

УДК 681.51

## Позиционирование подвижного состава на основе алгоритмов нечеткой логики для определения аномалий движения

**Фоменко Юлия Сергеевна**<sup>1</sup> — магистр, аспирант кафедры «Информационные и вычислительные системы». Научные интересы: информационные системы, нечеткие интеллектуальные системы, системы искусственного интеллекта. E-mail: yu.srgvn@gmail.com

**Хомоненко Анатолий Дмитриевич**<sup>1, 2</sup> — д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Информационные и вычислительные системы»; профессор кафедры «Математическое и программное обеспечение». Научные интересы: информационные системы, обработка больших данных, вероятностное моделирование геоинформационных систем, генетические алгоритмы, информационная безопасность. E-mail: khomon@mail.ru

<sup>1</sup>Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Россия, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

<sup>2</sup>Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского, Россия, 197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13

**Для цитирования:** Фоменко Ю. С., Хомоненко А. Д. Позиционирование подвижного состава на основе алгоритмов нечеткой логики для определения аномалий движения // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2025. № 3 (43). С. 77–86. DOI: 10.20295/2413-2527-2025-343-77-86

**Аннотация.** Актуальность задач своевременного определения аномалий движения транспортных объектов в режиме реального времени возрастает, поскольку железнодорожный транспорт остается ключевым элементом мировой логистики и пассажирских перевозок. В условиях роста интенсивности движения, увеличения скоростей и ужесточения требований к безопасности обнаружение аномалий движения подвижного состава становится критически важной задачей. **Цель:** обоснование выбора алгоритма позиционирования подвижного состава на основе нечеткой логики (Такаги — Сугено или Мамдани) при возникновении аномалии движения и определение уровня риска возникновения аномалии. **Результаты:** проведены компьютерные сценарные эксперименты с рассматриваемыми входными данными, характеризующими основные параметры движения (скорость, вибрация, ускорение, погодные условия, состояние рельсового пути) для обеспечения безопасности применительно к участкам железнодорожных путей. **Обсуждение:** проведенные эксперименты показали, что алгоритм Такаги — Сугено эффективно определяет уровень риска аномалий движения.

**Ключевые слова:** позиционирование, координаты объекта, транспортные объекты, аномалии движения, нечеткая логика, безопасность движения, алгоритм Такаги — Сугено, алгоритм Мамдани

1.2.2 — математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки); 2.9.8 — интеллектуальные транспортные системы (технические науки)

## Введение

В условиях интенсивного развития железнодорожного транспорта и роста требований к безопасности и эффективности перевозок задача *точного позиционирования* подвижного состава (ПС) приобретает особую значимость. Современные железнодорожные системы сталкиваются с комплексом взаимосвязанных проблем. К ним можно отнести:

1. Технологические ограничения: погрешности спутников, низкая частота обновления данных и др.
2. Эксплуатационные факторы: дефекты пути следования, негативные погодные условия и др.
3. Экономические аспекты: высокая стоимость оборудования, высокая стоимость обслуживания оборудования, убытки от ложных ошибок и др.

Разработка и внедрение инновационного решения — системы нечёткого вывода для определения позиционирования подвижного состава в условиях возникновения аномалий — может существенно повысить безопасность движения за счет:

- компактного вычислительного модуля;
- возможности интеграции с существующими системами управления;
- снижения аварийности за счет прогнозирования обстановки на пути следования;
- уменьшения эксплуатационных расходов и др.

## Классификация аномалий движения

Классифицировать аномалии движения подвижного состава на железной дороге можно по следующим признакам:

- природа возникновения;
- характер проявления;
- степень опасности;
- методы обнаружения.

Рассмотрим классификацию и примеры основных видов аномалий [1–3].

*По природе возникновения:*

1. Технические аномалии:
  - буксование и юз колесных пар (проскальзывание при разгоне/торможении);
  - отказ систем управления (система автоматического управления торможением поездов, САУТ);

- неисправности датчиков (тахогенераторов, инерциальных систем, GPS/ГЛОНАСС);
- разрыв автосцепки (нерасчетное разделение состава).

2. Инфраструктурные аномалии:

- дефекты пути (просадки, изломы рельсов, волнообразный износ);
- отказы стрелочных переводов (неперевод стрелки, ложная индикация);
- обрушение контактной сети (для электрифицированных линий).

3. Эксплуатационные аномалии:

- превышение скорости (в том числе из-за ошибок машиниста или систем);
- неправильное следование маршруту (проезд запрещающего сигнала, движение по занятому пути);
- сход с рельсов (из-за дефектов пути, перегруза).

4. Внешние воздействия:

- стихийные бедствия (оползни, наводнения, снежные заносы);
- столкновения с посторонними объектами (автотранспорт, деревья, животные);
- вандализм и террористические акты (разрушение инфраструктуры, минирование).

*По характеру проявления:*

1. Внезапные (импульсные) аномалии:

- резкая остановка из-за экстренного торможения;
- разрыв состава;
- столкновение с препятствием.

2. Постепенно развивающиеся аномалии:

- нарастающая вибрация из-за дефектов колесных пар;
- постепенное ухудшение сцепления (гололед на рельсах);
- дрейф показаний датчиков позиционирования.

3. Периодические (циклические) аномалии:

- вибрации от неровностей пути (волнообразный износ);
- ложные срабатывания систем безопасности из-за помех.

*По степени опасности:*

1. Критические:

- сход с рельсов;

- столкновение;
  - разрыв автосцепки и др.
2. Значительные:
- буксование;
  - перегруз;
  - проезд на запрещающий сигнал и др.

3. Умеренные:

- временная потеря GPS;
- ложные сигналы датчиков и др.

4. Незначительные:

- легкая вибрация;
- кратковременные помехи связи и др.

*По методам обнаружения:*

1. Автоматические системы:

- система автоматического управления торможением (САУТ) — реагирует на превышение скорости;
- автоматическая локомотивная сигнализация (АЛСН) — контролирует сигналы и скорость;
- дефектоскопия пути (ультразвуковая, рентгеновская).

2. Визуальный и инструментальный контроль:

- осмотр машинистом и путевыми обходчиками;
- видеоанализ с камер наблюдения.

3. Прогнозные методы (AI, машинное обучение):

- анализ данных телеметрии для предсказания отказов;
- выявление аномалий в режиме реального времени.

Классификация аномалий движения ПС позволяет систематизировать риски и выбирать оптимальные методы их предотвращения. Наиболее опасные — критические аномалии (сходы, столкновения), требующие многоуровневой защиты (автоматика + дублирующие системы).

### **Сравнение средств обнаружения аномалий движения подвижного состава с алгоритмами Такаги — Сугено и Мамдани**

Современные системы мониторинга железнодорожного транспорта делятся на две основных категории определения аномалий движения: аппаратные и программные [4–6]. Эти категории, в свою очередь, имеют следующие классификации:

1. Аппаратные системы (датчики и телеметрия):

- тахогенераторы и инерциальные датчики — контроль скорости, ускорения, вибрации;

- радиочастотные метки (RFID, Eurobalise) — точное позиционирование [7, 8];

- видеоаналитика (камеры, ИК-сенсоры) — обнаружение препятствий, дефектов пути.

2. Программные методы:

- автоматизированные системы управления (САУТ, ETCS (European Train Control System, европейская система управления поездами)) — контроль скорости, торможения;

- статистические методы (контрольные карты, ARIMA (авторегрессионное интегрированное скользящее среднее)) — выявление отклонений от нормы;

- машинное обучение (SVM (метод опорных векторов)) — классификация аномалий;

- глубокое обучение (нейронные сети (LSTM, CNN)) — прогнозирование сложных аномалий;

- гибридные системы (AI + экспертные правила) — комбинация аналитики и логики.

Для выделения алгоритмов нечеткого вывода проведем сравнительную характеристику их с указанными средствами определения аномалий (табл. 1).

В ходе сравнения основными ключевыми преимуществами алгоритмов нечеткого вывода выделены:

- объяснимость решений — правила «если..., то...» понятны инженерам;

- работа с неполными данными — не требует больших обучающих выборок;

- быстрая адаптация — правила можно корректировать без переобучения модели.

Из недостатков алгоритмов можно выделить:

- сложные аномалии (например, комбинация дефектов пути + сбой датчиков);

- динамически меняющиеся условия (нужна постоянная корректировка правил).

Алгоритм Мамдани базируется на нечеткой логике, позволяет интерпретировать правила вывода подобно человеческому мышлению. Однако настройки правил сложнее, чем в модели Такаги — Сугено, а производительность зависит от количества используемых лингвистических переменных и функций принадлежности.

Таблица 1

Сравнительная характеристика средств определения аномалий

Критерии	Алгоритмы нечеткого вывода	Аппаратные системы	ML/DL	Гибридные системы
Интерпретируемость	База правил	Зависимость от датчиков	«Черный ящик»	Зависит от множества факторов
Работа в реальном времени	Низкие задержки	Зависимость от связи	Ресурсоемкость	Зависит от совокупности факторов
Гибкость правил	Легкая настройка	Жесткая логика	Низкая	Высокая
Требования к данным	Низкие (не требует обучения)	Зависимость от датчиков	Высокие	Высокие
Устойчивость к шумам	Зависит от настроек	Высокая чувствительность к помехам	Устойчивы при обработанном большом количестве информации	Высокая

Несмотря на то, что алгоритм Мамдани также относится к методам, основанным на правилах, сложность реализации и необходимость подбора оптимальных функций принадлежности делают настройку менее гибкой и удобной, особенно при динамических изменениях условий мониторинга.

**Математические модели обнаружения аномалий подвижного состава на основе алгоритмов Такаги — Сугено и Мамдани**

**Формальная постановка задачи**

Входными переменными для определения аномалий движения являются:

- $v$  — скорость;
- $\dot{\omega}$  — вибрация;
- $\alpha$  — ускорение;
- $\Omega$  — погодные условия;
- $\gamma$  — состояние рельсового пути.

Выходной переменной является уровень риска  $R$ .

**Фаззификация входных переменных**

Для каждой входной переменной определяем функции принадлежности согласно алгоритму Мамдани [9]:

1. Скорость:

$$\mu_{v,low}(v) = \begin{cases} 1, v \leq 60, \\ (80 - v) / 20, 60 < v < 80, \\ 0, v \geq 80. \end{cases}$$

$$\mu_{v,normal}(v) = \begin{cases} v / 60, v < 60, \\ 1, 60 \leq v \leq 80, \\ (v - 80) / 80, 80 < v < 160, \\ 0, v \geq 160. \end{cases}$$

$$\mu_{v,high}(v) = \begin{cases} 0, v \leq 140 \\ (v - 140) / 20, 140 < v < 160, \\ 1, v \geq 160. \end{cases}$$

2. Вибрация:

$$\mu_{\dot{\omega},low}(\dot{\omega}) = \begin{cases} 1, \dot{\omega} \leq 0,3, \\ (0,5 - \dot{\omega}) / 0,2, 0,3 < \dot{\omega} < 0,5, \\ 0, \dot{\omega} \geq 0,5. \end{cases}$$

$$\mu_{\dot{\omega},normal}(\dot{\omega}) = \begin{cases} 0, \dot{\omega} \leq 0,3, \\ (\dot{\omega} - 0,3) / 0,3, 0,3 < \dot{\omega} < 0,5, \\ (0,7 - \dot{\omega}) / 0,2, 0,5 \leq \dot{\omega} < 0,7, \\ 0, \dot{\omega} \geq 0,7. \end{cases}$$

$$\mu_{\dot{\omega},high}(\dot{\omega}) = \begin{cases} 0, \dot{\omega} \leq 0,6, \\ (\dot{\omega} - 0,6) / 0,1, 0,6 < \dot{\omega} < 0,7, \\ 1, \dot{\omega} \geq 0,7. \end{cases}$$

3. Погодные условия:

$$\mu_{\Omega,dry}(\Omega) = \begin{cases} 1, \Omega \leq 0,3, \\ (0,5 - \Omega) / 0,2, 0,3 < \Omega < 0,5, \\ 0, \Omega \geq 0,5. \end{cases}$$

$$\mu_{\Omega,rain}(\Omega) = \begin{cases} 0, \Omega \leq 0,4, \\ (\Omega - 0,4) / 0,2, 0,4 < \Omega < 0,6, \\ (0,8 - \Omega) / 0,2, 0,6 \leq \Omega < 0,8, \\ 0, \Omega \geq 0,8. \end{cases}$$

$$\mu_{\Omega,snow}(\Omega) = \begin{cases} 0, \Omega \leq 0,7, \\ (\Omega - 0,7) / 0,8, 0,7 < \Omega < 0,9, \\ 1, \Omega \geq 0,9. \end{cases}$$

4. Состояние рельсового пути:

$$\mu_{\gamma, \text{good}}(\gamma) = \begin{cases} 1, \gamma \leq 0,3, \\ (0,5 - \gamma) / 0,2, 0,3 < \gamma < 0,5, \\ 0, \gamma \geq 0,5. \end{cases}$$

$$\mu_{\gamma, \text{fair}}(\gamma) = \begin{cases} 0, \gamma \leq 0,4, \\ (\gamma - 0,4) / 0,2, 0,4 < \gamma < 0,6, \\ (0,8 - \gamma) / 0,2, 0,6 \leq \gamma < 0,8, \\ 0, \gamma \geq 0,8. \end{cases}$$

$$\mu_{\gamma, \text{poor}}(\gamma) = \begin{cases} 0, \gamma \leq 0,7, \\ (\gamma - 0,7) / 0,2, 0,7 < \gamma < 0,9, \\ 1, \gamma \geq 0,9. \end{cases}$$

5. Ускорение:

$$\mu_{\alpha, \text{отрицательное}}(\alpha) = \begin{cases} 1, \alpha < -1,5, \\ 0,5 - \alpha, -1,5 < \alpha < -0,5, \\ 0, \text{иначе.} \end{cases}$$

$$\mu_{\alpha, \text{нулевое}}(\alpha) = \begin{cases} (\alpha + 1) / 0,5, -1 < \alpha < -0,5, \\ 1, -0,5 < \alpha \leq 0,5, \\ (1 - \alpha) / 0,5, 0,5 < \alpha < 1, \\ 0, \text{иначе.} \end{cases}$$

$$\mu_{\alpha, \text{положительное}}(\alpha) = \begin{cases} \alpha - 0,5, 0,5 < \alpha \leq 1,5, \\ 1, \alpha \geq 1,5, \\ 0, \text{иначе.} \end{cases}$$

Для каждой входной переменной определяем функции принадлежности согласно алгоритму Такаги — Сугено следующего вида:

- *скорость*: низкая, средняя, высокая;
- *ускорение*: отрицательное, нулевое, положительное;
- *вибрация*: слабая, умеренная, сильная;
- *погодные условия*: идеальные, неблагоприятные, экстремальные;
- *состояние рельсового пути*: удовлетворительное, хорошее, отличное.

**Создание базы правил**

Правила, используемые в системе, согласно алгоритму Мамдани, имеют следующий вид:

$R_i$ : ЕСЛИ ( $v$  есть  $A_i$ ) И ( $\dot{\omega}$  есть  $B_i$ ) И ( $\alpha$  есть  $C_i$ ) И ( $\Omega$  есть  $D_i$ ) И ( $\gamma$  есть  $E_i$ ), ТО

$$r_i = f_i(v, \dot{\omega}, \alpha, \Omega, \gamma).$$

Примеры правил:

1. ЕСЛИ  $v$  низкая И  $\dot{\omega}$  низкая, ТО  $r_1 = 0,1$ .
2. ЕСЛИ  $v$  высокая И  $\dot{\omega}$  средняя, ТО  $r_2 = 0,7$ .
3. ЕСЛИ  $v$  высокая И  $\alpha$  отрицательное, ТО  $r_3 = 0,9$ .

Правила, используемые в системе, согласно алгоритму Такаги — Сугено, имеют следующий вид:

ЕСЛИ  $v$  высокая И  $\alpha$  положительное И  $\Omega$  отличное, ТО

$$R = k_1 \cdot v + k_2 \cdot \alpha + k_3 \cdot \Omega.$$

**Агрегирование правил и дефаззификация**

Согласно алгоритму Мамдани уровень риска (выход системы) вычисляется как

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N w_i \cdot r_i}{\sum_{i=1}^N w_i}.$$

Согласно алгоритму Такаги — Сугено уровень риска определяется соотношением вида:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N w_i \cdot f_i(v, a, w, c, t)}{\sum_{i=1}^N w_i}.$$

Описанная модель на основе нечеткого вывода позволяет качественно и быстро оценить риск возникновения аномалий движения, спрогнозировать опасные ситуации на пути следования транспортного средства, адаптироваться к быстроизменяющимся условиям окружающей среды и может выступать отдельным модулем в большой интеграционной системе автоматического управления транспортным средством.

**Пример обнаружения аномалий движения поезда с использованием алгоритма Такаги — Сугено на Python**

На рис. 1 и 2 представлена 3D-визуализация зависимости аномалии от скорости и ускорения поезда и от скорости и вибрации, построенная по результатам работы алгоритма Такаги — Сугено для определения аномалий движения поезда, основанная на таких входных переменных, как *скорость*, *ускорение*, *вибрация* и *отклонение от маршрута*.

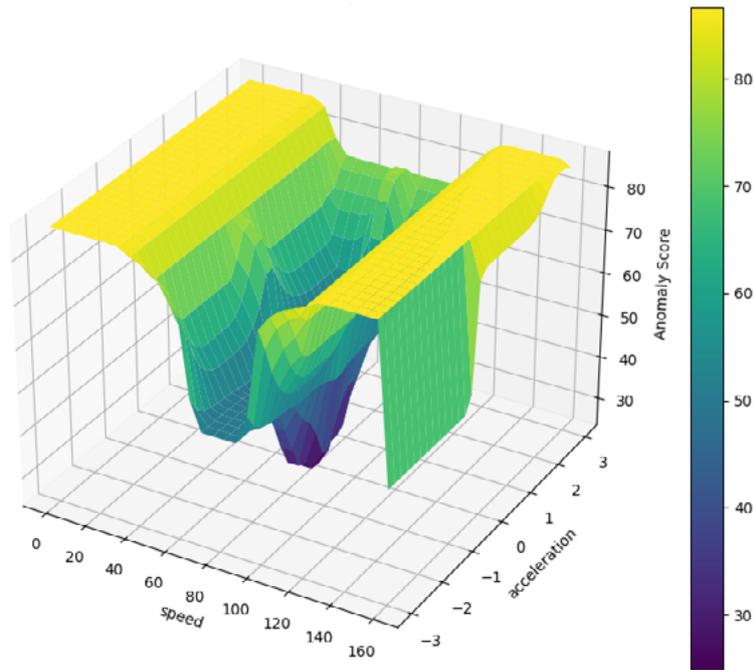


Рис. 1. Зависимость возникновения аномалии от скорости и ускорения

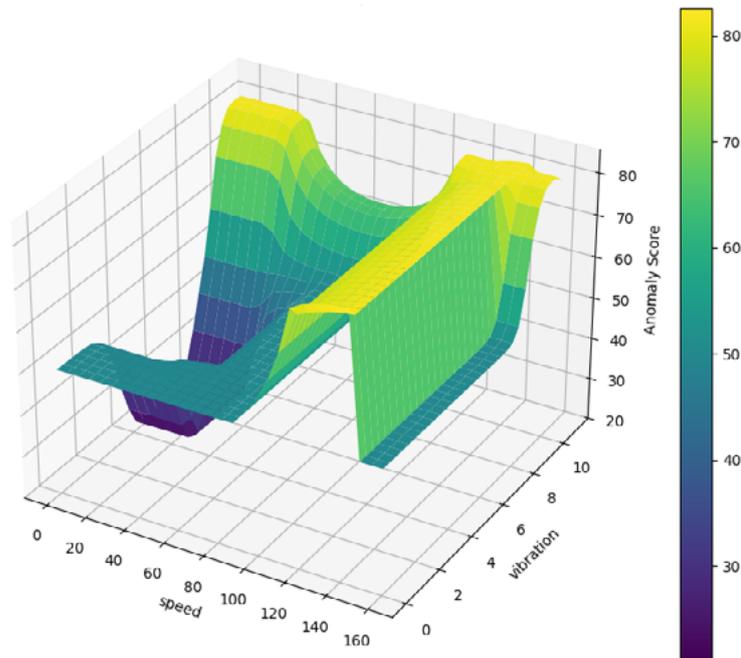


Рис. 2. Зависимость аномалии от скорости и вибрации

Результаты обнаружения аномалий:

Скорость: 80 км/ч, Ускорение: 0.0 м/с<sup>2</sup>, Вибрация: 2.0, Отклонение: 5.0 м → Оценка: 21.2% (NORMAL)  
 Скорость: 120 км/ч, Ускорение: -0.8 м/с<sup>2</sup>, Вибрация: 3.5, Отклонение: 8.0 м → Оценка: 57.4% (WARNING)  
 Скорость: 90 км/ч, Ускорение: 1.5 м/с<sup>2</sup>, Вибрация: 6.0, Отклонение: 15.0 м → Оценка: 64.3% (WARNING)  
 Скорость: 150 км/ч, Ускорение: -2.5 м/с<sup>2</sup>, Вибрация: 8.5, Отклонение: 60.0 м → Оценка: 86.7% (DANGER)  
 Скорость: 40 км/ч, Ускорение: 0.0 м/с<sup>2</sup>, Вибрация: 9.0, Отклонение: 0.0 м → Оценка: 80.4% (DANGER)

Рис. 3. Вероятностная оценка появления аномалий в ходе выполнения сценариев движения поезда

В качестве выходной переменной определен *уровень риска* (оценка аномалии) движения подвижного состава.

В ходе выполнения программы реализованы сценарии, результаты которых представлены на рис. 3.

Основные особенности реализации заключаются в:

1. Возможности настройки расширенного набора параметров, таких как:
  - скорость (4 уровня);
  - ускорение/торможение (5 уровней);
  - вибрация (3 уровня);
  - отклонение от маршрута (4 уровня).
2. Гибкости настройки системы правил:
  - множество правил для разных комбинаций параметров;
  - четкое разделение на нормальные/предупреждающие/опасные состояния.
3. Визуализации:
  - графики функций принадлежности для всех параметров;
  - 3D-поверхности зависимости аномалий от пар параметров;
  - автоматическое сохранение графиков в файлы.
4. Возможности тестирования различных сценариев.
5. Простой и понятной интерпретации результатов:
  - NORMAL (0–30 %) — нормальная работа;
  - WARNING (30–70 %) — потенциальные проблемы;
  - DANGER (70–100 %) — опасная ситуация.

Сравнение алгоритмов Мамдани и Такаги — Сугено для ж/д аномалий приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Ключевые отличия алгоритмов нечеткого вывода**

Критерий	Мамдани	Такаги — Сугено
Выход	Лингвистические правила	Числовые значения
Скорость	Медленнее (дефазификация)	Быстрее
Интерпретация	Высокая	Низкая
Точность	Ниже	Выше

**Вывод.** Для задачи мониторинга аномалий на железной дороге алгоритм Такаги — Сугено подходит лучше благодаря скорости, точности и совместимости с автоматизированными системами. Однако если требуется максимальная прозрачность решений, стоит рассмотреть алгоритм Мамдани или гибридную схему (расчет через Такаги — Сугено + объяснения Мамдани).

**Заключение**

Разработанная программная система определения риска возникновения аномалий движения представляет собой интеллектуальную систему мониторинга, способную в реальном времени анализировать параметры движения поезда и выявлять потенциально опасные ситуации. Использование нечеткой логики Такаги — Сугено обеспечивает ряд ключевых преимуществ по сравнению с традиционными методами машинного обучения и статистического анализа.

Основными преимуществами разработанной системы являются:

1. Гибкость и адаптивность:
  - нечеткие правила позволяют учитывать сложные взаимосвязи между параметрами (скорость, ускорение, вибрация, отклонение от маршрута), которые трудно описать точными математическими моделями;
  - легкость настройки под конкретные условия эксплуатации (разные типы поездов, рельсовых путей, климатические зоны).
2. Интерпретируемость полученных сигналов и решений: например, в отличие от «черного ящика», которым характеризуются нейросети, система выдает свой прогноз через понятные правила: «ЕСЛИ скорость высокая И вибрация сильная, ТО риск аварии повышен».
3. Устойчивость к зашумленным данным: нечеткая логика не требует идеально точных данных с датчиков, что особенно важно в условиях погрешностей получаемых данных от спутниковых технологий, вибрационных помех, задержек в получении данных и др.

4. Эффективность применения в реальном масштабе времени за счет низких вычислительных затрат.

5. Возможность интеграции с другими программными и аппаратными средствами определения позиционирования транспортного средства и прогнозирования состояния пути следования.

Сценарные эксперименты показали высокую точность интерпретируемости и расчетов. Система может быть интегрирована с системами мониторинга железной дороги для реального обнаружения аномалий.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Казюк С. Б. Анализ систем позиционирования подвижного состава / С. Б. Казюк; науч. рук. А. Т. Попов // Сборник тезисов докладов научной конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета (Липецк, Россия, 29 июня 2012 г.): в 2 ч. Ч. 2. Липецк: Липецкий гос. технический ун-т, 2012. С. 42–44.
2. Туманова Н. В., Баврина А. А., Медведева В. М. Классификация нарушений безопасности движения на железнодорожном транспорте // Техносферная безопасность городских агломераций: Сборник материалов II Международной школы-конференции (Москва, Россия, 15–16 декабря 2021 г.). М.: РУТ (МИИТ): РОАТ, 2022. С. 275–280.
3. Калачева О. А., Прицепова С. А. Анализ нарушений безопасности движения поездов // Актуальные проблемы железнодорожного транспорта: сборник статей научной конференции (Воронеж, Россия, 01 октября 2018 г.). Воронеж: филиал РГУПС в г. Воронеж, 2018. С. 96–100.
4. Сайфутдинов А. В. Выявление аномалий трафика в информационных системах с использованием методов Machine Learning // Перспективы науки. 2023. № 8 (167). С. 53–58.
5. Шевчук В. Г., Левтринский В. В., Крюкова Д. К. Подсистема мониторинга железнодорожного моста как важная составляющая системы спутникового мониторинга инфраструктуры железной дороги // Строительство и восстановление искусственных сооружений: материалы V Международной научно-практической конференции (Гомель, Беларусь, 21–22 апреля 2016 г.): в 2 ч. Ч. 1. / под общ. ред. А. А. Поддубного. Гомель: Белорусский гос. ун-т транспорта, 2016. С. 325–330.
6. Безручко В. В. Разработка автоматизированной системы контроля и диагностирования устройств передачи информации железнодорожного транспорта: автореферат дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.08 / Безручко Валерий Владимирович [Место защиты: Рос. гос. открытый ун-т путей сообщения]. М., 1997. 24 с.
7. Фоменко Ю. С., Хомоненко А. Д. Определение координат транспортного объекта при дефиците сигналов с помощью модели нечеткого вывода Такаги — Сугено // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2025. № 1 (41). С. 46–55. DOI: 10.20295/2413-2527-2025-141-46-55.
8. Fault Detection and Diagnostic Methods for Railway Systems — A Literature Survey / J. Wróbel, P. Bury, M. Zajac [et al.] // Advances in Science and Technology Research Journal. 2024. Vol. 18, Iss. 6. Pp. 361–391. DOI: 10.12913/22998624/191762.
9. Технологии искусственного интеллекта: учебник / под общ. ред. В. В. Ефимова и А. Д. Хомоненко. СПб.: ВКА имени А. Ф. Можайского, 2024.

Дата поступления: 05.08.2025

Решение о публикации: 08.08.2025

# Positioning of Rolling Stock Based on Fuzzy Logic Algorithms for Detecting Transport Movement Anomalies

**Yulia S. Fomenko**<sup>1</sup> — Master, Postgraduate Student of the Information and Computing Systems Department. Research interests: information systems, fuzzy intelligent systems, artificial intelligence systems. E-mail: yu.srgvn@gmail.com

**Anatoly D. Khomonenko**<sup>1,2</sup> — Dr. Sci. in Engineering, Professor, Professor of the Information and Computing Systems Department; Professor of the Mathematical and Software Engineering Department. Research interests: information systems, big data processing, probabilistic modelling of geographic information systems, genetic algorithms, information security. E-mail: khomon@mail.ru

<sup>1</sup>Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky ave., Saint Petersburg, Russia, 190031

<sup>2</sup>Mozhaisky Military Aerospace Academy, 13, Zhdanovskaya str., Saint Petersburg, Russia, 197198

**For citation:** Fomenko Yu. S., Khomonenko A. D. Positioning of Rolling Stock Based on Fuzzy Logic Algorithms for Detecting Transport Movement Anomalies. *Intellectual Technologies on Transport*, 2025, No. 3 (43), Pp. 77–86. DOI: 10.20295/2413-2527-2025-343-77-86. (In Russian)

**Abstract.** *Real-time detection of transport movement anomalies has attracted significant attention, since railway transport remains a key element of global logistics and passenger transportation. In the context of increasing traffic intensity, rising speeds and more stringent safety requirements, the identification of anomalies in the movement of rolling stock has become a critical task. **Purpose:** the selection of an algorithm for the positioning of rolling stock based on fuzzy logic (Takagi — Sugeno or Mamdani) is a justified choice in the event of a movement anomaly, as is the determination of the risk level of anomaly occurrence. **Results:** computerized scenario experiments have been conducted with the considered input data characterizing the main movement parameters (speed, vibration, acceleration, weather conditions, track condition) to ensure safety on railway sections. **Discussion:** the experimental results demonstrated the efficacy of the Takagi — Sugeno algorithm in determining the risk level of movement anomalies.*

**Keywords:** *positioning, object coordinates, transport facilities, movement anomalies, fuzzy logic, traffic safety, Takagi — Sugeno algorithm, Mamdani algorithm*

## REFERENCES

1. Kazyuk S. B. Analiz sistem pozitsionirovaniya podvizhnogo sostava [Analysis of rolling stock positioning systems], *Sbornik tezisev dokladov nauchnoy konferentsii studentov i aspirantov Lipetskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Collection of abstracts of reports of the scientific conference of students and postgraduates of Lipetsk State Technical University]*, Lipetsk, Russia, June 29, 2012. Vol. 2. Lipetsk, Lipetsk State Technical University, 2012, Pp. 42–44. (In Russian)

2. Tumanova N. V., Bavrina A. A., Medvedeva V. M. Klassifikatsiya narusheniy bezopasnosti dvizheniya na zheleznodorozhnom transporte [Classification of Traffic Safety Violations in Rail Transport], *Tekhnosfernaya bezopasnost gorodskikh aglomeratsiy: Sbornik materialov II Mezhdunarodnoy shkoly-konferentsii [Technosphere safety of urban agglomerations: Collection of materials of the II International school-conference]*, Moscow, Russia, December 15–16, 2021. Moscow, Russian University of Transport, Russian Open Academy of Transport, 2022, Pp. 275–280. (In Russian)

3. Kalacheva O. A., Pritsepova S. A. Analiz narusheniy bezopasnosti dvizheniya poezdov [Analysis of violations of train traffic safety], *Aktualnye problemy zheleznodorozhnogo transporta: sbornik statey nauchnoy konferentsii [Actual problems of railway transport: collection of articles from a scientific conference]*, Voronezh, Russia, October 01, 2018. Voronezh, Voronezh Branch of Rostov State Transport University, 2018, Pp. 96–100. (In Russian)
4. Sayfutdinov A. V. Vyyavlenie anomalii trafika v informatsionnykh sistemakh s ispolzovaniem metodov Machine Learning [Detection of Traffic Anomalies in Information Systems Using Machine Learning Methods], *Perspektivy nauki [Science Prospects]*, 2023, No. 8 (167), Pp. 53–58. (In Russian)
5. Shevchuk V. G., Levtrinsky V. V., Kryukova D. K. Podsystema monitoringa zheleznodorozhnogo mosta kak vazhnaya sostavlyayushchaya sistema sputnikovogo monitoringa infrastruktury zheleznoy dorogi [Subsystem for monitoring a railway bridge as an important component of the satellite monitoring system for railway infrastructure], *Stroitelstvo i vosstanovlenie iskusstvennykh sooruzheniy: materialy V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Construction and restoration of artificial structures: Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference]*, Gomel, Belarus, April 21–22, 2016. Vol. 1. Gomel, Belarusian State University of Transport, 2016, Pp. 325–330. (In Russian)
6. Bezruchko V. V. Razrabotka avtomatizirovannoy sistemy kontrolya i diagnostirovaniya ustroystv peredachi informatsii zheleznodorozhnogo transporta [Development of an automated system for monitoring and diagnosing railway information transmission devices]: Abstract of the diss. on competition of a scientific degree PhD (Engin.). Moscow, Russian State Open Technical University of Transport, 1997, 24 p. (In Russian)
7. Fomenko Yu. S., Khomonenko A. D. Opredelenie koordinat transportnogo obekta pri defitsite signalov s pomoshchyu modeli nechetkogo vyvoda Takagi — Sugeno [Detection of Transport Object Coordinates Under Signal Scarcity Using Takagi — Sugeno Fuzzy Inference Model], *Intellektualnye tekhnologii na transporte [Intellectual Technologies on Transport]*, 2025, No. 1 (41), Pp. 46–55. DOI: 10.20295/2413-2527-2025-141-46-55. (In Russian)
8. Wróbel J., Bury P., Zając M., et al. Fault Detection and Diagnostic Methods for Railway Systems — A Literature Survey, *Advances in Science and Technology Research Journal*, 2024, Vol. 18, Iss. 6, Pp. 361–391. DOI: 10.12913/22998624/191762.
9. Efimov V. V., Khomonenko A. D. (eds.). Tekhnologii iskusstvennogo intellekta: uchebnik [Artificial Intelligence Technologies: textbook]. Saint Petersburg, Mozhaisky Military Aerospace Academy, 2024. (In Russian)

Received: 05.08.2025

Accepted: 08.08.2025