

УДК 004.83+004.89  
doi: 10.15622/rcai.2025.091

## ГИБРИДНЫЙ МЕТОД ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПРЕЦЕДЕНТОВ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ЛАЗЕРНОМ АДДИТИВНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ<sup>1</sup>

В.В. Грибова (*gribova@iacp.dvo.ru*)  
А.И. Никитин (*anikitin@iacp.dvo.ru*)  
В.А. Тимченко (*vadim@iacp.dvo.ru*)

Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН,  
Владивосток

В рамках реализации прецедентного подхода для поддержки принятия решений в лазерном аддитивном производстве (ЛАП) предложен гибридный метод извлечения прецедентов, сочетающий предметные экспертные знания и алгоритм k-ближайших соседей. Ключевая особенность метода заключается в разработке мер оценки сходства разнородных параметров технических заданий на выполнение технологических операций ЛАП, максимально учитывающих особенности предметной области. Предлагаемый метод может быть использован при разработке интеллектуальных ассистентов для технологов в сфере ЛАП по технологии направленного энерговклада.

**Ключевые слова:** поддержка принятия решений, рассуждения по прецедентам, извлечение прецедентов на основе знаний, меры сходства случаев, лазерная обработка материалов.

### Введение

Одной из наиболее сложных и нерешенных технических проблем внедрения лазерных технологий в производственные процессы, как в России, так и за рубежом, является сложность управления качеством синтезируемого металлического материала. В связи с этим, разработка средств для оказания инженерам-технологам интеллектуальной помощи по настройке режимов работы технологического оборудования, реализующего процессы лазерной аддитивной обработки металлических деталей является крайне актуальной задачей [Ethiraj et al., 2025].

---

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках государственного задания ИАПУ ДВО РАН (тема № FWW-2025-0004).

В настоящее время поддержка принятия решений на основе прецедентов (рассуждений по аналогии) активно применяется во многих предметных областях [Varshavskii et al., 2010], [Варшавский и др., 2013], [Lang et al., 2021]. Актуальность применения методов на основе прецедентов обусловлена, в том числе, и тем, что они эффективны при работе с небольшими наборами данных, в то время как использование других методов (на основе, например, знаний и/или машинного обучения) может привести к неточным и даже ошибочным результатам или вовсе не позволяет получить решение ввиду недостатка знаний и/или данных [Малых, 2019], [Полкова и др., 2022].

Методы рассуждения по прецедентам положены в основу ряда разработанных систем в области медицины, используемых для помощи врачам при назначении лечения [Choudhury et al., 2016], [Юдин и др., 2017], в производстве [Trofimov, 2020], в частности, для поддержки принятия решений в выборе подходящих технологических процессов [Mabkhot et al., 2019] и в области лазерной обработки материалов [Майоров и др., 2009] и др.

Наиболее известными методами рассуждения по аналогии (извлечения прецедентов) являются методы  $k$ -ближайших соседей ( $k$ -NN), извлечения прецедентов на основе деревьев решений и извлечения прецедентов на основе знаний [Крылов, 2018].

Метод  $k$ -NN считается наиболее простым и универсальным. Он используется во многих системах поддержки принятия решений на основе прецедентного подхода. К недостаткам данного метода можно отнести сложность выбора метрики для определения степени сходства, неэффективность при работе с неполными данными, а также ощутимая зависимость от размера базы прецедентов (БП) [Крылов, 2018].

Метод извлечения прецедентов на основе деревьев решений обычно используется для больших баз прецедентов, так как основная часть работы по извлечению прецедентов выполняется заранее на этапе построения дерева решений, что значительно сокращает время поиска решения. Данный подход в сочетании с методом  $k$ -NN применяется в системе оценки безопасности программного обеспечения, используемого в сфере железнодорожных перевозок [Hadj-Mabrouk, 2020]. Существенным недостатком подхода на основе деревьев решений является то, что деревья дают полезные результаты только в случае независимых признаков. Имеет место и проблема значимости: дерево дробит данные на большое количество частных случаев. Чем их больше, тем меньше обучающих прецедентов попадает в каждый такой частный случай [Полин и др., 2020].

Метод извлечения прецедентов на основе знаний позволяет учитывать знания предметных экспертов и может успешно применяться совместно с другими методами извлечения прецедентов, особенно когда БП имеют большой объем.

Одной из главных проблем прецедентного подхода является выбор соответствующей метрики (меры подобия) для сравнения прецедентов. В каждом конкретном случае этот выбор производится по-разному в зависимости от целей лица, принимающего решения, а также самих данных. Также анализ существующих решений на основе прецедентов позволил сделать вывод, что зачастую описание прецедентов и получаемое решение выполнены в математических терминах, которые непонятны предметным специалистам. Авторы считают наиболее перспективным применение гибридного подхода, сочетающего различные методы извлечения прецедентов [Khan et al., 2019].

Настоящая работа ориентирована на поиск похожих прецедентов при проектировании инженером-технологом пригодных для конкретного практического применения режимов работы робототехнического оборудования – на этапе планирования технологических операций лазерной аддитивной обработки материалов (лазерного аддитивного производства, ЛАП) и подготовки управляющих оборудованием программ для их реализации.

Предлагается оригинальный комбинированный (гибридный) метод рассуждения по аналогии (поиска релевантных прецедентов). Гибридность метода состоит в том, что степень похожести определяется на основе предметных экспертных знаний о мерах близости элементов (параметров) формализованных производственных технических заданий на выполнение технологических операций в сочетании с используемым для интеллектуального анализа данных классическим методом  $k$ -NN. В методе используется информация из постоянно пополняемой базы структурированных формализованных протоколов технологических операций ЛАП, а также обновляемых нормативно-справочных баз данных (мастер данных), содержащих информацию о ключевых параметрах обрабатываемых (расходных) материалов ЛАП. Экспертные знания и справочные базы данных необходимы для определения т.н. «локальных» мер подобия/близости (*LocalSim*) разнородных элементов технического задания.

## 1. Общие сведения и постановка задачи

В рамках решаемой задачи прецедент представляет собой часть протокола выполненной технологической операции (ТО), куда не входят: общие сведения о ТО (название ТО, номер протокола, а также срок, цель и место выполнения ТО), комментарии (примечания) технолога, условия окружающей среды при выполнении ТО. Описанием ситуации является техническое задание (ТЗ) на выполнение ТО, решением – выбранные технологом средства и параметры выполнения ТО. Результатом применения решения является результат выполнения ТО: его описание, а также оценка – «соответствует требованиям ТЗ», «не соответствует требованиям ТЗ, но оценивается как положительный», «не соответствует требованиям ТЗ и оценивается как отрицательный».

Извлечение прецедентов основано на знаниях специалистов по материаловедению и лазерной роботизированной обработке материалов о мерах близости элементов формализованных производственных ТЗ на выполнение ТО, пополняемых нормативно-справочных баз данных, содержащих информацию о ключевых параметрах обрабатываемых (расходных) материалов ЛАП, а также несколько модифицированной формуле  $L_1$ -расстояния (манхэттенского расстояния).

Экспертные знания включают в себя информацию о пороговых значениях степени сходства элементов (параметров) ТЗ и, наряду с нормативно-справочными базами данных, используются для вычисления меры их подобия –  $LocalSim_i$  ( $i = 1, \dots, n$ ;  $n$  – количество параметров ТЗ). К ключевым параметрам ТЗ относятся: материал объекта обработки (металлической детали или подложки), масса объекта обработки, его геометрические характеристики, материал для выполнения ТО (металлический порошок или металлическая проволока), технологический газ, используемый для создания защитной среды, требования к геометрическим характеристикам, пористости, элементному составу, микроструктуре результата ТО.

К обрабатываемым и расходным материалам ЛАП относятся металлопорошковые и металлопроволочные материалы на основе различных сплавов, собственно металлические сплавы, представленные своим элементарным (химическим) составом, микроструктурой, набором теплофизических и механических свойств, а также технологические газы, используемые в качестве защитного (защитной среды), транспортирующего и обжимного. Также в базах представлена информация о характерных для металлов (металлических покрытий) дефектах. Описания объектов в соответствующих нормативно-справочных базах включают описания их ключевых характеристик и возможных значений (качественных, количественных и интервальных). Кроме того, в этих базах данных имеет место использование синонимии, что позволяет учитывать различные названия одних и тех же характеристик (а также их значений) элементов ТЗ [Грибова и др., 2024]. Отметим, что все базы данных формируются по своим онтологиям, четко задающим их структуру, ограничения на возможное содержание и правила интерпретации. Более детальное рассмотрение данного аспекта также представлено в работе [Грибова и др., 2024].

Формой представления протокола ТО является также описанный в терминах онтологии предметной области оргграф. Соответственно, ТЗ представляется подграфом в оргграфе протокола ТО. Таким образом, описание прецедентов и получаемое решение представлены в онтологических терминах и понятны предметным специалистам.

На вход метода поступает новое техническое задание на выполнение технологической операции. Требуется найти похожие технические задания из базы прецедентов (структурированного архива протоколов техно-

логических операций лазерной обработки), ранжировать их по степени сходства, а также обеспечить пользователю демонстрацию сходных элементов из текущего (нового) технического задания и ранжированного списка.

При этом поиск прецедентов осуществляется не во всей БП, а среди протоколов ТО, относящихся, во-первых, к тому же типу выполняемой ТО, что и новое ТЗ, а во-вторых, в которых обрабатываемые и/или расходные материалы совпадают с таковыми в новом ТЗ.

Поскольку в данном случае мы имеем дело с предметной областью, в которой структура ТЗ в значительной степени неоднородна (состоит из разнотипных перечисленных выше параметров), а количество анализируемых параметров в нем фиксировано и невелико, правила вычисления мер сходства (близости) для отдельных параметров ТЗ –  $LocalSim_i$  – определяются индивидуально, в зависимости от конкретного параметра ТЗ.

Таким образом, сначала выполняется расчет значений  $LocalSim_i$  отдельно для каждой пары соответствующих параметров ТЗ, а затем – расчет интегральной меры сходства ( $GlobalSim$ ) для ТЗ<sub>new</sub> (описание нового ТЗ/нового случая) и ТЗ<sub>case</sub> (описание ТЗ в рассматриваемом прецеденте из БП). Значение  $GlobalSim$  рассчитывается как усредненное значение (среднее арифметическое) для всех  $LocalSim_i$  ( $i = 1, \dots, n$ ). Такой подход позволяет максимально гибко и корректно (с точки зрения семантики предметной области) оценивать похожесть технических заданий с разнородными элементами (параметрами).

## 2. Гибридный метод извлечения прецедентов

### 2.1. Описание метода

ТЗ на выполнение ТО представлено следующим набором параметров: (*Объект обработки\_Материал*, *Объект обработки\_Масса*, *Объект обработки\_Геометрические характеристики*, *Материал для выполнения ТО*, *Технологический газ*, *Требования к результату операции\_Геометрические характеристики*, *Требования к результату операции\_Дефекты наплавленного материала\_Пористость*, *Требования к результату операции\_Элементный состав*). Соответственно, каждый из этих параметров представляется подграфом в иерархическом онтологическом орграфе ТЗ.  $LocalSim_i$  для пары соответствующих (однотипных) параметров ТЗ из набора – параметр ТЗ <sub>$i$</sub>  ( $i = 1, \dots, 8$ ) – определяется как отображение (функция):

$LocalSim_i$ : параметр ТЗ <sub>$i$</sub>   $\times$  параметр ТЗ <sub>$i$</sub>   $\rightarrow \{0, 5, 10\}$ .

Таким образом, область возможных значений для  $LocalSim_i$  представляет собой множество, состоящее из трех чисел, кодирующих следующую шкалу качественных значений: 10, означающее максимальное расстояние между параметрами («полное различие», цвет – «красный»); 0 – минимальное расстояние («полное сходство», цвет – «зеленый»); 5 – усреднен-

ное расстояние («частичное сходство», цвет – «оранжевый»). Данная шкала была согласована и признана (в первом приближении) адекватной специалистами Центра инженерных разработок (ЦИР) ИАПУ ДВО РАН.

#### Вход:

- $TZ_{new}$  – ссылка на начальную вершину орграфа, представляющего собой описание нового ТЗ (новой ситуации).
- Ссылка на вершину орграфа (представляющего структурированную БП), под которой находятся протоколы ТО, среди ТЗ которых нужно искать похожие на  $TZ_{new}$ , т.е., под этой вершиной протоколы хранятся как список ( $TO_{case\ 1}, \dots, TO_{case\ m}$ ), элементы которого нужно последовательно перебрать.

#### Выход:

- Множество  $SC$  (возможно, пустое), включающее не более  $k$  протоколов ТО из ( $TO_{case\ 1}, \dots, TO_{case\ m}$ ), где  $0 \leq k \leq m$ , технические задания которых преодолели заданный порог похожести  $H\%$  на  $TZ_{new}$ .

#### Описание работы.

$SC \neq \emptyset$ .

В цикле по элементам в списке протоколов технологических операций –  $TO_{case\ 1}, \dots, TO_{case\ m}$  из БП выполнять следующие шаги 1–3.

##### Шаг 1.

Из начальной вершины орграфа, представляющего описание протокола  $TO_{case\ j}$  ( $j = 1, \dots, m$ ), перейти к вершине, являющейся начальной вершиной подграфа орграфа протокола, описывающего ТЗ в этом протоколе –  $TZ_{case\ j}$ .

##### Шаг 2.

Обход (одновременно/параллельно) двух орграфов, начиная с вершин  $TZ_{new}$  и  $TZ_{case\ j}$ . В процессе обхода:

Для соответствующих пар параметров ТЗ – параметр  $TZ_{new\ i}$  и параметр  $TZ_{case\ j\ i}$  вычисляется значение их  $LocalSim\ _i$  (параметр  $TZ_{new\ i}$ , параметр  $TZ_{case\ j\ i}$ ) ( $i = 1, \dots, 8$ ).

По отсутствующим значениям параметров:

- если значение параметра присутствует в  $TZ_{case\ j}$ , но отсутствует в  $TZ_{new}$ , то по ним выставляется частичное сходство:  $LocalSim\ _i (null, \text{параметр } TZ_{case\ j\ i}) = 5$ ;
- если значение параметра отсутствует в  $TZ_{case\ j}$ , но присутствует в  $TZ_{new}$ , то по ним выставляется максимальное отличие:  $LocalSim\ _i (\text{параметр } TZ_{new\ i}, null) = 10$ ;
- если значение параметра отсутствует как в  $TZ_{case\ j}$ , так и в  $TZ_{new}$ , то по ним не выставляется никакого значения:  $LocalSim\ _i (null, null)$  не будет учитываться в качестве слагаемого в формуле Шага 3.

Далее, в качестве примера опишем правила вычисления *LocalSim* для такого параметра ТЗ как «Объект обработки\_Масса». Здесь на основе знаний и опыта экспертов предметной области были выделены следующие пять интервалов, в пределах которых массы считаются полностью похожими (между ними расстояние 0):

1 – [0.01 ... 0.1] кг

2 – (0.1 ... 1) кг

3 – [1 ... 10] кг

4 – (10 ... 100] кг

5 – (100 ... 400] кг

Объекты обработки массой свыше 400 кг не рассматривались. Далее сначала каждый из этих интервалов делится пополам, а затем на каждом  $(i+1)$ -ом интервале от его левой границы откладывается отрезок, равный половине  $i$ -го интервала ( $i = 1, \dots, 4$ ), образуя два подинтервала (рис. 1).

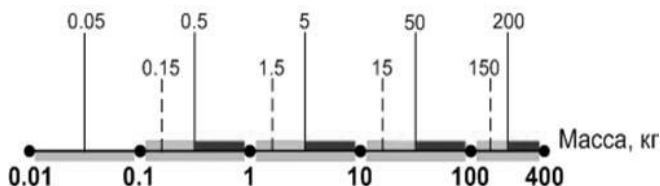


Рис. 1. Пороговые значения (интервалы) для определения меры сходства масс объектов обработки (подложки или детали)

В соответствии с выполненным разбиением имеем следующие случаи:

1. если значение массы  $m_1$  (масса объекта обработки из нового случая) и значение массы  $m_2$  (масса объекта обработки из прецедента) принадлежат одному и тому же интервалу (из пяти исходных), то  $LocalSim(m_1, m_2) = 0$ ;

2. если значение массы  $m_1$  и значение массы  $m_2$  принадлежат несмежным интервалам, то  $LocalSim(m_1, m_2) = 10$ ;

3. если значение массы  $m_1$  и значение массы  $m_2$  принадлежат смежным интервалам, то возможны три ситуации (без ограничения общности считаем, что значение  $m_1$  принадлежит  $i$ -му интервалу, а значение  $m_2$  –  $(i+1)$ -му, который разбит на три подинтервала так, как описано выше):

3.1. если значение  $m_2$  попадает в 1-ый подинтервал  $(i+1)$ -го интервала, то  $LocalSim(m_1, m_2) = 0$ ;

3.2. если значение  $m_2$  попадает во 2-ой подинтервал  $(i+1)$ -го интервала, то  $LocalSim(m_1, m_2) = 5$ ;

3.3. если значение  $m_2$  попадает во 3-ий подинтервал  $(i+1)$ -го интервала, то  $LocalSim(m_1, m_2) = 10$ .

Схожим образом, по своим правилам определяются (вычисляются) значения  $LocalSim_i$  для пар остальных параметров ТЗ<sub>new</sub> и ТЗ<sub>case j</sub>.

### Шаг 3.

По формуле

$$GlobalSim(T3_{new}, T3_{case\ j}) = (1 - \frac{\text{расстояние}}{n*10}) * 100,$$

где  $n*10$  – это максимально возможное расстояние между новым случаем –  $T3_{new}$  и прецедентом –  $T3_{case\ j}$ , вычисляется значение (в процентах)  $GlobalSim$  для  $T3_{new}$  и  $T3_{case\ j}$ .

Если  $GlobalSim(T3_{new}, T3_{case\ j}) \geq H$ , то  $SC' = SC \cup \{TO_{case\ j}\}$ .

#### Конец цикла.

Если множество  $SC' \neq \emptyset$ , то его элементы сортируются по убыванию значения процента схожести и в качестве результата возвращается множество  $SC$ , элементами которого являются первые  $k$  элементов множества  $SC'$ , где  $1 \leq k \leq |SC'|$ , ( $SC \subseteq SC'$ ), в противном случае возвращается  $\emptyset$ .

## 2.2. Апробация и направления дальнейшего улучшения метода

Предложенный метод проходит апробацию в рамках реализации системы поддержки принятия решений (СППР) для инженеров-технологов в сфере лазерной аддитивной обработки металлических материалов по технологии направленного энерговклада.

СППР реализована как композитный сервис на облачной платформе IASaaS [Gribova et. al., 2023]. Система выводит первые пять протоколов ТО, сходство технических заданий которых с новым ТЗ превышает заданный порог (см. рис. 2). Протоколы сортируются по убыванию сходства, а процент схожести отображается рядом с названием. Параметры ТЗ выделены соответствующим цветом (красным, оранжевым или зеленым в зависимости от степени схожести), под ними указаны их значения. Для каждого протокола ТО наряду с описанием ТЗ на выполнение ТО также отображаются выбранные в этом случае технологом средства и параметры выполнения ТО, а также описание результата выполнения ТО (не показано на рисунке).

В настоящее время ведется апробация СППР специалистами Центра инженерных разработок (ЦИР) ИАПУ ДВО РАН. Стоит отметить, что в текущей версии реализации СППР все коэффициенты важности (веса) параметров ТЗ считаются равными 1. В настоящее время ведется реализация возможности гибкой экспертной настройки значений весов для всех параметров ТЗ. Также, по результатам первой апробации, метод может быть улучшен в следующих аспектах. Прежде всего, необходимо доопределить правила вычисления  $LocalSim$  для такого параметра ТЗ как «Микроструктура материала».



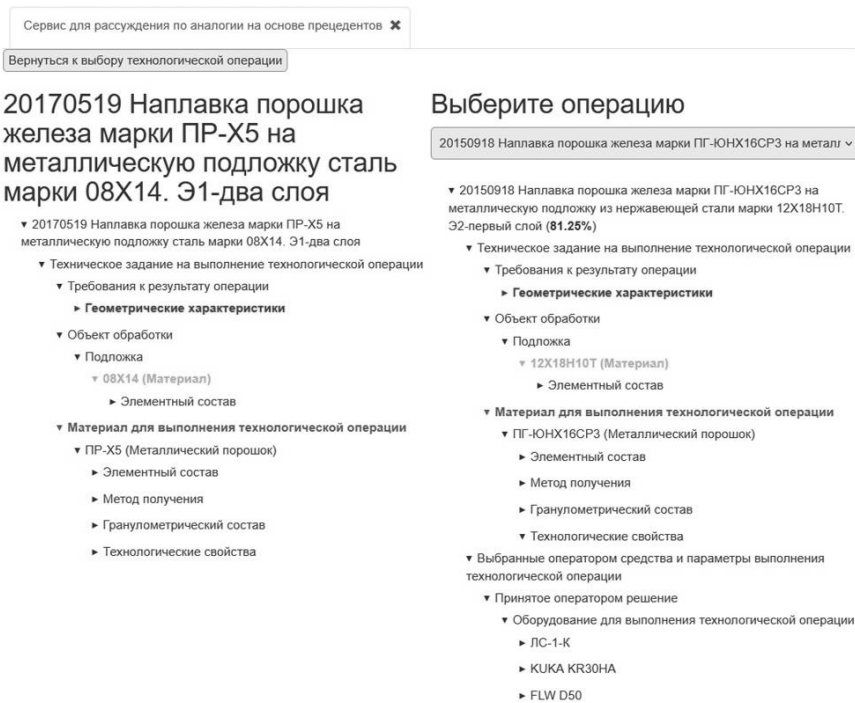


Рис. 2. Визуализация протоколов технологических операций (правая колонка), технические задания которых преодолели заданный порог схожести с новым техническим заданием (левая колонка)

Также следует расширить правила вычисления меры подобия металлических порошков на случай использования нескольких (более одного) порошков при выполнении ТО. Поскольку рассматривается «аддитивный процесс», необходимо будет расширить метод возможностями обработки электронных геометрических моделей деталей, а также стратегии построения и обработки деталей в соответствии с их электронными моделями. Кроме того, при сравнении ситуаций, вероятно, имеет смысл анализировать и учитывать результат выполнения ТО.

## Заключение

Принципиальная особенность предложенного метода заключается в обеспечении максимальной гибкости и корректности разработанных мер оценки сходства разнородных элементов ТЗ на выполнение ТО лазерной аддитивной обработки металлических материалов. Используемые при этом базы нормативно-справочной информации формируются по своим

онтологиям. Это позволяет описать метод на основе онтологических структур и сделать его, таким образом, инвариантным по отношению к конкретному наполнению (содержимому) всех баз данных. Последний аспект является принципиальным: базы данных и справочники постоянно пополняются новыми описаниями (данная работа проводится различными предметными специалистами) и появление новой информации в них не должно приводить к модификации разработанного метода.

Предлагаемое решение особенно эффективно в условиях дефицита знаний, стандартизованных решений и рекомендаций (что, в целом, характерно для сферы лазерного аддитивного производства), а также когда другие подходы, в частности, основанные только на знаниях или методах машинного обучения, не могут предложить корректное решение.

### Список литературы

- [Варшавский и др., 2013] Варшавский П., Алехин Р. Метод поиска решений в интеллектуальных системах поддержки принятия решений на основе прецедентов // *Information Models and Analyses*. – 2013. – Vol. 2(4). – Р. 385-392.
- [Грибова и др., 2024] Грибова В.В., Кульчин Ю.Н., Никитин А.И., Тимченко В.А. Ансамбль онтологических моделей для обеспечения интеллектуальной поддержки лазерных аддитивных технологических процессов // *Онтология проектирования*. – 2024. – Т. 14, № 2. – С. 279-300. – doi: 10.18287/2223-9537-2024-14-2-279-300.
- [Крылов, 2018] Крылов А.В. Проблема извлечения знаний с использованием рассуждений на основе прецедентов // *Известия высших учебных заведений. Приборостроение*. – 2018. – Т. 61, № 11. – С. 956-962. – doi: 10.17586/0021-3454-2018-61-11-956-962.
- [Майоров и др., 2009] Майоров В.С., Майоров С.В., Стернин М.Ю. Компьютерные системы поддержки принятия решений для лазерных технологических процессов обработки материалов // *Лазерные технологии обработки материалов: современные проблемы фундаментальных исследований и прикладных разработок* / под ред. Панченко В.М. – М.: Физматлит, 2009. – С. 494-506.
- [Малых, 2019] Малых В.Л. Системы поддержки принятия решений в медицине // *Программные системы: теория и приложения*. – 2019. – Т. 10, № 2. – С. 155-184. – doi: 10.25209/2079-3316-2019-10-2-155-184.
- [Полин и др., 2020] Полин Я.А., Зудилова Т.В., Ананченко И.В., Войтюк Т.Е. Деревья решений в задачах классификации: особенности применения и методы повышения качества классификации // *Современные наукоемкие технологии*. – 2020. – № 9. – С. 59-63. – doi: 10.17513/snt.38215.
- [Полкова и др., 2022] Полкова Е.В., Кузяков О.Н. Прецедентный подход в процессах принятия решений // *Инновации. Интеллект. Культура* (Тобольск, 22 апреля 2022 г.). Труды конференции – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2022. – С. 170-173.
- [Юдин и др., 2017] Юдин В.Н., Карпов Л.Е. Неполностью описанные объекты в системах поддержки принятия решений // *Программирование*. – 2017. – № 5. – С. 24-31.

- [Choudhury et al., 2016] Choudhury N., Begum S.A. A survey on case-based reasoning in medicine // International Journal of Advanced Computer Science and Applications. – 2016. – Vol. 7(8). – P. 136-144. – doi: 10.14569/IJACSA.2016.070820.
- [Ethiraj et al., 2025] Ethiraj N., Sivabalan T., Sofia J., Harika D., Nikolova M.P. A comprehensive review on application of machine intelligence in additive manufacturing // Turkish Journal of Engineering. – 2025. – Vol. 9(1). – P. 37-46. – doi: 10.31127/tuje.1502587.
- [Gribova et al., 2023] Gribova V.V., Moskalenko P.M., Timchenko V.A., Shalfeeva E.A. The IACPaaS Platform for Developing Systems Based on Ontologies: A Decade of Use // Scientific and Technical Information Processing. – 2023. – Vol. 50(5). – P. 406-413. – doi: 10.3103/S0147688223050064.
- [Hadj-Mabrouk, 2020] Hadj-Mabrouk H. Application of case-based reasoning to the safety assessment of critical software used in rail transport // Safety Science. – 2020. – Vol. 131. – 104928. – doi: 10.1016/j.ssci.2020.104928.
- [Khan et al., 2019] Khan M.J., Hayat H., Awan I. Hybrid case-base maintenance approach for modeling large scale case-based reasoning systems // Hum. Cent. Comput. Inf. Sci. – 2019. – Vol. 9. 9. – doi: 10.1186/s13673-019-0171-z.
- [Lang et al., 2021] Lang S., Plenk V., Schmid U. A Case-Based Reasoning Approach for a Decision Support System in Manufacturing / In: Fujita H., Selamat A., Lin J.C.W., Ali M. (eds) Advances and Trends in Artificial Intelligence. From Theory to Practice (IEA/AIE 2021). Vol. 12799. – Springer, Cham, 2021. – P. 265-271. doi:10.1007/978-3-030-79463-7\_22.
- [Mabkhot et al., 2019] Mabkhot M.M., Al-Samhan A.M., Hidri L. An Ontology-Enabled Case-Based Reasoning Decision Support System for Manufacturing Process Selection // Advances in Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 2019(1). – 2505183. – doi: 10.1155/2019/2505183.
- [Trofimov, 2020] Trofimov V. An Approach to Intelligent Control of Complex Industrial Processes: An Example of Ferrous Metal Industry // Autom Remote Control. – 2020. – Vol. 81(10). – P. 1856-1864. – doi: 10.1134/S0005117920100057.
- [Varshavskii et al., 2010] Varshavskii P.R., Ereemeev A.P. Modeling of case-based reasoning in intelligent decision support systems // Scientific and Technical Information Processing. – 2010. – Vol. 37(5). – P. 336-345. – doi: 10.3103/S0147688210050096.