

Диагностика состояния горочных замедлителей с помощью древовидных классификаторов

В.Л. Панасов¹, Н.М. Нечитайло²

¹Ростовский государственный университет путей сообщения

²Российский университет транспорта

Аннотация: Рассмотрены существующие системы управления горочными вагонными замедлителями и методы их технической диагностики. Выявлены недостатки существующих аналитических методов технической диагностики. Выявлены факторы, помогающие повысить точность технической диагностики вагонных замедлителей, доступные в существующих горочных автоматизированных управляющих комплексах. Предложен подход к построению интеллектуальной системы, уточняющей текущее состояние вагонного замедлителя, на базе деревьев решений. Предложен способ повышения качества деревьев решений, построенных с использованием технологии Data Mining, в условиях малого объема обучающих примеров. В основе подхода лежат идеи самоорганизации интеллектуальных систем. Повышение точности решающих правил продемонстрировано на проверочных базах данных примеров.

Ключевые слова: сортировочная горка, управляющие комплексы, напольные устройства, вагонные замедлители, интеллектуальные системы, многофакторный анализ, классификация по признакам, алгоритмы самоорганизации, автоматическое приобретение знаний, мягкие вычисления, деревья решений.

Одним из основных компонентов горочных систем управления роспуском составов являются вагонные замедлители (ВГЗ) [1]. Они применяются для снижения скорости свободного скатывания вагонов или отцепов (групп вагонов) после их отцепки от расформируемого состава. Техническое состояние и эффективность работы ВГЗ оказывают существенное влияние на процесс роспуска составов. Недостаточное замедление отцепа может привести к тому, что отцеп слишком сильно ударится с последним вагоном в парковом пути. С другой стороны, завышение ступени торможения, которая может быть выбрана управляющей системой для минимизации риска сильного соударения вагонов, может привести к тому, что отцеп не докатится до последнего вагона в выбранном парковом пути. Для исправления этой ситуации может потребоваться приостановка процесса роспуска, а следовательно потеря технологического времени.

В настоящее время существуют высокоэффективные компьютерные системы управления ВГЗ [1, 2]. Благодаря этому имеется возможность применить новые интеллектуальные подсистемы для диагностики ВГЗ [3]. Такие интеллектуальные подсистемы могли бы не только своевременно обнаруживать предотказные состояния ВГЗ, но и уточнять параметры управления, рассчитываемые на базе моделей регулирования, которые уже заложены в этих системах.

Основной методикой дистанционной оценки технического состояния ВГЗ является анализ кривой гашения скорости отцепа. Сила торможения задается управляющей системой путем выбора одной из возможных ступеней торможения s_i . Это дискретное число, которое выбирается на основе модели управления, учитывающей различные исходные факторы: количество вагонов в отцепе, желаемое снижение скорости и т. п. и выбранной тактикой регулирования [4, 5]. На вход модели подается желаемое снижение скорости отцепа ΔV_i . Здесь индекс i обозначает i -ый случай регулирования. После N случаев регулирования можно получить достаточно примеров для анализа технического состояния ВГЗ.

Степень расхождения расчетного ΔV_i и экспериментального $\Delta V'_i$ снижения скорости отцепа, наблюдаемая в достаточном количестве случаев, позволяет сделать оценку технического состояния ВГЗ.

В то же время, нельзя сделать окончательный вывод о состоянии ВГЗ, основываясь исключительно на этом расхождении. Необходимо учитывать также и ряд других факторов, таких как погодные условия, особенности конкретного отцепа, выбранного направления скатывания [6] и т. п.

Существует ряд факторов, влияющих на эффективность работы ВГЗ, которые не оказывают решающего воздействия, но способны в незначительной степени влиять на степень расхождения расчетного ΔV_i и экспериментального $\Delta V'_i$ снижения скорости отцепа. Тем не менее, при

непрерывном автоматическом мониторинге состояния ВГЗ с целью своевременного обнаружения предотказных состояний, учет этих факторов позволит повысить точность диагностики. Можно предложить следующие факторы для интеллектуальной подсистемы анализа технического состояния ВГЗ (табл. 1).

Таблица №1

Факторы, влияющие на оценку технического состояния ВГЗ

№ фактора	Название	Тип значений
1	Степень расхождения ΔV_i и $\Delta V'_i$	Числовые непрерывные
2	Вес отцепа	Числовые непрерывные
3	Количество вагонов в отцепе	Числовые дискретные
4	Тип осадков	Лингвистические
5	Температура воздуха	Числовые непрерывные
6	Степень торможения s_i	Числовые дискретные
7	Тип ВГЗ	Лингвистические
8	Номер колесной пары	Числовые дискретные
9	Номер пути	Числовые дискретные
10	Начальная скорость	Числовые непрерывные
11	Характер кривой замедления	Лингвистические
12	Эффективность на других ВГЗ	Лингвистические

При некоторых неисправностях ВГЗ расхождение расчетного и наблюдаемого (РРН) снижения скорости отцепа может наблюдаться только при большом весе отцепа, или только у длинных отцепов. Следовательно эти два фактора нужно учитывать. При разных погодных условиях также можно наблюдать различные РРН, поэтому следует учитывать тип осадков и температуру воздуха. Причем первый фактор относится к «лингвистическим», например: «дождь», «снег», «без осадков». Некоторые виды неисправностей могут проявляться только на определенных ступенях торможения. Примененная ступень торможения также может коррелировать с типом ВГЗ и оказывать разное влияние на РРН. Поэтому следует учитывать

оба этих фактора: «степень торможения s_i » и «тип ВГЗ». Последний из них является лингвистическим.

На характер кривой снижения скорости также может оказывать влияние номер колесной пары, к которой было применено замедление. Известно, что эффективность торможения несколько зависит от того, где расположена колесная пара: в начале, в середине или в конце отцепа. Данный фактор по своей природе является числовым дискретным, но его также можно ранжировать указанными лингвистическими значениями.

Уклон и профиль пути также может влиять на РРН, поэтому нужно учитывать номер пути. Неисправности ВГЗ могут по разному проявляться на разных абсолютных скоростях отцепа, поэтому нужно учитывать и начальную скорость.

Для полноты анализа нужно учитывать эффективность затормаживания данного отцепа на других ВГЗ. Это поможет исключить из анализа отцепы, которые имеют индивидуальные особенности, влияющие на торможение. Этот фактор также можно представить лингвистическими значениями, например: «в норме», «немного хуже нормы», «плохо».

Как видно, среди факторов, способных уточнить диагностику технического состояния ВГЗ, имеются как дискретные, так и непрерывные и лингвистические.

Следует отметить, что предлагаемый набор факторов можно использовать не только для диагностики технического состояния ВГЗ, но и для повышения точности регулирования ВГЗ. Расчетное снижение скорости отцепа ΔV_i можно корректировать, учитывая данные факторы.

Ввиду разной природы перечисленных факторов для их анализа невозможно применять традиционные аналитические методы. Предлагается использовать один из методов классификации по признакам [7], а именно механизм деревьев решений.

Деревья решений относятся к алгоритмам автоматической классификации по признакам (факторам). Дерево решений (ДР) представляет собой решающее правило, которое последовательно анализирует каждый признак, а на выходе выдает номер одного из классов, к которому относится объект (или ситуация) с данным набором признаков (рис. 1).

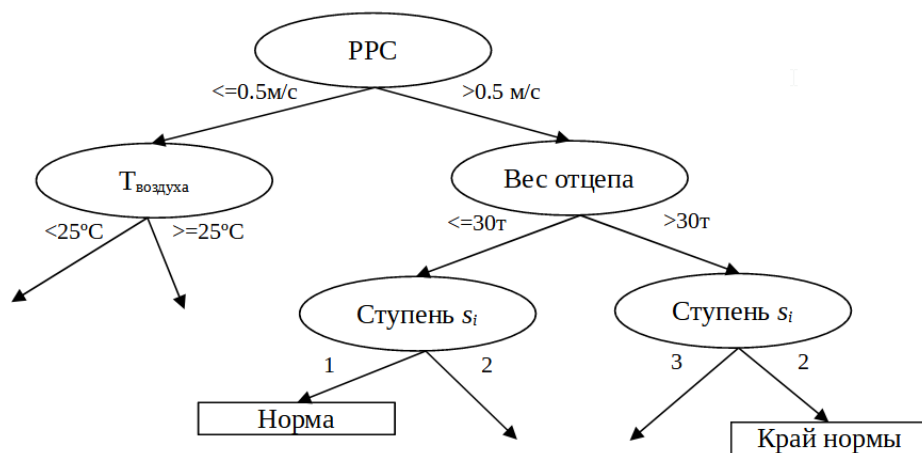


Рис. 1. – Фрагмент дерева решений для задачи диагностики ВГЗ

Построение самого ДР выполняется в автоматическом режиме по технологии Data Mining. Исходными данным для построения (обучения) ДР являются примеры – кортежи признаков с известным классом. Такие обучающие примеры предлагается получать путем анализа протоколов роспуска составов, который хранится в любом горочном автоматизированном комплексе [8]. Сами признаки, перечисленные в табл. 1, имеются в явном виде в протоколах. Классы могут быть получены путем анализа окончательного результата торможения отцепа по реально пройденному пути.

Предлагаемый ниже алгоритм построения ДР способен автоматически ранжировать признаки 1, 2, 5 и 10 из табл. 1. Это происходит путем подбора пороговых значений для таких признаков. Причем на разных уровнях ДР могут применяться разные пороги. В целом ДР хорошо работают с такими разнородными признаками. Дополнительным достоинством ДР является его

наглядность, которая позволяет интерпретировать решающее правило, сокрытое в ДР.

Классическими алгоритмами построения ДР являются ID3, CART, C4.5 [9]. В данной задаче предлагается использовать усовершенствованную версию алгоритма C4.5, описанную в [10] - BootTree. Ее достоинства видны из результатов проверок на модельных задачах, приведенных в табл. 2. Критерий сравнения был получен по методу кросс-валидации.

Таблица №2

Результаты сравнения алгоритмов

Имя базы	Точность решений		Размера дерева решений	
	C4.5	BootTree	C4.5	BootTree
Модельная задача	56.48 %	59.28 %	277	124
«Австралийский кредит»	73.42 %	77.39 %	231	148
«Заболевания сердца»	70.15 %	73.56 %	97	66
«Немецкий кредит»	55.50 %	57.88 %	544	316

Как видно из цифр, приведенных в табл. 2 предлагаемый алгоритм BootTree демонстрирует лучшую точность на всех использованных базах обучающих примеров. В последних двух колонках данной таблицы приведено сравнение размеров ДР, полученных по обоим алгоритмам – кустистость ДР. Видно, что предлагаемый алгоритм дает ДР меньшего размера, что косвенно говорит о их лучшей обобщающей способности.

Литература

1. Шабельников А.Н, Ольгейзер И.А., Рогов С.А. Управление тормозными средствами сортировочных горок: повышение качества и эффективности // Вестник РГУПС. 2015. №2. С. 74-79.
2. Шабельников А.Н., Ковалев С.М., Ольгейзер И.А., Суханов А.В. Оценка технического состояния вагонных замедлителей на основе

адаптивной модели объединения свидетельств // Вестник РГУПС. 2020. №2. С. 93–102.

3. Нурматова Е.В., Зайцев Е.И. Моделирование оценки состояния объектов на основе запросов с нечёткими условиями // Инженерный вестник Дона, 2024, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2024/8936

4. Панасов В.Л., Доманский В.В., Сарьян А.С., Нечитайло Н.М. Применение технологии data mining для повышения точности регулирования скатывания отцепов на сортировочной горке // Вестник РГУПС. 2020. №4. С. 81–88.

5. Шабельников А.Н., Лябах Н.Н., Одикадзе В.Р. Моделирование процесса измерения сопротивления рельсовой цепи сортировочного парка // Вестник РГУПС. 2019. №1. С. 81–86.

6. Целигоров, Н.А., Целигорова, Е.Н., Мафура, Г.В. Математические модели неопределенностей систем управления и методы, используемые для их исследования // Инженерный вестник Дона, 2012, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1340

7. Боженюк А.В., Герасименко Е.М., Разработка алгоритма нахождения максимального потока минимальной стоимости в нечеткой динамической транспортной сети // Инженерный вестник Дона. - 2013. - № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2013/1583

8. Murthy S.K. Automatic construction of decision trees from data: A multidisciplinary survey // Data Min. Knowl. Discov. 1998. №2 (4). pp. 345-389.

9. Quinlan J.R. Improved use of continuous attributes in C4.5 // Journal of Artificial Intelligence Research. 1996. №4. pp. 77-90.

10. Panasov V.L. Using decision tree-based classification rules to improve land device measurement accuracy at a railway marshaling yard // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. 2024. p. 13217.

References

1. Shabel'nikov A.N, Ol'geyzer I.A., Rogov S.A. Vestnik RGUPS. 2015. №2. pp. 74-79.
2. Shabel'nikov A.N., Kovalev S.M., Ol'geyzer I.A., Sukhanov A.V. Vestnik RGUPS. 2020. №2. pp. 93–102.
3. Nurmatova E.V., Zaytsev E.I. Inzhenernyj vestnik Dona. 2024. № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2024/8936
4. Panasov V.L., Domanskiy V.V., Sar'yan A.S., Nechitaylo N.M. Vestnik RGUPS. 2020. №4. pp. 81–88.
5. Shabel'nikov A.N., Lyabakh N.N., Odikadze V.R. Vestnik RGUPS. 2019. №1. pp. 81–86.
6. Celigorov, N.A., Celigorova, E.N., Mafura, G.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2012. № 4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1340
7. Bozhenjuk A.V., Gerasimenko E.M., Inzhenernyj vestnik Dona. 2013. № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2013/1583
8. Murthy S.K. Data Min. Knowl. Discov. 1998. №2 (4). pp. 345-389.
9. Quinlan J.R. Journal of Artificial Intelligence Research. 1996. №4. pp. 77-90.
10. Panasov V.L. Proceedings of SPIE. The International Society for Optical Engineering. 2024. p. 13217.

Дата поступления: 5.04.25

Дата публикации: 25.05.25