

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
БЕЛОРУССКАЯ ЖЕЛЕЗНАЯ ДОРОГА
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ ТРАНСПОРТНОГО И СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСОВ

МАТЕРИАЛЫ
МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ,
ПОСВЯЩЕННОЙ 70-ЛЕТИЮ БелИИЖТа – БелГУТа
(Гомель, 16–17 ноября 2023 г.)

Часть 1

Под общей редакцией *Ю. И. КУЛАЖЕНКО*

Гомель 2023

УДК [656.0+69.0]:001.895
ББК 39.1+38
И66

Редакционная коллегия:

Ю. И. Кулаженко (отв. редактор), **Ю. Г. Самодум** (зам. отв. редактора),
А. А. Ерофеев (зам. отв. редактора), **Т. М. Маруняк** (отв. секретарь),
К. А. Бочков, Т. А. Власюк, И. А. Еловой, Н. Н. Казаков, Е. Г. Кириченко,
П. В. Ковтун, Е. Ф. Кудина, Д. В. Леоненко,
В. Я. Негрей, А. А. Поддубный, А. В. Пигунов, А. О. Шимановский

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор **Ю. М. Плескачевский**
(член-корреспондент НАН Беларуси);
доктор технических наук, профессор **Ю. О. Пазойский**
(Московский государственный университет путей сообщения)

И66 **Иновационное развитие** транспортного и строительного комплексов : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию БелИИЖТа – БелГУТа (Гомель, 16–17 ноября 2023 г.) : в 2 ч. Ч. 1 / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2023. – 449 с.

ISBN 978-985-891-127-0 (ч. 1)

Рассматриваются теоретические и организационно-технические основы инновационного развития интеллектуальных транспортных систем; пути повышения надежности и долговечности подвижного состава и систем электроснабжения; информационные технологии, системы автоматизации, телемеханики и связи; прикладная экология, ресурсосберегающие и энергоэффективные технологии на транспорте; экономика транспорта и логистика в условиях цифровизации; вопросы проектирования, строительства и эксплуатации транспортных объектов.

Для ученых, преподавателей учебных заведений транспортного профиля, научных и инженерно-технических работников научно-исследовательских и проектных организаций, предприятий и учреждений транспорта и строительства.

УДК [656.0+69.0]:001.895
ББК 39.1+38

ISBN 978-985-891-127-0 (ч. 1)
ISBN 978-985-891-126-3

© Оформление. БелГУТ, 2023

АЛГОРИТМЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ГРАФИКА ДВИЖЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Д. Н. ШЕВЧЕНКО, А. Э. ЮНИЦКИЙ

ЗАО «Струнные технологии», г. Минск, Республика Беларусь

Приводится постановка задачи восстановления индивидуальных задержек рельсовых транспортных средств (РТС), когда такие задержки не вызывают задержек следующих РТС; а также восстановления регулярности графика движения, когда восстановление индивидуальных задержек нецелесообразно или невозможно с учётом обеспечения безопасности движения; или задержки сказываются сразу на нескольких попутно следующих РТС. Предлагаются формальные алгоритмы решения поставленных задач в условиях беспилотного автоведения РТС. Приводятся результаты исследования алгоритмов на скорость и точность восстановления задержек.

Ключевыми особенностями струнного транспорта являются [1, 2]:

- использование надземной эстакады с предварительно напряжённым струнным рельсом и с преобладающими прямыми участками путевой структуры;
- отсутствие пересечений струнной путевой структуры в одном уровне с другими транспортными магистралями;
- применение беспилотных РТС на электрической тяге [3];
- централизованное управление всеми РТС и объектами инфраструктуры, интервальное регулирование РТС посредством радиоблокировки;
- профиль автоведения РТС определяется профилем безопасности (АТР-профилем [4]) и заданным центральной системой управления скоростным режимом, указывающим на долю скоростных ограничений относительно предельных скоростных АТР-ограничений;
- одной из востребованных областей применения струнного транспорта являются городские пассажирские перевозки по кольцевой трассе с установленным направлением попутного движения РТС.

Рассматривается задача движения нескольких РТС по замкнутой кольцевой трассе в одном направлении с фиксированным интервалом попутного следования. Все РТС имеют тождественные кинематические характеристики и длительности стоянок на остановочных пунктах. Кроме интервала попутного следования (в нескольких пикетах трассы) может контролироваться расписание движения каждого отдельного РТС.

В процессе выполнения регулярного графика движения РТС возможны задержки, связанные с кратковременными внешними случайными причинами (задержки на пассажирских станциях, сбои в сетях передачи данных и др.). В этом случае актуальна разработка алгоритмов, позволяющих восстанавливать график движения в автоматическом режиме (что особенно актуально для беспилотных РТС), с высокой точностью и в минимальные сроки. Дополнительным требованием алгоритма восстановления графика движения может быть неснижение исходной интенсивности движения РТС с целью обеспечения штатных показателей пассажирских и грузовых перевозок.

Предполагается, что нарушение графика движения не связано с отказами РТС и инфраструктуры; действие влияющих факторов, приведших к нарушению графика движения, к рассматриваемому моменту времени прекратилось.

Восстановление графика движения РТС осуществляется за счёт подконтрольного изменения штатного скоростного режима запаздывающих РТС на «ускоренный» режим движения. Например, скоростной режим «80 % от предельных скоростных ограничений» заменяется на режим «95 % от предельных скоростных ограничений».

Если случайные задержки некоторых РТС (определённые на основе штатного расписания) не вызвали задержек остальных РТС, предлагается следующий алгоритм «восстановления индивидуальных задержек».

- 1 Определить техническую скорость.
- 2 Определить компенсируемое время для каждого отдельного РТС.

3 Преобразовать компенсируемое время в компенсируемое расстояние, которое можно отслеживать.

4 Установить новые скоростные ограничения РТС.

5 Отслеживать оставшееся компенсируемое расстояние.

6 Установить исходные скоростные ограничения РТС.

В случае, когда задержки некоторых РТС оказались столь значительны, что вызвали задержку всех следующих РТС, а восстановление исходного расписания не требуется или нецелесообразно (например, потребует длительного времени), предлагается ограничиться «восстановлением регулярности графика движения РТС». Предполагается следующий порядок действий.

1 Определить интервалы попутного следования.

2 Определить техническую скорость.

3 Определить РТС, для которого характерен самый большой интервал попутного следования. Скоростной режим предшествующего РТС изменяться не будет. Интервалы попутного следования других РТС должны быть откорректированы.

4 Определить компенсируемое время для каждого РТС с учётом очередности движения РТС.

5 Определить компенсируемое расстояние для каждого РТС.

6 Установить новые скоростные ограничения РТС.

7 Отслеживать оставшееся компенсируемое расстояние (для каждого РТС).

8 Установить исходные скоростные ограничения для РТС, компенсировавшего отставание.

Апробация предлагаемых алгоритмов выполнялась на имитационной модели движения нескольких РТС по одной из проектируемых трасс. При этом задавалось случайное начальное местоположение РТС. Установлено, что скорость восстановления задержек зависит от величины задержек, от соотношения между исходными и новыми скоростными ограничениями, а также от фактических режимов движения РТС. Например, новые скоростные ограничения могут достигаться не в полной мере ввиду прочих ограничений.

В процессе апробации алгоритма восстановления регулярности графика движения стандартное отклонение интервалов попутного следования, как правило, уменьшается в 10–20 раз. При повторном запуске алгоритма стандартное отклонение интервалов попутного следования дополнительно уменьшается в 5–15 раз. Уменьшение стандартного отклонения интервалов попутного следования до нуля затрудняется следующими случайными причинами:

а) в процессе восстановления регулярности фактическая техническая скорость РТС на участке не совпадает с теоретической технической скоростью РТС на всей трассе. Например, в процессе компенсации конкретной задержки могут преобладать участки с разгонами и замедлениями;

б) обновление информации о требуемом скоростном режиме РТС происходит не мгновенно, а с заранее установленной периодичностью;

в) после восстановления регулярности движения и установления для РТС исходных скоростных ограничений может потребоваться торможение РТС со скорости, значение которой не было определено заранее.

Множественно чередуя два предлагаемых в докладе алгоритма, можно восстанавливать не только регулярность графика движения, но и нарушение расписания движения, вызванное существенными задержками всех РТС.

Список литературы

1 Юницкий, А. Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе / А. Э. Юницкий. – Силакросс : ПНБпринт, 2019. – 576 с.

2 СТО SW 05.002–2019. Городской и высокоскоростной струнные транспортные комплексы. Специальные технические условия.

3 Реализованные конфигурации рельсовых электромобилей [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://ust.inc/technology/upods>. – Дата доступа : 03.09.2023.

4 IEEE 1474.1–2004 IEEE Standard for Communications-Based Train Control (CBTC). Performance and Functional Requirements [Electronic resource]. – Mode of access : <https://sagroups.ieee.org/1474wg2/>. – Date of access : 10.09.2023.