического университета.
E-mail: sireo@rambler.ru
ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-8595-7738>

DOI: <https://doi.org/10.17308/sait/1995-5499/2022/4/74-86>
Received 03.03.2022
Accepted 05.12.2022

ISSN 1995-5499

DECISION SUPPORT IN THE FIELD OF QUALITY ASSURANCE USING DIGITAL DATA ANALYSIS

© 2022 K. A. Konev[✉]

*Ufa State Aviation Technical University,
12, Karl Marks Street, 450000 Ufa, Russian Federation*

Annotation. The article describes approaches to the implementation of the situational-ontological methodology for developing decision support systems in the field of quality assurance using tools for digital analysis and data processing. The research was conducted to confirm the possibility of implementing the methodology using popular tools for digital data analysis. The relevance of the research is associated with high requirements for personnel in the field of quality assurance in terms of the breadth of knowledge about internal business processes, regulatory requirements for them, various instrumental and heuristic methods, which requires the adoption of a large number of heterogeneous decisions that require a large amount of diverse knowledge. In such conditions, a decision support system is a good way to make a decision. The scientific innovation of the proposed solution is connected both with the novelty of the most used situational-ontological methodology for developing decision support systems, and with the novelty of using the combination of the well-known decision tree method and the Knime Analytics Platform software pack-

✉ Konev Konstantin A.
e-mail: sireo@rambler.ru

age when forming a decision support system in the field of quality assurance. In the process of the research, it was possible to demonstrate the fundamental feasibility of the situational-ontological methodology for developing decision support systems in the field of quality assurance. Also a model for digital processing of data on a defect was built. The model provides the formation of an unambiguous decision on further actions with the cause of this defect based on the requirements of the current regulations of the organization.

Keywords: data analysis, decision making, situational-ontological methodology for developing decision support systems, decision tree method, quality assurance, nonconforming products in the industry.

CONFLICT OF INTEREST

The author declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

REFERENCES

1. Quality Specialist: Professional Standard No. 40.062 (2021) Approved by order of the Ministry of Labor and Social Protection of the Russian Federation No. 276n dated April 22, 2021. 26 p. (in Russian)
2. Pospelov D. A. (1986) Situational management: theory and practice. Moscow. Nauka. 138 p. (in Russian)
3. Klykov Yu. I. (1974) Semiotic foundations of situational management / Yu. I. Klykov. Moscow. MEPhi. 169 p. (in Russian)
4. Antonov V. V. [et al.] (2021) Situational-ontological decision-making methodology on the example of business processes of an aircraft instrument-making enterprise. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Computer technologies, control, radio electronics*. Vol. 21, No 1. P. 102–115. DOI 10.14529/ctcr210110 (in Russian)
5. Mylnikov L. A. [et al.] (2017) Data mining in the management of production systems (approaches and methods). Moscow. BIBLIO-GLOBUS, 334 p. (in Russian)
6. Antonov V. V. and Konev K. A. (2021) Intelligent decision support method in a typical situation. *Design ontology*. Vol. 11, No 1(39). P. 126–136. DOI 10.18287/2223-9537-2021-11-1-126-136 (in Russian)
7. Antonov V. V. and Konev K. A. (2021) Transformation of the decision support system model for typical situations using intelligent and analytical methods. *Bulletin of SUSU. Series «Computer technologies, control, radio electronics»*. Vol. 21, No 3. P. 14–25. DOI 10.14529/ctcr210302 (in Russian)
8. Ershov A. K. (2017) Quality management. Moscow. Universitetskaya kniga, Logos. 266 p. (in Russian)
9. GOST R ISO 9001-2015 (2015). Quality management systems. Requirements: Moscow. Standartinform, 23 p. (in Russian)
10. Overview of Knime Analytics Platform – an open source system for data analysis. Available at: <https://habr.com/en/post/320500/> (accessed. 03.20.2022) (in Russian)
11. Paklin N. B. and Oreshkov V. I. (2013) Business analytics: from data to knowledge. St. Petersburg. Peter. 704 p. (in Russian)
12. Segaran T. (2008) Programming the collective mind. [Trans. from English]. St. Petersburg. Symbol-Plus. 368 p. (in Russian)
13. Stryukov R. K. and Shashkin A. I. (2015) On the modification of the nearest neighbors method / R. K. Stryukov. *Bulletin of the Voronezh State University. Series: System analysis and information technologies*. No. 1. P. 114–120. (in Russian)
14. Diligensky N. V., Dymova L. G., Sevastyanov P. V. (2004) Fuzzy modeling and multicriteria optimization of production systems under uncertainty: technology, economics, ecology. Moscow. Mashinostroenie. No 1. 397 p. (in Russian)

Konev Konstantin A. — Ph.D. tech. sciences, Associate Professor, Department of Automated Control Systems, Ufa State Aviation Technical University.

E-mail: sireo@rambler.ru

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-8595-7738>