

4) совершенствование аналитических методов нормирования и анализа: переход от сравнительного анализа показателей к факторному аналитическому моделированию процессов анализа – выявление причин, зависимостей и трендов рядов целевых и локальных показателей; формирование комплексных индексов эффективности; связь КП с рисками и устойчивостью перевозочного процесса;

5) нормативное регулирование взаимодействия участников ЕТПП: разработка необходимых НПА, регламентирующих условия взаимодействия участников, их права и обязанности;

6) расширение методов оценки эффективности бизнес-процессов, внедрение новых подходов к оценке деятельности: энергоэффективность перевозок, товаро-транспортная согласованность маршрутных перевозок, клиентоориентированность технологий, инновационность технических и технологических решений, синергетический подход к транспортному балансу в сети и др.

Таким образом, предложенный подход к совершенствованию системы показателей позволяет сформировать новый механизм КП в развивающейся многоуровневой системе управления на железнодорожном транспорте. Показатели участников перевозочного процесса агрегируются в показатели отраслевого и государственного уровней, обеспечивая целостное представление о состоянии транспортной системы. Это позволит осуществлять более достоверное стратегическое и оперативное планирование; выявлять несогласованность бизнес-процессов и дисбалансы использования ресурсов; повышать взаимодействие участников в рамках ЕТПП; принимать обоснованные решения при регулировании транспортной деятельности.

#### Список литературы

- 1 Сметанин, А. И. Техническое нормирование эксплуатационной работы железных дорог : монография / А. И. Сметанин. – М. : Транспорт, 1984. – 295 с.
- 2 Шатохин, А. А. Управление вагонными парками в рыночных условиях / А. А. Шатохин. – М. : РУТ (МИИТ), 2024. – 122 с.
- 3 Иванов, А. Н. Эффективное управление вагонными парками на основе развития железнодорожной сети и тарифного регулирования / А. Н. Иванов, П. К. Рыбин, М. В. Четчуев // Бюллетень ученого совета АО «ИЭРТ». – 2025. – № 10-1. – С. 56–58.
- 4 Расчет показателей использования вагонов на основе автоматизированного учёта их состояния и местонахождения / В. Г. Кузнецов, О. Н. Лисогуркий, Е. И. Усенков, Т. В. Лытко // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2011. – № 2 (23). – С. 29–35.

УДК 656.212.5:004.02

## ДЕРЕВО РЕШЕНИЙ КАК МЕТОД ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СТАНЦИИ

А. А. НАУМЕНКО

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Железнодорожный транспорт является важнейшим элементом транспортной системы Республики Беларусь. С его помощью осуществляется значительная часть грузооборота и пассажирских перевозок страны [1].

Сортировочная станция представляет собой сложный объект, в котором множество технологических процессов взаимосвязаны и требуют оперативного и точного управления. В условиях растущего объема грузоперевозок и усложняющихся оперативных задач повышение эффективности работы станции приобретает стратегическое значение. Перспективным направлением совершенствования системы управления сортировочной станции является внедрение интеллектуальных систем управления, способных к автоматизированному распознаванию и идентификации отклонений и выбору наилучших корректирующих воздействий. Одним из эффективных методов, подходящих для реализации такой функциональности, является метод дерева решений [2].

Дерево решений – это структура, которая позволяет формализовать процесс выбора решения, с помощью последовательности критериев и условий, представленных в виде древовидной схемы. Этот метод широко применяется в медицине, финансах, инженерии, логистике и, в частности, в управлении транспортными системами [3].

Применение метода дерева решений обеспечивает автоматизацию идентификации отклонений и выбор корректирующих действий, что значительно сокращает время реакции и повышает точность управления. Этот метод характеризуется логичностью принятия решений, что облегчает его разработку, адаптацию и верификацию. Кроме того, дерево решений легко объединяется с другими интеллектуальными методами, такими как нейронные сети или алгоритмы машинного обучения, позволяя системе адаптироваться к изменяющимся условиям и совершенствовать свои модели на основе накопленного опыта [3].

Применение дерева решений в оперативном управлении железнодорожной станцией представляет собой перспективное направление развития интеллектуальных систем управления на железнодорожном транспорте. Этот метод машинного обучения позволяет диспетчеру или автоматизированной системе визуализировать возможные сценарии развития событий, оценить риски и выгоды каждого варианта и выбрать стратегию, максимизирующую заданный критерий [2].

Построение дерева решений для интеллектуальной системы управления сортировочной станцией начинается с определения корневого узла, которым является факт фиксации отклонения. Данное событие начинает работу дерева решений.

От корневого узла строится набор проверяемых атрибутов (вопросов), которые позволяют идентифицировать конкретную причину отклонения. Каждый атрибут проверяется в определенном узле дерева. В зависимости от результата проверки система переходит по соответствующей ветви к следующему узлу.

Конечными узлами (листьями) дерева являются рекомендуемые корректирующие воздействия.

На сортировочной станции входными параметрами для дерева могут служить данные о времени прибытия и составах, техническом состоянии вагонов, занятости путей и других факторов, влияющих на работу станции. На основе этих параметров дерево решений помогает выявить отклонения от планового режима и определить оптимальные корректирующие мероприятия [4].

Применение дерева решений особенно актуально при отклонениях от штатного режима работы станции: при задержках поездов, отказах технических средств, аварийных ситуациях или изменении объема грузопотока. В таких условиях диспетчер сталкивается с множеством вариантов, каждый из которых имеет различные последствия. Дерево решений помогает формализовать эти альтернативы, присвоить им вероятности и определить наиболее верное решение [5].

На практике деревья решений часто интегрируются в автоматизированные системы управления станцией (АСУ СТ). Современные системы собирают данные в реальном времени (положение поездов, состояние путей, прогнозы задержек), а встроенный модуль на основе дерева решений генерирует рекомендации для пользователя автоматизированной системы [1].

Основными преимуществами использования дерева решений являются интерпретируемость получаемых моделей, возможность работы с разнородными данными и относительная простота реализации алгоритмов. В контексте железнодорожных станций эти качества особенно важны, поскольку обеспечивают прозрачность процесса принятия решений и сохраняют возможность контроля со стороны дежурного персонала.

Вместе с тем необходимо учитывать определенные ограничения. Эффективность дерева решений во многом зависит от качества и полноты исходных данных, так как чрезмерное усложнение структуры дерева может привести к снижению общей эффективности из-за избыточной детализации. Для минимизации этих рисков важна оптимизация структуры дерева, включающая в себя отбор ключевых факторов и объединение схожих признаков. Обучение с помощью накопленного опыта помогает улучшить структуру дерева и повысить качество принимаемых решений [3].

Важно, что дерево решений особенно эффективно при краткосрочном и среднесрочном оперативном планировании – от нескольких минут до нескольких часов вперед. Оно не предназначено для стратегического планирования, но идеально подходит для реагирования на возникающие отклонения и перераспределение ресурсов.

Таким образом, дерево решений является высокоэффективным инструментом в интеллектуальной системе управления сортировочной станцией, позволяющим повышать качество управления технологическими процессами, своевременно выявлять отклонения и эффективно корректировать выполнение операций. В перспективе возможно создание комплексных гибридных систем управления, объединяющих различные подходы искусственного интеллекта, что обеспечит устойчивое и адаптивное функционирование станции даже при возникновении большого количества неопределенностей.

### Список литературы

- 1 **Ерофеев, А. А.** Интеллектуальная система управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте : монография / А. А. Ерофеев. – Гомель : БелГУТ, 2022. – 407 с.
- 2 **Браништов, С. А.** Вопросы автоматизации управления поездной работой / С. А. Браништов, Д. А. Тумченко, А. М. Ширванян // Информационно-управляющие системы. – 2014. – № 1 (68). – С. 32–42.
- 3 **Лемешкина, В. Р.** Дерево решений как метод принятия управленческого решения / В. Р. Лемешкина // Аллея науки. – 2022. – Т. 1, № 2 (65). – С. 375–380.
- 4 АСУ сортировочными станциями (на примере АСУ СС НПО «Агат» / И. Д. Иванюто, С. С. Галуза, А. А. Ерофеев, Н. Н. Казаков. – Гомель : БелГУТ, 2003. – 159 с.
- 5 **Борознов, В. О.** Системный анализ работы сортировочной станции на основе метода «дерево целей» / В. О. Борознов, Г. А. Попов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2009. – № 2. – С. 13–21.

УДК 656.222.3

## БЕЗОПАСНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЛИНИЙ

*В. Я. НЕГРЕЙ, С. В. ДОРОШКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Пропускная способность двухпутного перегона определяется отдельно по каждому пути при одностороннем и безостановочном проследовании поездов промежуточных раздельных пунктов и частичном (неполном) оборудовании тягового подвижного состава автоматической локомотивной сигнализацией:

$$n_{\text{нал}} = \frac{(1440 - t_{\text{тех}})}{I_p}, \quad (1)$$

где  $t_{\text{тех}}$  – суточный бюджет продолжительности выполнения работ по текущему содержанию и плановых видов ремонта инфраструктуры двухпутного перегона железнодорожной линии, мин;  $\alpha_n$  – коэффициент надежности железнодорожной инфраструктуры и подвижного состава;  $I_p$  – расчетный интервал между поездами при движении поездов по перегону с фиксированными границами блок-участков, мин.

Теоретически коэффициент надежности  $\alpha_n$  представляет собой вероятность безотказной работы перегона, на котором осуществляется взаимодействие подсистем:

- а) пути и путевого хозяйства ( $P_n$ );
- б) локомотивов ( $P_l$ );
- в) вагонов ( $P_v$ );
- г) устройств железнодорожной автоматики, телемеханики и связи ( $P_a$ );
- д) железнодорожных станций ( $P_c$ ).

Другими словами, допустив зависимость работы подсистем и случайность технических отказов

$$\alpha_n = P_j = \prod_{j=1}^n P_{Bj}, \quad (2)$$

где  $P_j$  – вероятность безотказной работы  $j$ -й подсистемы.

Если  $n = 5$ , то

$$P_{Bj} = \prod_{n=1}^{n=5} P_{n1} P_{n2} P_{n4} P_{n5}, \quad (3)$$

где  $P_{n1}$ ,  $P_{n2}$ ,  $P_{n3}$ ,  $P_{n4}$ ,  $P_{n5}$  – соответственно вероятность безотказной работы устройств пути, локомотивов, вагонов, систем автоматики и связи, железнодорожных станций (по приему поездов с перегона).

Для частного случая, когда  $P_j = \text{const}$ , формула для расчета  $\alpha_n$  (или  $P_{Bp}$ ) примет вид

$$P_{Bp} = P_j^5. \quad (4)$$

Например, вероятность безотказной работы подсистемы при  $P_{Bp} = 0,93$

$$0,93 = P_j^5. \quad (5)$$