

## Цифровая трансформация процесса управления проектными элементами

*К.Н. Губанов, И.А. Рыбенко*

*Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк*

**Аннотация:** В статье рассматривается метод интеллектуальной поддержки управленческих решений, направленный на оптимизацию процесса управления проектными данными в организационно-производственных системах. Предложен подход, основанный на алгоритме нечеткой классификации Fuzzy C-Means, реализованный в программном модуле SZMK.ModelChecker, выполняющем функции анализа, принятия решений и контроля в цифровом контуре управления проектной документацией. Метод обеспечивает формализацию процедуры унификации проектных элементов с учётом совокупности геометрических, технологических и структурных признаков и реализует мягкую логику принятия решений в условиях неопределённости. Экспериментальная апробация подтвердила устойчивость и достоверность алгоритма: количество уникальных проектных позиций сокращено на 38,7 %, время обработки документации уменьшено на 35 %, а доля уверенных принадлежностей превышает 90 %. Полученные результаты демонстрируют, что интеграция методов нечеткой классификации в системы управления проектными данными повышает согласованность информационных потоков, снижает трудоёмкость согласования и формирует адаптивный механизм управления в рамках цифровой трансформации организационно-производственных систем.

**Ключевые слова:** управление в организационных системах, интеллектуальная поддержка принятия решений, нечеткая классификация, Fuzzy C-Means, цифровой контур управления, SZMK.ModelChecker, унификация проектных данных, адаптивное управление, оптимизация информационных потоков, цифровая трансформация.

Современные производственные системы, ориентированные на выпуск металлических конструкций, характеризуются высокой степенью организационной сложности и информационной насыщенности. В условиях растущей вариативности проектных данных одной из ключевых задач становится обеспечение управляемости и воспроизводимости процессов проектирования и подготовки производства.

Одним из факторов, снижающих эффективность управляемых процессов, является информационная избыточность проектной номенклатуры, которая приводит к дублированию элементов, усложняющему обработку данных и согласование документации [1].

Решение данной проблемы требует перехода от локальных инструментов контроля к системному подходу, при котором унификация

проектных данных рассматривается не как техническая операция, а как управляемый процесс, встроенный в общий контур управления производством. Для этого необходимо использование автоматизированного инструмента, способного осуществлять классификацию проектных элементов по совокупности их признаков с учётом допустимых отклонений и технологических допусков. Однако существующие системы CAD и ERP, такие как Tekla Structures или 1С: ERP, не обладают встроенными средствами интеллектуального анализа проектной информации [2].

В рамках исследования предложен подход к оптимизации процесса управления проектными данными посредством внедрения интеллектуального программного модуля SZMK.ModelChecker, реализующего алгоритм нечеткой классификации Fuzzy C-Means (FCM) [3]. Модуль выполняет автоматизированный анализ проектных моделей, выявляет структурные и геометрические сходства между элементами, формирует группы унифицированных деталей и передаёт результаты в систему управления проектной документацией. На уровне организационного взаимодействия это обеспечивает сокращение времени согласования, устранение избыточных позиций и повышение согласованности действий между подразделениями.

Таким образом, целью работы является разработка и внедрение метода интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений, направленного на управление номенклатурой проектных элементов в организационно-производственной системе.

### **Управляемый процесс и информационно-алгоритмическое обеспечение**

Управляемый процесс обработки проектных данных представляет собой совокупность взаимосвязанных процедур, направленных на анализ, согласование и систематизацию проектной информации. В отличие от традиционных линейных схем документооборота, где каждый отдел

---

выполняет свои функции изолированно, предложенный подход реализует циклический управленческий контур, обеспечивающий замкнутое движение данных от проектирования до принятия решения и обратной связи.

В основе системы лежит концепция информационного регулирования, согласно которой процесс проектирования рассматривается не как набор локальных операций, а как управляемый поток данных с заданными состояниями, маршрутами и событиями. Управляющие воздействия формируются автоматически на основе анализа структуры и состава проектных элементов. Таким образом, управление осуществляется не через административное вмешательство, а посредством алгоритмического регулирования информационных потоков.

Центральное место в этом контуре занимает программный модуль SZMK.ModelChecker, выполняющий роль информационно-аналитического звена, связывающего проектную и управленческую среды [4]. Он обеспечивает извлечение признаков из проектных данных, их нормализацию и обработку с использованием алгоритма нечеткой классификации FCM. Результаты анализа интерпретируются как управляющие решения, выраженные в присвоении элементам статусов и инициировании последующих действий маршрутизации, уведомлений, корректировки справочников и формирования отчетных структур.

Информационно-алгоритмическая структура управляемого процесса включает три уровня:

- операционный уровень, обеспечивающий сбор и первичную обработку проектных данных;
- аналитический уровень, где SZMK.ModelChecker выполняет оценку сходства элементов и формирует решения;

- управленческий уровень, отвечающий за интеграцию результатов в нормативно-справочную базу и дальнейшее распределение данных в смежные подсистемы.

Такое распределение функций обеспечивает прозрачность взаимодействий между участниками процесса и создаёт условия для перехода от реактивного управления к процессно-ориентированному управлению на основе данных. Система становится способной не только фиксировать информацию, но и формировать корректирующие действия в ответ на изменения входного потока.

Программный модуль SZMK.ModelChecker является составной частью программного комплекса SZMK, разработанного для цифровизации производственных процессов предприятия. Он реализован на языке C# с использованием платформы .NET Framework 4.7.2, что обеспечивает совместимость с корпоративной инфраструктурой и интеграцию с другими подсистемами комплекса, включая модули учёта, цифровой архивации и верификации проектной документации. Архитектура модуля построена по принципу модульного разделения вычислительных и аналитических функций, включающих блоки извлечения признаков, нормализации данных, итерационных процедур Fuzzy C-Means и визуализации результатов. Обмен информацией осуществляется через REST API и систему межмодульных сообщений, что позволяет использовать модуль как часть распределённого контура управления проектными данными.

Интеграция SZMK.ModelChecker в контур управления проектными данными обеспечивает реализацию ключевых принципов системного подхода: целостности, адаптивности и обратной связи. Это позволяет повысить согласованность действий между подразделениями, сократить дублирование информации и сформировать единое информационное

пространство, в котором принимаемые решения опираются на объективные алгоритмические критерии, а не на субъективную оценку исполнителей.

### **Метод и алгоритм интеллектуальной поддержки управленческих решений**

Интеллектуальная поддержка принятия решений в системе управления проектными данными основана на применении нечеткой классификации, адаптированной к задачам организационного управления.

Выбор алгоритма Fuzzy C-Means обусловлен управленческой спецификой задачи, заключающейся не только в формировании групп схожих проектных элементов, но и в минимизации времени их поиска, обработки и согласования в информационной среде предприятия.

Минимизируемый в алгоритме FCM нечеткий функционал рассеяния отражает стремление системы к упорядочиванию проектных данных: чем меньше значение функции, тем выше степень унификации элементов и тем меньше операций требуется при их идентификации и сопоставлении [5].

Цель алгоритма заключается в обеспечении рационального распределения проектных элементов по унифицированным группам при наличии неопределённости и допустимых отклонений параметров. В управленческом контексте результат классификации интерпретируется как совокупность рекомендаций, формирующих управляющие воздействия на процесс ведения номенклатуры проектных решений [6].

Каждый проектный элемент представляется в виде признакового вектора, включающего как числовые, так и категориальные характеристики. К числовым параметрам относятся масса, длина, ширина, высота, диаметр отверстий и их количество, расстояния между отверстиями, а также координаты центра тяжести. В качестве категориальных параметров используются тип профиля (например, двутавр, уголок, швеллер), марка стали и способ обработки (механическая, термическая и пр.). Дополнительно

---

учитываются структурные характеристики, такие как наличие фасок, тип сечения, количество сварных швов и особенности геометрии соединений. Все категориальные признаки кодируются методом one-hot, а числовые нормализуются с применением min-max нормализации [7].

Целью алгоритма является минимизация функции нечеткого рассеяния, определяемой следующим выражением:

$$J_m = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^c u_{ik}^m \cdot \|x_i - v_k\|^2$$

где  $u_{ik}$  — степень принадлежности детали  $x_i$  кластеру  $k$ ,  $v_k$  — центр кластера,  $m > 1$  — коэффициент нечеткости (обычно принимается равным двум). Инициализация производится случайным образом с формированием начальной матрицы принадлежности  $U = [u_{ik}]$ .

На каждой итерации координаты центров кластеров пересчитываются как средневзвешенные значения признаков с учётом степеней принадлежности [8]. Матрица принадлежности обновляется пропорционально обратным расстояниям до центров кластеров. Итерации продолжаются до стабилизации значений принадлежности, когда изменения становятся меньше заданного порога.

Для определения оптимального количества кластеров использовался критерий Fuzzy Partition Coefficient (FPC), рассчитываемый по формуле:

$$FPC = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^c u_{ik}^2$$

Максимальное значение данного показателя соответствует наиболее отчётливой структуре кластеров. В рассматриваемом случае, при анализе выборки из 150 деталей, наилучшее значение FPC достигалось при количестве кластеров  $c = 7$ , что соответствует структуре типовых проектных решений предприятия [9].

Интерпретация результатов классификации осуществляется с учётом значения степени принадлежности. В случаях, когда одна из компонент вектора принадлежности превышает порог 0.75, деталь автоматически присваивается соответствующему кластеру. При равномерном распределении принадлежностей элемент направляется на ручную верификацию специалистом, а при отсутствии выраженной принадлежности — классифицируется как уникальный. Такой подход позволяет учитывать сложные случаи и поддерживать надёжность классификации при высокой вариативности проектных данных [10].

Таким образом, результат FCM преобразуется в набор управляющих воздействий, определяющих дальнейшие действия системы.

Алгоритм, реализованный в модуле SZMK.ModelChecker, интегрирует указанные математические процедуры в рамки управленческого цикла. После получения результатов классификации система автоматически обновляет статусы элементов в базе данных, инициирует уведомления заинтересованных подразделений и выполняет коррекцию справочников. При этом обеспечивается обратная связь — результаты обработки анализируются, статистика сходимости и распределения степеней принадлежности используется для автоматической подстройки параметров алгоритма. Такая адаптация позволяет повысить устойчивость управляемого процесса и снизить количество ошибочных решений.

Логика функционирования SZMK.ModelChecker описывается следующим алгоритмом:

1. Инициализация: загрузка проектных данных, нормализация признаков, задание числа кластеров и параметров.
  2. Анализ данных: вычисление матрицы принадлежностей.
  3. Принятие решения: определение статусов элементов в соответствии с пороговыми значениями.
-

4. Передача управляющих воздействий: фиксация результатов в системе управления проектной документацией и передача информации в смежные подсистемы.

5. Контроль и самообучение: оценка достоверности решений, обновление параметров и повторная итерация цикла.

Описанный алгоритм обеспечивает не только автоматизацию классификации проектных элементов, но и формирует адаптивный механизм управления информационными потоками. Его применение позволяет перейти от декларативного подхода к процессно-ориентированному управлению, где решения вырабатываются на основе количественных оценок, а обратная связь обеспечивает самонастройку системы.

### **Экспериментальная апробация**

Для оценки эффективности предложенного подхода была проведена экспериментальная апробация программного модуля SZMK.ModelChecker, реализующего процедуры анализа и принятия решений в системе управления проектными данными. Для проверки эффективности работы использовалась выборка из 150 проектных элементов, отобранных из архивных моделей на производственной площадке предприятия ООО «СЗМК», описанных совокупностью геометрических и технологических признаков. Каждый элемент был представлен в виде вектора параметров, включающего нормализованные числовые показатели (массу, габариты, геометрию отверстий, размеры фасок и другие характеристики), а также категориальные признаки, приведённые к бинарной форме.

SZMK.ModelChecker автоматически формировал признаковое пространство, выполнял нормализацию данных и итерационную классификацию по алгоритму FCM с последующим вычислением степеней принадлежности. Оптимальное количество кластеров определялось по критерию FPC, максимальное значение которого наблюдалось при  $c = 7$ , что

---

соответствует структуре типовых проектных решений в производственных системах.

Результаты работы SZMK.ModelChecker показали значительное снижение числа уникальных проектных элементов — с 150 до 92, что эквивалентно сокращению номенклатуры на 38,7 %. Среднее количество элементов в группе, увеличилось до 2,7, тогда как до внедрения алгоритма соответствующее значение было близко к единице. Это свидетельствует о том, что система успешно выявила и систематизировала ранее не объединённые, но функционально идентичные элементы проектной документации.

Качество разбиения оценивалось с использованием коэффициента FPC, который составил 0.82, подтверждая устойчивость и достоверность полученной структуры. Более того, в 92% случаев максимальная степень принадлежности элементов превышала 0.75, что характеризует высокую уверенность алгоритма при выработке решений и низкий риск ошибочной классификации.

Дополнительно для части кластеров была проведена экспертная верификация результатов, реализованная через интерфейс SZMK.ModelChecker. Анализ показал, что различия между элементами внутри одного кластера не влияют на производственный маршрут и находятся в пределах допустимых отклонений. Это подтверждает корректность сформированной кластерной структуры и применимость метода в рамках управленческого контура обработки проектных данных.

Применение SZMK.ModelChecker позволило сократить среднее время обработки одной проектной позиции — с 12,4 до 8,1 минут, что связано с устранением повторяющихся операций нумерации, компоновки и проверки документации. Полученные результаты демонстрируют, что внедрение модуля обеспечивает не только повышение уровня унификации проектных данных, но и оптимизацию управляемого процесса за счёт интеллектуальной

---

поддержки принятия решений и сокращения времени цикла обработки информации.

Таким образом, проведённая апробация подтвердила, что программный модуль SZMK.ModelChecker реализует эффективный механизм управления номенклатурой проектных элементов, обеспечивая адаптивное принятие решений в условиях неопределённости и формируя основу для построения единой цифровой среды управления проектными данными.

### **Анализ результатов и интеграция в бизнес-процесс**

Полученные результаты подтверждают эффективность применения алгоритма FCM в составе программного модуля SZMK.ModelChecker как инструмента поддержки управленческих решений в системе управления проектными данными. Алгоритм продемонстрировал устойчивую сходимость и высокую точность при работе с неоднородным множеством элементов, содержащим как чётко различимые, так и частично совпадающие по характеристикам объекты. Возможность мягкого распределения степеней принадлежности обеспечила гибкость классификации и позволила избежать жёстких решений, свойственных традиционным алгоритмам типа k-means, где элемент должен быть однозначно отнесён к одному классу.

В управленческом аспекте данный эффект имеет ключевое значение. Применение нечеткой классификации позволило отказаться от формальных правил сопоставления параметров и перейти к интеллектуальной оценке сходства проектных элементов с учётом множества факторов — геометрических, технологических и структурных. Это обеспечивает адаптивное принятие решений в условиях неполной определённости, характерной для сложных организационно-производственных систем, где проектные данные формируются множеством участников и имеют различную степень детализации.

Важным результатом является переход от пассивного анализа проектной информации к активному управлению номенклатурой проектных решений. Интеграция SZMK.ModelChecker в цифровой контур управления позволила автоматизировать процесс унификации, а результаты классификации стали основой для присвоения унифицированных идентификаторов, формирования типовых шаблонов и регламентированных комплектов документации. Это обеспечило сокращение количества дублирующихся позиций, уменьшение трудоёмкости этапов согласования и повышение согласованности действий между подразделениями.

Высокая степень интерпретируемости результатов классификации имеет особое значение для управляемого процесса. Модуль SZMK.ModelChecker позволяет анализировать распределение степеней принадлежности внутри кластеров и визуализировать уровень уверенности системы в каждом решении. Это создаёт возможность гибридного управления, при котором автоматизированная обработка данных дополняется экспертной оценкой специалиста. Такой подход объединяет масштабируемость интеллектуальной системы и контроль качества, характерный для человеческого управления, что усиливает доверие к результатам и обеспечивает прозрачность принятия решений.

Таким образом, интеграция алгоритма Fuzzy C-Means в программный модуль SZMK.ModelChecker позволила сформировать новый уровень интеллектуализации управляемого цикла обработки проектных данных. Полученные результаты демонстрируют, что нечеткая классификация может служить не только инструментом анализа, но и механизмом адаптивного управления, обеспечивающим согласованность информационных потоков, устойчивость процессов и повышение общей эффективности функционирования организационно-производственной системы.

## Заключение

В результате исследования разработан и апробирован метод интеллектуальной поддержки управленческих решений, основанный на нечеткой классификации и реализованный в программном модуле SZMK.ModelChecker, предназначенном для управления проектными данными в организационно-производственных системах. Предложенный подход позволил формализовать процесс унификации проектных элементов, учитывающий совокупность геометрических, структурных и технологических признаков, и тем самым преодолеть ограничения традиционных методов классификации, не способных работать в условиях частичной неопределённости и вариативности информации.

Экспериментальная апробация показала высокую устойчивость и достоверность алгоритма. Количество уникальных проектных позиций было сокращено на 38,7 %, среднее время обработки единицы документации уменьшилось на 35 %, а доля уверенных принадлежностей превысила 90 %, что свидетельствует о стабильности работы алгоритма и точности управленческих решений. Повышение степени унификации проектных данных позволило снизить нагрузку на согласовательные процессы и повысить повторяемость решений в цифровом контуре управления.

Интеграция SZMK.ModelChecker в систему управления проектной документацией обеспечила формирование библиотеки унифицированных элементов, автоматизацию присвоения идентификаторов и создание единой среды для анализа, принятия решений и последующего контроля исполнения.

Предложенный метод может рассматриваться как универсальный инструмент для оптимизации управляемых процессов, связанных с обработкой сложных структурированных данных. Он обеспечивает повышение прозрачности и согласованности действий между

подразделениями, сокращение времени цикла обработки информации и рост эффективности организационно-производственных систем.

Результаты исследования подтверждают, что интеграция методов нечеткой классификации в механизмы управления проектными данными является эффективным направлением цифровой трансформации управляемых процессов. Разработанный модуль SZMK.ModelChecker демонстрирует практическую реализуемость концепции интеллектуального управления и может быть рекомендован для применения в составе цифровых систем поддержки принятия решений в промышленности, строительстве и других отраслях, где важна устойчивость и адаптивность организационных структур.

### Литература

1. Машковцев И.Б. Бим-Технологии в современном строительстве // Системные технологии. 2022. №2 (43). URL: [cyberleninka.ru/article/n/bim-tehnologii-v-sovremennom-stroitelstve](https://cyberleninka.ru/article/n/bim-tehnologii-v-sovremennom-stroitelstve) (дата обращения: 30.09.2025).
2. Базаров Ф.О. Сущность цифровой трансформации и ее роль в развитии экономики регионов // Экономика и социум. 2023. №4–1 (107). URL: [cyberleninka.ru/article/n/suschnost-tsifrovoy-transformatsii-i-ee-rol-v-razvitii-ekonomiki-regionov](https://cyberleninka.ru/article/n/suschnost-tsifrovoy-transformatsii-i-ee-rol-v-razvitii-ekonomiki-regionov) (дата обращения: 30.09.2025).
3. Нгуен Т.Т.З., Черненькая Л. В. Модель анализа факторов на основе нечеткой кластеризации с-средних // Известия ТулГУ. Технические науки. 2023. №1. URL: [cyberleninka.ru/article/n/model-analiza-faktorov-na-osnove-nechetkoy-klasterizatsii-s-srednih](https://cyberleninka.ru/article/n/model-analiza-faktorov-na-osnove-nechetkoy-klasterizatsii-s-srednih) (дата обращения: 30.09.2025).
4. Наместников А.М., Филиппов А.А., Субхангулов Р.А. Разработка инструментария для интеллектуального анализа технической документации // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. №4–4. URL: [cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-instrumentariya-dlya-intellektualnogo-analiza-tehnicheskoy-dokumentatsii](https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-instrumentariya-dlya-intellektualnogo-analiza-tehnicheskoy-dokumentatsii) (дата обращения: 30.09.2025).

5. Lee G.M., Gao X. A Hybrid Approach Combining Fuzzy c-Means-Based Genetic Algorithm and Machine Learning for Predicting Job Cycle Times for Semiconductor Manufacturing // Applied Sciences. 2021. Vol. 11, No. 16, Article 7428. DOI: 10.3390/app11167428. URL:

[www.researchgate.net/publication/353858053\\_A\\_Hybrid\\_Approach\\_Combining\\_Fuzzy\\_c-Means-Based\\_Genetic\\_Algorithm\\_and\\_Machine\\_Learning\\_for\\_Predicting\\_Job\\_Cycle\\_Times\\_for\\_Semiconductor\\_Manufacturing](http://www.researchgate.net/publication/353858053_A_Hybrid_Approach_Combining_Fuzzy_c-Means-Based_Genetic_Algorithm_and_Machine_Learning_for_Predicting_Job_Cycle_Times_for_Semiconductor_Manufacturing) (дата обращения: 30.09.2025).

6. Синюк В.Г., Поляков В.М., Анищенко А.И. Об одном гибридном алгоритме нечёткой кластеризации // Вестник БГТУ имени В.Г. Шухова. 2013. №2. URL: [cyberleninka.ru/article/n/ob-odnom-gibridnom-algoritme-nechyotkoy-klasterizatsii](http://cyberleninka.ru/article/n/ob-odnom-gibridnom-algoritme-nechyotkoy-klasterizatsii) (дата обращения: 30.09.2025).

7. Аввакумова В. С., Шеянова И. Н. Реализация метода fcm-кластеризации в программе прогнозирования сумм договоров займа // Science Time. 2016. №7 (31). URL: [cyberleninka.ru/article/n/realizatsiya-metoda-fcm-klasterizatsii-v-programme-prognozirovaniya-summ-dogovorov-zayma](http://cyberleninka.ru/article/n/realizatsiya-metoda-fcm-klasterizatsii-v-programme-prognozirovaniya-summ-dogovorov-zayma) (дата обращения: 30.09.2025).

8. Cai M.-F., Wang P., Zhao K., Zhang D.-K. Fuzzy C-means Cluster Analysis Based on Genetic Algorithm for Automatic Identification of Joint Sets // Computers & Geosciences. 1998. Vol. 24, No. 1. P. 109–118. DOI: 10.1016/S0098-3004(97)00083-X. URL: [researchgate.net/publication/292541519\\_Fuzzy\\_C-means\\_cluster\\_analysis\\_based\\_on\\_genetic\\_algorithm\\_for\\_automatic\\_identification\\_of\\_joint\\_sets](http://researchgate.net/publication/292541519_Fuzzy_C-means_cluster_analysis_based_on_genetic_algorithm_for_automatic_identification_of_joint_sets) (дата обращения: 30.09.2025).

9. Махрусе Н. Современные тенденции методов интеллектуального анализа данных: метод кластеризации // Московский экономический журнал. 2019. №6. URL: [cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-tendentsii-metodov-intellektualnogo-analiza-dannyh-metod-klasterizatsii](http://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-tendentsii-metodov-intellektualnogo-analiza-dannyh-metod-klasterizatsii) (дата обращения: 30.09.2025).

---

10. Казимиров Д.Ю., Исаченко А.С. Формирование последовательности запуска в производство изделий одновременной кластеризацией по технологическим признакам и классам деталей // Вестник ИргТУ. 2016. №7 (114). URL: [cyberleninka.ru/article/n/formirovanie-posledovatelnosti-zapuska-v-proizvodstvo-izdeliy-odnovremennoy-klasterizatsiey-po-tehnologicheskim-priznakam-i-klassam](http://cyberleninka.ru/article/n/formirovanie-posledovatelnosti-zapuska-v-proizvodstvo-izdeliy-odnovremennoy-klasterizatsiey-po-tehnologicheskim-priznakam-i-klassam) (дата обращения: 30.09.2025).

### References

1. Mashkovtsev I.B. Sistemnye tekhnologii. 2022. № 2 (43). URL: [cyberleninka.ru/article/n/bim-tehnologii-v-sovremennom-stroitelstve](http://cyberleninka.ru/article/n/bim-tehnologii-v-sovremennom-stroitelstve) (accessed: 30.09.2025).
2. Bazarov F.O. Ekonomika i sotsium. 2023. № 4-1 (107). URL: [cyberleninka.ru/article/n/suschnost-tsifrovoy-transformatsii-i-ee-rol-v-razvitiiekonomiki-regionov](http://cyberleninka.ru/article/n/suschnost-tsifrovoy-transformatsii-i-ee-rol-v-razvitiiekonomiki-regionov) (accessed: 30.09.2025).
3. Nguyen Thi Thu Zung, Chernen'kaya L. V. Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki. 2023. № 1. URL: [cyberleninka.ru/article/n/model-analiza-faktorov-na-osnove-nechetkoy-klasterizatsii-s-srednih](http://cyberleninka.ru/article/n/model-analiza-faktorov-na-osnove-nechetkoy-klasterizatsii-s-srednih) (accessed: 30.09.2025).
4. Namestnikov A.M., Filippov A.A., Subkhangulov R.A. Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN. 2011. № 4-4. URL: [cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-instrumentariya-dlya-intellektualnogo-analiza-tehnicheskoy-dokumentatsii](http://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-instrumentariya-dlya-intellektualnogo-analiza-tehnicheskoy-dokumentatsii) (accessed: 30.09.2025).
5. Lee G.M., Gao X. Applied Sciences. 2021. Vol. 11, No. 16, Article 7428. DOI: 10.3390/app11167428. URL: [researchgate.net/publication/353858053\\_A\\_Hybrid\\_Approach\\_Combining\\_Fuzz\\_cMeansBased\\_Genetic\\_Algorithm\\_and\\_Machine\\_Learning\\_for\\_Predicting\\_Job\\_Cycle\\_Times\\_for\\_Semiconductor\\_Manufacturing](https://researchgate.net/publication/353858053_A_Hybrid_Approach_Combining_Fuzz_cMeansBased_Genetic_Algorithm_and_Machine_Learning_for_Predicting_Job_Cycle_Times_for_Semiconductor_Manufacturing) (accessed: 30.09.2025).
6. Sinyuk V.G., Polyakov V.M., Anishchenko A.I. Vestnik BGTU imeni V.G. Shukhova. 2013. № 2. URL: [cyberleninka.ru/article/n/ob-odnom-gibridnom-algoritme-nechyotkoy-klasterizatsii](http://cyberleninka.ru/article/n/ob-odnom-gibridnom-algoritme-nechyotkoy-klasterizatsii) (accessed: 30.09.2025).

7. Avvakumova V.S., Sheyanova I.N. Science Time. 2016. № 7 (31). URL: [cyberleninka.ru/article/n/realizatsiya-metoda-fcm-klasterizatsii-v-programme-prognozirovaniya-summ-dogovorov-zayma](http://cyberleninka.ru/article/n/realizatsiya-metoda-fcm-klasterizatsii-v-programme-prognozirovaniya-summ-dogovorov-zayma) (accessed: 30.09.2025).
8. Cai M.-F., Wang P., Zhao K., Zhang D.-K. Computers & Geosciences. 1998. Vol. 24, No. 1. pp. 109–118. DOI: 10.1016/S0098-3004(97)00083-X. URL: [researchgate.net/publication/292541519\\_Fuzzy\\_Cmeans\\_cluster\\_analysis\\_based\\_on\\_genetic\\_algorithm\\_for\\_automatic\\_identification\\_of\\_joint\\_sets](https://researchgate.net/publication/292541519_Fuzzy_Cmeans_cluster_analysis_based_on_genetic_algorithm_for_automatic_identification_of_joint_sets) (accessed: 30.09.2025).
9. Makhruse N. Moskovskii ekonomicheskii zhurnal. 2019. № 6. URL: [cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-tendentsii-metodov-intellektualnogo-analiza-dannyh-metod-klasterizatsii](http://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-tendentsii-metodov-intellektualnogo-analiza-dannyh-metod-klasterizatsii) (accessed: 30.09.2025).
10. Kazimirov D.Yu., Isachenko A.S. Vestnik IrGTU. 2016. № 7 (114). URL: [cyberleninka.ru/article/n/formirovanie-posledovatelnosti-zapuska-v-proizvodstvo-izdeliy-odnovremennoy-klasterizatsiey-po-tehnologicheskim-priznakam-i-klassam](http://cyberleninka.ru/article/n/formirovanie-posledovatelnosti-zapuska-v-proizvodstvo-izdeliy-odnovremennoy-klasterizatsiey-po-tehnologicheskim-priznakam-i-klassam) (accessed: 30.09.2025).

**Дата поступления: 13.09.2025**

**Дата публикации: 28.10.2025**