

Концепция безопасности движения в струнном транспортном комплексе

The concept of movement safety in a string transportation system

Юницкий А.Э.¹, Гарах В.А.¹, Литвинович Т.С.¹, Шевченко Д.Н.^{1*}
Unitsky A.E.¹, Harakh V.A.¹, Litvinovich T.S.¹, Shevchenko D.N.¹

¹ЗАО «Струнные технологии», Минск, Республика Беларусь

¹Unitsky String Technologies Inc., Minsk, Republic of Belarus

*d.shevchenko@unitsky.com



Юницкий А.Э.



Гарах В.А.



Литвинович Т.С.



Шевченко Д.Н.

Резюме. Цель. Рассмотреть структуру и составляющие безопасности существующих транспортных систем, чтобы на их основе рассматривать все множество опасностей и угроз, характерных для инновационного рельсо-струнного транспорта. Определить конкретные условия и функции эффективного и безопасного движения рельсовых транспортных средств, чтобы на их основе формировать требования к разрабатываемой АСУ перевозочным процессом. **Методы.** Проведен анализ нормативных документов, посвященных вопросам безопасности существующих транспортных систем, а также условий и функций обеспечения безопасности движения рельсового транспорта. Рассмотрены вопросы полноты и корректности предлагаемых функций, особенностей их реализации, предусмотренных различными стандартами. **Результаты.** Предложен набор базовых элементарных функций безопасности движения рельсового транспорта, на основе которых детализируются алгоритмы функционирования подсистем струнного транспортного комплекса. Даны комментарии об особенностях реализации функций. Предложена терминология безопасности струнного транспортного комплекса и взаимосвязи ее составляющих: безопасности эксплуатации, функциональной безопасности и безопасности движения. **Заключение.** Предлагаемая терминология и набор базовых функций безопасности движения позволяют систематизировать разработку современной безопасной АСУ перевозочным процессом. Использование элементарных несовместных функций безопасности движения допускает их модульную (независимую) реализацию, позволяет минимизировать их количество. Это способствует снижению трудоемкости разработки и подтверждения соответствия АСУ предъявляемым требованиям.

Abstract. Aim. To examine the structure and safety components of existing transportation systems to use them as the foundation for the study of the whole set of hazards and threats that are typical for innovative string rail transportation. To identify specific conditions and functions of efficient and safe movement of rail vehicles in order to enable the definition of the requirements for the automated traffic management system under development. **Methods.** The authors analyse the regulatory documents dealing with the safety of existing transportation systems, as well as the conditions and functions associated with ensuring the safety of rail vehicles. The paper examines the matter of completeness and correctness of the proposed functions, distinctive features of their implementation required by various standards. **Results.** The authors propose a set of basic elementary functions of rail vehicle movement that are used for constructing detailed algorithms of operation of a string transportation systems. Comments are given regarding the implemented functionalities. The authors propose a terminology of string transportation system safety and its components interrelation, i.e., operational safety, functional safety, and movement safety. **Conclusion.** The proposed terminology and set of basic movement safety functions allow organising the development of a modern safe automated traffic management system. The use of elementary incompatible movement safety functions allows for their modular (independent) implementation and minimisation. That helps reduce the efforts associated with the development and confirmation of compliance of the automated management system with the relevant requirements.

Ключевые слова: рельсовое транспортное средство, струнный транспорт, безопасность транспортного комплекса, безопасность эксплуатации, безопасность движения рельсовых транспортных средств, функция безопасности.

Keywords: rail vehicle, string transportation, transportation system safety, operational safety, safe movement of rail vehicles, safety function.

Для цитирования: Юницкий А.Э., Гарах В.А., Литвинович Т.С., Шевченко Д.Н. Концепция безопасности движения в струнном транспортном комплексе // Надежность. 2024. №2. С. 61-71. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2024-24-2-61-71>

For citation: Unitsky A.E., Harakh V.A., Litvinovich T.S., Shevchenko D.N. The concept of movement safety in a string transportation system. Dependability 2024;2:61-71. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2024-24-2-61-71>

Поступила: 26.01.2024 / **После доработки:** 08.04.2024 / **К печати:** 10.06.2024

Received on: 26.01.2024 / **После доработки:** 08.04.2024 / **К печати:** 10.06.2024

Введение

Важным условием успешного внедрения инновационных транспортных систем является высокий уровень безопасности перевозочного процесса. В том числе, в сравнении с существующими видами транспорта (например, концепция допустимого риска ГАМАВ [1]). Поэтому требуется уточнить понятия безопасности транспортной системы, безопасности перевозочного процесса, безопасности движения транспортных средств, определить конкретные принципы, условия, критерии с учетом опыта существующих видов транспорта.

Базовое определение безопасности как отсутствие недопустимого риска [1] для транспортных систем уточняется и детализируется в зависимости от опасностей и угроз (прежде всего – видов опасностей и их причин), характерных для того или иного вида транспорта. Наиболее полное рассмотрение составляющих безопасности дается в технических регламентах таможенного союза (ТР ТС) для инфраструктуры (рис. 1) ж.-д. транспорта [2]; для ж.-д. подвижного состава [3], где составляющие аналогичны рис. 1, но отсутствует промышленная, информационная безопасность и безопасность зданий и сооружений, дополнительно присутствует химическая безопасность; для колесных транспортных средств [4].

Для реализации (синтеза) инновационных струнных транспортных комплексов (СТК) [5, 6] требуется корректный учет всех составляющих безопасности и взаимосвязи между ними. Тем не менее, четкая систематизация составляющих безопасности транспортного комплекса (системы) в ТР ТС и ссылочных стандартах отсутствует. В частности, не уточняются различия биологической, санитарно-эпидемиологической и экологической безопасности; безопасность работы приборов и оборудования при электромагнитных воздействиях, как и термическая безопасность, рассматривается отдельно от безопасности излучений. Некоторые составляющие в ТР ТС и ссылочных стандартах определены не точно или вовсе не определены (на рис. 1 выделены полужирным).

Отдельная терминологическая проблема связана с «безопасностью движения» (поездов). Фундаментальный анализ и предложения по указанному понятию даны в работах [7, 8], где было проанализировано более 15 альтернативных формулировок; а также в монографиях [9, 10]. Но внедрение результатов проведенного анализа нельзя считать успешным: в стандарте ГОСТ Р 55056-2012 [11] присутствовали определения «Безопасность движения (эксплуатации) железнодорожного транспорта», «Безопасность движения поезда»; но они были исключены из заменяющего ГОСТ 34530-2019 [12], где



Рис. 1. Составляющие безопасности инфраструктуры ж.д. транспорта

сохранено лишь понятие «Нарушение безопасности движения».

Анализируя существующие определения «безопасности движения» [7-12] можно заметить, что некоторые из них являются весьма абстрактными или, напротив, определяют значение частного количественного показателя (например, количество происшествий), или не являются актуальными, поскольку не используют современный риск-ориентированный подход. Но главная проблема существующих определений «безопасности движения» – отсутствие конкретных (формализованных) условий безопасного движения поездов. Зачастую условия безопасности движения скрываются за принципами и алгоритмами работы используемых систем ж.-д. автоматики и телемеханики (СЖАТ) [13, 14]. А при модернизации СЖАТ эти принципы чаще не уточняются, а наследуются.

Важно представлять базовые (исходные) и элементарные (неразложимые) условия безопасности движения рельсовых транспортных средств (РТС), на основе которых можно формировать требования к новым автоматизированным системам управления (АСУ) перевозочным процессом. Также важно определить базовые функции безопасности движения, чтобы на их основе без рудиментных подсистем и функций формировать требования для СТК [5].

Основные цели работы:

1) определить базовые (исходные) и элементарные (неразложимые) условия безопасности движения РТС,

на основе которых можно:

- формировать требования к новым АСУ,
- строить новые эффективные АСУ без рудиментных подсистем и функций;

2) определить место «безопасности движения» РТС в структуре составляющих безопасности СТК.

Анализ условий и функций обеспечения безопасности движения РТС

Для достижения поставленных целей были проанализированы определения отдельных видов нарушений безопасности движения поездов (табл. 1), перечисленные в пособии [8]; функции обеспечения безопасного движения поездов (АТР-функции, Automatic Train Protection), предусматриваемые пятью специализированными стандартами для рельсового транспорта [15-19]; а также статья [20], в которой помимо принципов построения безопасных систем автоведения указываются некоторые функции и условия безопасности движения автотранспорта (рулевое управление, торможение/ускорение, обнаружение и реакция на подвижные и неподвижные препятствия, помощь в соблюдении дистанции, формирование автоколонн, удержание на полосе, обеспечение скоростного режима).

В табл. 2–6 приведены перечни и выполнен анализ функций безопасности движения РТС, предписываемых стандартами, соответственно:

Табл. 1. Виды нарушений безопасности движения поездов [8]

Виды нарушений безопасности движения	Комментарий
Прием поезда на занятый путь	Фактически, подача ложной разрешающей команды на движение, без предварительной подготовки маршрута
Отправление поезда на занятый перегон (блок-участок)	
Прием поезда по неготовому маршруту	
Отправление поезда по неготовому маршруту	
Уход подвижного состава на маршрут приема, отправления поезда на перегон	Несанкционированное перемещение подвижного состава без команды
Столкновение поездов и подвижного состава	Является возможным следствием других видов нарушения безопасности движения
Сход подвижного состава	Может быть обусловлен 1) превышением допустимой скорости, 2) техническими отказами (пути, подвижного состава), 3) приемом поезда по неподготовленному маршруту
Остановка поезда на перегоне с занятием его более 1 часа сверх времени, установленного расписанием	Не является опасным событием, хотя влечет экономические потери
Отцепка вагонов от поездов в пути следования по причине букс и другим техническим неисправностям	
Перекрытие разрешающего показания сигнала на запрещающее	
Развал груза в пути следования	Касается технического состояния груза и РТС
<i>Общий комментарий:</i>	
- перечень условий безопасности движения не является полным. Отсутствует функция позиционирования подвижного состава, обеспечения безопасного гарантированного торможения;	
- часть условий – лишние, фактически являются нарушением лишь безотказности перевозочного процесса, но не его безопасности	

Табл. 2. Функции АТР, регламентируемые стандартом ИЕС 62290 [16, п. 6.2.1]

Функции АТР	Комментарий
I1) обеспечение безопасного маршрута, когда все требуемые элементы пути заблокированы в определенных состояниях для беспрепятственного пропуска РТС, а также для избежания их использования другими РТС	—
I2) обеспечение безопасного интервального регулирования РТС. Безопасное интервальное регулирование движения РТС должно быть основано на принципе мгновенной остановки впередиидущего поезда. Для предотвращения столкновения между попутно следующими поездами безопасное интервальное регулирование движения поездов должно обеспечиваться таким образом, чтобы постоянно соблюдалась безопасная дистанция между поездами, превышающая длину тормозного пути	Функция не является базовой (элементарной, исходной). Фактически подразумевается следующее: - недопустимо соударение РТС между собой; - впереди идущее РТС может останавливаться мгновенно; - должна обеспечиваться функция безопасного торможения. Памятка ОСЖД по интервальному регулированию [21, п. 5.4.13] дополнительно регламентирует требование I2 с использованием функции служебного торможения и дополнительным интервалом безопасности в 300 м
I3) обеспечение безопасной скорости передвижения	—
I4) движение РТС только после получения соответствующего разрешения	Поскольку в процессе движения возможно изменение технологического и технического состояния объектов транспортной системы (РТС, стрелок и других объектов инфраструктуры), то желательна реализация периодического разрешения на движение (продолжение). Подробные рекомендации к периодичности управляющих воздействий содержатся в стандарте [22]
<i>Общий комментарий:</i> - перечень условий безопасности движения не является полным. Отсутствует функция <i>позиционирования подвижного состава</i> , которая (однако) указана в области применения стандарта ИЕС 62290	

Табл. 3. Функции АТР, регламентируемые стандартом ГОСТ Р [18, п. 5.2.1]

Функции АТР	Комментарий
G1) Интервальное регулирование движения поездов	1) позиционирование поездов рассматривается подфункцией интервального регулирования; 2) функция G1 аналогична функции M2, но в стандарте [18] отсутствуют необходимые уточнения относительно дистанции между поездами, принципа мгновенной остановки предыдущего поезда, имеющихся в ИЕС 62290 [16], а также предполагаемой к использованию функции торможения (служебное или экстренное)
G2) Обеспечение безопасной скорости движения поезда	Функция не является базовой (элементарной, исходной). Фактически подразумевается следующее: - недопустимо соударение РТС между собой; - впереди идущее РТС может останавливаться мгновенно; - должна обеспечиваться функция безопасного торможения
G3) Разрешение на движение поезда включая: установление границ разрешения на движение РТС; определение профиля скорости для обеспечения безопасности движения поезда (для движения в пределах разрешенной скорости и разрешенной дистанции для проследования); разрешение на проследование РТС по путевым сигналам	Первая подфункция аналогична функции I1 [16] обеспечения безопасного маршрута. Вторая подфункция дублирует функцию G2
G4) Контроль движения поезда, включая: определение фактической скорости движения поезда; контроль безопасной скорости движения поезда; мониторинг ограничения скорости в отдельных местах; контроль скатывания поезда; реагирование при несанкционированном движении поездов без бортовой системы	Подфункция 1 дублирует функцию позиционирования. Подфункции 2 и 3 реализуются функцией G2. Контроль скатывания реализуется функцией позиционирования. Последняя подфункция обеспечивается совместно функцией позиционирования, функцией безопасного торможения и функцией I1 обеспечение безопасного маршрута [16]
G5) Обеспечение интерфейса с системами электрической централизации и интервального регулирования	Рассматриваемая система как раз выполняет функции СЖАТ на станциях/перегонах. Вероятно, подразумевается интерфейс с внешними СЖАТ, но это спорное требование, дублирующее все прочие требования
<i>Общий комментарий:</i> - состав функций безопасности движения стандарта [18] является неполным. Отсутствует обязательная <i>функция безопасного торможения</i> и функция <i>блокировки несанкционированного открытия дверей</i> , необходимая для РТС со стоячими местами для пассажиров. С учетом дополнительных функций сцепки/расцепки локомотива [18, п. 5.2.5], функция <i>контроля целостности поезда</i> должна быть перенесена из [18, п. 5.2.6] в обязательные функции безопасности движения [18, п. 5.2.1]; - функция <i>контроля свободности пути</i> [18, п. 5.2.2], фактически используемая для установления границ разрешения на движение (функция G3), некорректно вынесена из перечня обязательных функций безопасности движения; - функции плохо структурированы, имеются многочисленные пересечения и частичные дублирования	

Табл. 4. Функции АТР, регламентируемые стандартом ANSI [17]

Функции АТР	Комментарий
A1) Обнаружение присутствия и позиционирование РТС. АСУ должна контролировать наличие каждого РТС и его координату (с заданной точностью)	
A2) Интервальное регулирование, обеспечивающее защиту от столкновений попутно следующих поездов за счет сохранения дистанции, которая постоянно обеспечивает достаточный тормозной путь для следующего поезда при условии, что идущий впереди поезд может остановиться мгновенно. Тормозной путь определяется для наихудших условий (наибольшего ускорения, наибольшей массы, наименьшего сцепления колесо-рельс, наибольшей скоростью попутного ветра, наибольшие допустимые суммарные задержки и т. п.)	Данная функция не является базовой (элементарной, исходной), а обеспечивается тремя другими функциями: - обеспечения безопасного маршрута; - обеспечение позиционирования РТС (включая направление движения); - обеспечение безопасного торможения
A3) Обнаружение непреднамеренного движения (с реализацией экстренного торможения)	—
A4) Защита от превышения скорости	—
A5) Защита от проезда допустимой границы	Данная функция обеспечивается тремя другими функциями: - обеспечения безопасного маршрута; - обеспечение позиционирования РТС; - обеспечение безопасного торможения
A6) Защита от разделения состава (опционально, для составных РТС, если составляющие индивидуально не выполняют функцию А1)	Данная функция обеспечивается двумя другими функциями: - обеспечения безопасного маршрута; - обеспечение позиционирования разделенных фрагментов РТС
A7) Защита от потери сигнала. Предусматривается наличие периодического воздействия на объекты транспортной системы, указывающего на выполнение прочих условий безопасности. Отсутствие воздействия должно инициировать переход объектов транспортной системы в защитное состояние. Например, для РТС предусматривается экстренное торможение	—
A8) Обнаружение нулевой скорости. В стандарте [17] предлагается пороговое значение 0,3 м/с	Данная функция дублирует функцию позиционирования (включая измерение скорости)
A9) Блокировка несанкционированного открытия дверей РТС. Для РТС предполагается проверка 4 условий: позиционирование перед платформой, нулевая скорость, отключение тяги, активация удерживающего или стояночного торможения	Для СТК помимо 4-х условий, указанных в стандарте [17, п. 5.1.10] дополнительно предусматривается отсутствие запрета на открытие двери от ЦСУ, который может выдаваться в нештатных ситуациях
A10) Защита от несанкционированного открытия дверей РТС или платформенных. При несанкционированном открытии дверей РТС должно инициироваться торможение. При несанкционированном открытии платформенных дверей должен запрещаться въезд РТС на станцию, или инициироваться торможение РТС, уже находящихся на станции. Восстановление автоматизированного режима перевозочного процесса должно выполняться после гарантированного устранения опасностей	Имеется большое количество других причин (связанных с отказами РТС), требующих замену точки прицельного торможения РТС и режима движения. Функция дублирует другие функции. Также функция занимается минимизацией последствий опасности, а не устранением причин
A11) Блокировка отправления РТС без проверки успешного заперания всех дверей	Это не единственная возможная причина блокировки отправления РТС. Для СТК кроме условия, указанного в стандарте [17, п. 5.1.11], предусматриваются дополнительные проверки: - наличие команды на начало движения; - отсутствие диагностируемых критических отказов, приводящих к снижению уровня безопасности выполнения перевозочного процесса; - штатное состояние подсистем РТС (достаточный заряд накопителя, объем жидкостей в гидросистемах и т. д.)
A12) Блокировка изменения направления движения	Данная функция не базовая. Она обеспечивается функциями: - обеспечения безопасного маршрута; - обеспечение позиционирования РТС (включая направление движения); - блокировка отправления
A13) Невозвратность функции экстренного торможения	Данное требование не является базовым. Кроме того, оно является спорным, учитывая, что экстренное торможение (в отличие от аварийного) является регулируемым/ контролируемым [23]. Стандарт СВТС [15] явно предусматривает отмену функции экстренного торможения после устранения причин опасностей, вызвавших активацию данной функции
A14) Блокировка стрелок. Запрещается въезд РТС на стрелку, неподготовленную для беспрепятственного проезда РТС в нужном направлении. Кроме того, блокируется изменение состояния стрелки, подготовленной для проследования некоторого РТС	Данная функция дублирует функцию обеспечения безопасного маршрута
<i>Общий комментарий:</i> многие функции не являются базовыми; часть функций дублируется	

Табл. 5. Функции АТР, регламентируемые стандартом СВТС [15, п. 6.1]

Функции АТР	Комментарий
С1) Определение местоположения/скорости поезда	–
С2) Безопасное интервальное регулирование с соблюдением следующих принципов: - возможна мгновенная остановка впередиидущего РТС; - расчет АТР-профиля для существующих скоростных ограничений трассы и команды на движение с обозначенной границей разрешения движения и модели безопасного торможения с использованием функции экстренного торможения	Функция не является базовой (элементарной, исходной). Фактически подразумевается следующее: - недопустимо соударение РТС между собой; - впередиидущее РТС может останавливаться мгновенно; - должна обеспечиваться функция безопасного торможения
С3) Защита от превышения скорости и обеспечение торможения	Данная функция не является базовой, очевидно разделяется на две. Причем функция обеспечения безопасной кривой торможения используется и в других функциях безопасности СВТС (например, С2)
С4) Защита от отката РТС (назад)	Несанкционированное движение РТС в противоположном направлении в целом более опасно, чем несанкционированное движение в установленном направлении, но вызывает сомнение необходимость выделения отдельной функции взамен совокупности функций: - позиционирования; - обеспечение гарантированного торможения; - построения маршрута (для следующего РТС с учетом новой позиции откатившегося РТС)
С5) Защита от предела пути	Данная функция является производной от функций: - позиционирования; - построения маршрута (для данного РТС); - обеспечение гарантированного торможения
С6) Защита разделения и сцепка/расцепка поездов	–
С7) Определение нулевой скорости	–
С8) Блокировка несанкционированного открытия двери РТС	–
С9) Блокировка начала движения РТС	–
С10) Экстренное торможение	Использование данной функции предполагается при расчете АТР-профиля (функция С2)
С11) Замыкание маршрута	Данная функция аналогична функции П
С12) Блокировка изменения направления движения	–
С13) Защита рабочей зоны	Данная функция предусматривает использование временных ограничений и ограничений, устанавливаемых вручную
С14) Контроль исправности путевой структуры	Данная функция должна реализовываться не только для путевой структуры, но и для подвижного состава и для прочих объектов инфраструктуры, обеспечивающих перевозочный процесс (станционные ворота, платформенные двери, стрелки и т. д.). Данная функция не базовая. Она может реализовываться базовыми функциями: - периодическое разрешение на движение; - работа с маршрутами
С15) Переездная сигнализация	Данная функция не требуется для СТК, не имеющего пересечения в одном уровне с другими видами транспорта
С16) Защита ограничения маршрута	–
<i>Общий комментарий:</i> многие функции не являются базовыми; часть функций дублируется	

Табл. 6. Функции АТР, регламентируемые стандартом IMA [19, п. 11.1]

Функции АТР	Комментарий
М1) Определение (только) местоположения поезда	Определение скорости выделено в отдельную функцию; определение направления движения РТС не включено в перечень
М2) Безопасное интервальное регулирование с соблюдением следующих принципов: - в штатных алгоритмах используется служебное торможение, а в нештатных ситуациях – возможно экстренное торможение; - обеспечение функции безопасного торможения в соответствии с СВТС [15]	Кроме торможения функция М2 ничего не предполагает
М3) Блокировка несанкционированного движения с использованием безвозвратного экстренного торможения (отмена персоналом)	Невозвратность экстренного торможения спорна и противоречит СВТС [15]
М4) Защита от превышения скорости	–
М5) Защита от разделения поезда с использованием невозвратного экстренного торможения каждой части	Актуальность и невозвратность экстренного торможения спорны, особенно для частей с независимым позиционированием и управлением
М6) Безотказная и безопасная передача сообщений на/от подвижной состав. Предполагается периодическая передача разрешения на движение	По описанию функция схожа с функцией А7 Защита от потери сигнала. Функция дублирует функцию М3
М7) Блокировка несанкционированного открытия дверей РТС	–
М8) Открытие дверей при выполнении ряда условий, аналогичных функции А10 [17, п. 5.1.10]	–
М9) Блокировка отправления РТС при несоответствии технологического состояния дверей (закрыты и заперты) и тормозной системы (выключена)	Не рассмотрены другие подсистемы РТС, а также техническое состояние (наличие критических отказов) РТС
М10) Управление платформенными дверями	Функция спорно внесена в перечень функций безопасности; должна быть обоснована с учетом условий эксплуатации станции
М11) Блокировка участков пути на станции при неисправности платформенных дверей	Производная от функции обеспечения безопасного маршрута
М12) Блокировка обратного движения	Не введена функция определения направления движения
М13) Блокировка маршрутов	Функция аналогична функции П1 обеспечения безопасного маршрута
М14) Предотвращение отказа функции служебного торможения	Функция аналогична «обеспечению безопасного торможения» функцией М2
М15) Измерение скорости	Реализация данной функции непосредственно связана с определением местоположения РТС. Поэтому целесообразно объединение функций М1 и М15
М16) Защита конца пути	По описанию функция схожа с функцией С5
М17) Обнаружение дверей объекта и реагирование на них [19, п. 11.1.17].	Функция не определена
М18) Обнаружение препятствий при движении	С учетом наличия функции М13 данную функцию стоит вынести из перечня функций безопасности движения
М19) Безопасное управление стрелками	–
М20) Блокировка аварийного отпирания двери РТС изнутри	–
<i>Общий комментарий:</i> многие функции не являются базовыми; часть функций дублируется	

- IEC 62290-1:2014 [16] – стандарт по системам управления и контроля городским и пригородным ж.-д. транспортом (UGTMS);
- ГОСТ Р 70059-2022 [18] – стандарт, базирующийся на стандарте UGTMS;
- ANSI / ASCE / T&DI 21:2021 [17] – стандарт по перспективным видам рельсового транспорта;
- IEEE 1474.1:2004 [15] – стандарт по управлению поездами на основе радиосвязи (CBTC);
- стандарт международной ассоциации монорельсовых дорог (ИМА) [19].

Предлагаемый набор условий и базовых АТР-функций СТК

На основе проведенного анализа (см. комментарии в табл. 1–6) предлагается следующий состав условий и базовых функций безопасности движения РТС для их реализации АСУ в условиях СТК.

Условие 1. Недопустимо соударение РТС с препятствиями (другими РТС, объектами инфраструктуры).

Условие 2. Возможна мгновенная остановка (впереди) движущегося РТС [15–17, 21].

U1) Позиционирование РТС: определение местоположения, скорости и направления движения каждого отдельного РТС с установленной точностью.

Примечание. Многомодульные (разделяемые) РТС должны обеспечивать независимое позиционирование каждого отдельного модуля (в противном случае список базовых функций должен быть дополнен функцией защиты от разделения состава).

U2) Защита от превышения скорости движения, установленной для каждого конкретного участка трассы с учетом его особенностей и технических характеристик РТС.

U3) Обеспечение безопасного торможения РТС, используемого в алгоритмах автоведения и интервального регулирования, с учетом всех задержек и составляющих, предусмотренных СВТС [15], а также с учетом гарантированных значений замедления, реализуемых для конкретного участка трассы и наихудших погодных условий (как предусмотрено стандартами [16, 17]) функцией служебного торможения (как предусмотрено стандартами [16, 17, 19, 21]) при наихудшем одиночном отказе тормозного оборудования (как предусмотрено стандартом [17]).

Примечание. Функция служебного торможения реализуется «рабочим» тормозным оборудованием РТС, не влекущим повышенный износ подвижного состава и путевой структуры, допускает отмену функции торможения и многократное повторное применение. Функции экстренного и аварийного торможения [23] предусматриваются для остановки РТС в качестве дополнительной эшелонированной защиты в нештатных ситуациях.

U4) Обеспечение безопасного маршрута, когда все требуемые участки пути и автоматизированные объекты инфраструктуры (стрелки и др.) заблокированы в определенных состояниях для беспрепятственного пропуска конкретного РТС, а также для исключения их использования другими РТС.

U5) Обеспечение движения РТС (продолжение или возобновление) только по команде, соответствующей подготовленному безопасному маршруту.

Примечание. Поскольку в процессе движения возможно изменение технологического и технического состояния объектов транспортной системы (РТС, стрелок и других объектов инфраструктуры), то команда

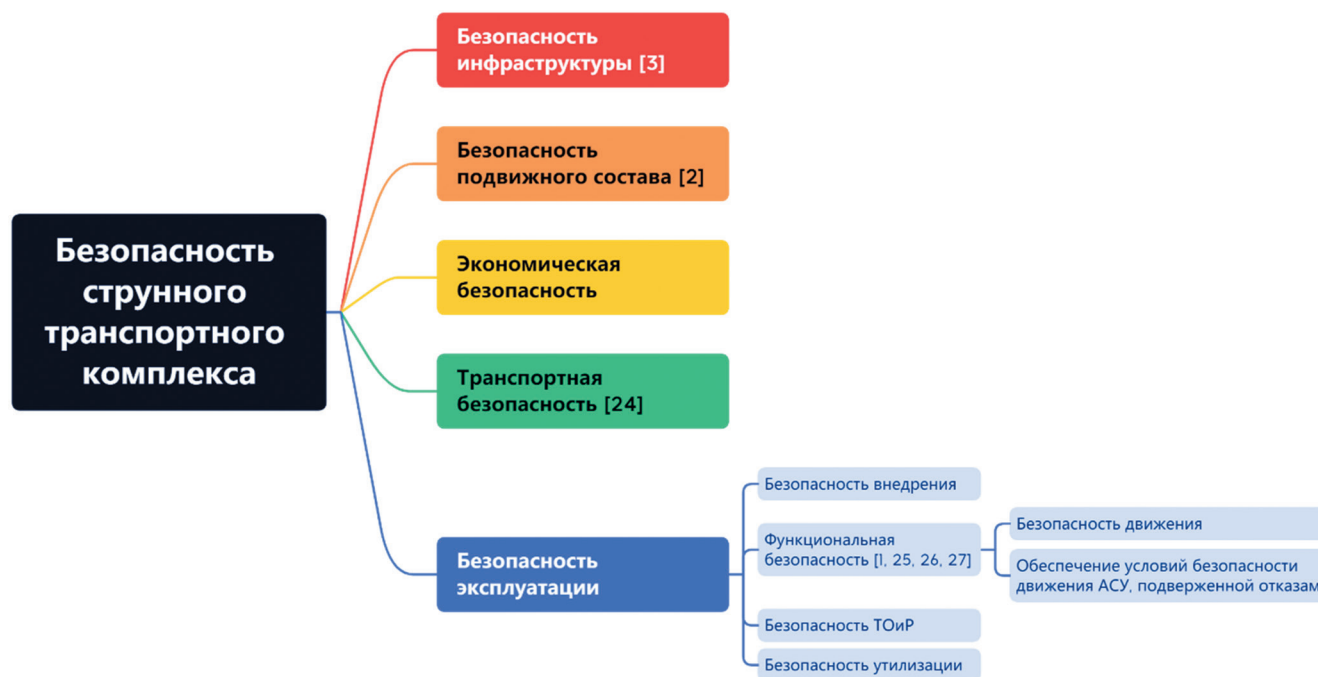


Рис. 2. Составляющие безопасности СТК

на движение должна периодически актуализироваться (повторяться или отменяться).

У6) Блокировка начала движения при невыполнении хотя бы одного условия, связанного с технологическим (заперты двери, заряжена батарея и т.д.) и техническим состоянием РТС (нет или не диагностированы отказы).

У7) Блокировка открытия дверей при невыполнении хотя бы одного условия: позиция двери РТС соответствует платформе; скорость РТС равна нулю; отключена тяга; включена функция удерживающего или стояночного торможения; имеется команда на открытие двери РТС из центра управления.

Полнота и корректность предложенного набора базовых функций подтверждается тем, что на его основе могут быть получены функции стандартов [15–19], а также возможностью формирования прочих умозаключений об алгоритмах организации перевозочного процесса. Например, из двух условий и функции безопасности движения U3 следует, что дистанция между попутно следующими РТС должна быть не меньше гарантированной длины тормозного пути РТС. Из условия 2 и функции U1 следует, что местоположение РТС считается неизменным до тех пор, пока не получена информация о новом местоположении РТС.

Понятие и структура безопасности струнного транспортного комплекса

На основе проведенного анализа терминологии безопасности и ее применения на ж.-д. транспорте, пользуясь правом разработчика СТК и его основных компонентов (путевой структуры, подвижного состава, АСУ), сформулируем следующие определения.

Безопасность СТК – свойство СТК и его компонентов, при котором отсутствует недопустимый риск, связанный с причинением вреда жизни или здоровью людей, имуществу, а также окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений.

Безопасность эксплуатации СТК – свойство СТК, связанное с отсутствием недопустимых рисков, обусловленных технологическими процессами функционирования СТК, в частности, выполнения перевозочного процесса.

Безопасность движения РТС – свойство перевозочного процесса СТК, связанное с отсутствием недопустимых рисков, обусловленных нарушением условий и функций обеспечения безопасности движения (перечисленных в предыдущем разделе).

Также представим свое видение относительно структуры свойства безопасности СТК: предполагается учитывать все опасности, регламентируемые ТР ТС 001, ТР ТС 003, а также экономическую и транспортную безопасность [11, 24], характерные для транспортных систем (рис. 2).

Что касается взаимосвязи «безопасности эксплуатации», «безопасности движения» и «функциональной безопасности», то функциональную безопасность

предлагается рассматривать (см. рис. 2) частью безопасности эксплуатации, наряду с составляющими, характерными для этапов внедрения и утилизации, технического обслуживания и ремонта (ТОиР) объектов СТК. В свою очередь функциональную безопасность, как способность объекта выполнять все предусмотренные функции безопасности при всех предусмотренных условиях [1, 25–27] (в том числе при воздействии допустимых отказов), предлагается детализировать на «безопасность движения» (соответствующие условия и функции были рассмотрены выше), а также обеспечение условий безопасности движения при наличии отказов в компонентах СТК.

Библиографический список

1. IEC 61508-2010 Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems.
2. ТР ТС 001/2011. О безопасности железнодорожного подвижного состава: Технический регламент Таможенного союза / Евразийская экономическая комиссия. Введ. 2014-08-02. Минск: Госстандарт: БелГИСС, 2012. VI, 52 с.
3. ТР ТС 003/2011. О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта: Технический регламент Таможенного союза / Евразийская экономическая комиссия. Введ. 2014-08-02. Минск: Госстандарт: БелГИСС, 2012. VI, 56 с.
4. ТР ТС 018/2011. О безопасности колесных транспортных средств: Технический регламент Таможенного Союза / Евразийская экономическая комиссия. Введ. 2015-01-01. – URL: https://eec.eaeunion.org/upload/medialibrary/2a3/TR-TS-018_2011.pdf (дата обращения 05.04.2024).
5. Юницкий А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе. Силакрогс: ПНБпринт, 2019. 576 с.
6. Новый уровень. Как эстакадный транспорт может решить проблему пробок // Фонтанка.ру. Санкт-петербург онлайн: сайт. URL: <https://www.fontanka.ru/longreads/72841475/?erid=Kra246Hbk> (дата обращения 25.11.2023).
7. Красковский А.Е. Что понимать под термином безопасность движения? // Железнодорожный транспорт. 1996. № 9. С. 39–41.
8. Пищик Ф.П. Безопасность движения на железнодорожном транспорте: учеб. пособие. Гомель: БелГУТ, 2009. 267 с.
9. Прогрессивные технологии обеспечения безопасности движения поездов и сохранности грузов: монография / В.А. Гапанович, И.И. Галиев, Ю.И. Матяш, В.П. Клюка. М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на ж.-д. транспорте», 2008. 220 с.
10. Замышляев А.М. Прикладные информационные системы управления надежностью, безопасностью, рисками и ресурсами на железнодорожном транспорте / А.М.Замышляев. Ульяновск: Областная типография «Печатный двор», 2013. 143 с.

11. ГОСТ Р 55056-2012 Транспорт железнодорожный. Основные понятия. Термины и определения (стандарт отменен). М.: Стандартинформ, 2013. IV, 49 с.

12. ГОСТ 34530-2019 Транспорт железнодорожный. Основные понятия. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2019. IV, 49 с.

13. ГОСТ 33894-2016 Системы железнодорожной автоматики и телемеханики на железнодорожных станциях. Требования безопасности и методы контроля. М.: Стандартинформ, 2019. IV, 26 с.

14. ГОСТ 33895-2016 Системы железнодорожной автоматики и телемеханики на перегонах железнодорожных линий. Требования безопасности и методы контроля. М.: Стандартинформ, 2019. IV, 10 с.

15. IEEE 1474.1-2004 Standard for Communications-Based Train Control (CBTC) Performance and Functional Requirements. Управление поездами на основе связи. Требования к реализации и функциям.

16. IEC 62290-1:2014, Railway applications – Urban guided transport management and command/control systems – Part 1: System principles and fundamental concepts. Системы управления и контроля для ж.-д. пассажирских перевозок в городском и пригородном сообщении. Часть 1. Принципы и фундаментальные концепции построения.

17. ANSI / ASCE / T & DI 21 – 2021 Automated People Mover Standards.

18. ГОСТ Р 70059-2022 Системы управления и контроля ж.-д. транспорта для перевозок пассажиров в пригородном сообщении. Принципы построения и основные функциональные требования. М.: Российский институт стандартизации, 2022. IV, 11 с.

19. Performance Specification for a Turnkey Mass Transit Monorail System / IMA – 2022.

20. Шебе Х. Автономное вождение. О способах применения принципов безопасности // Надежность. 2019. № 3. С. 21-33.

21. Памятка Р817. Эксплуатационно-технические требования к системам интервального регулирования движения поездов на перегонах. Комитет ОСЖД. Варшава. Дата вступления в силу: 21 октября 2016 г.

22. IEEE 1474.3-2008 Recommended Practice for Communications-Based Train Control (CBTC). System Design and Functional Allocations.

23. EN 13452-1:2003 Railway applications. Braking. Mass transit brake systems – Part 1: Performance requirements.

24. Федеральный закон РФ «О транспортной безопасности» от 09.02.2007 № 16-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. 2007. № 7. Ст. 837.

25. ГОСТ 33432-2015 Безопасность функциональная. Политика, программа обеспечения безопасности. Доказательство безопасности объектов железнодорожного транспорта. М.: Стандартинформ, 2019. IV, 23 с.

26. EN 50126-1:2017 Железные дороги. Требования и подтверждение надежности, готовности к эксплуатации, ремонтпригодности и безопасности (RAMS) – Часть 1: Общий процесс обеспечения RAMS.

27. Шубинский И.Б. Функциональная безопасность систем управления на железнодорожном транспорте: монография / И.Б. Шубинский, Е.Н. Розенберг. Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. 360 с.

References

1. IEC 61508-2010 Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems.

2. TR CU 001/2011. On the safety of railway rolling stock: Technical Regulations of the Customs Union / Eurasian Economic Union. Effective since 2014-08-02. Minsk: Gosstandart: BelGISS; 2012. (in Russ.).

3. TR CU 003/2011. On the safety of railway infrastructure: Technical Regulations of the Customs Union / Eurasian Economic Union. Effective since 2014-08-02. Minsk: Gosstandart: BelGISS; 2012. (in Russ.).

4. TR CU 018/2011. On the safety of wheeled vehicles: Technical Regulations of the Customs Union / Eurasian Economic Union. Effective since 2015-01-01. (accessed 05.04.2024). Available at: https://eec.eaeunion.org/upload/medialibrary/2a3/TR-TS-018_2011.pdf. (in Russ.).

5. Unitsky A.E. [String transportation systems: on Earth and in Space]. Silakrogs: PNBprint; 2019. (in Russ.).

6. [A new level. How overhead railways can solve the problem of traffic jams]. (accessed 25.11.2023). Available at: <https://www.fontanka.ru/longreads/72841475/?erid=Kra246Hbk>. (in Russ.).

7. Kraskovsky A.E. [What is meant by the term traffic safety?]. *Zheleznodorozhny transport* 1996;9:39-41. (in Russ.).

8. Pishchik F.P. [Railway traffic safety: a textbook]. Gomel: BelGUT; 2009. (in Russ.).

9. Gapanovich V.A., Galiev I.I., Matyash Yu.I., Klyuka V.P. [Advanced technologies for train protection and cargo safety: a monograph]. Moscow: [State Educational Institution Railway Transportation Training Centre]; 2008. (in Russ.).

10. Zamyshliaev A.M. [Applied information systems for managing dependability, safety, risks, and resources in railway transportation]. Ulianovsk: Oblastnaya tipografia Pechatny dvor; 2013. (in Russ.)

11. GOST R 55056-2012 Railway transport. General. Terms and definitions (standard abolished). Moscow: Standartinform; 2013. (in Russ.).

12. GOST R 34530-2019 Railway transport. General. Terms and definitions. Moscow: Standartinform; 2019. (in Russ.).

13. GOST 33894-2016 Railway automatics and telemechanics systems on railway stations. Safety requirements and methods of checking. Moscow: Standartinform; 2019. (in Russ.).

14. GOST 33895-2016 Railway automatics and telemechanics systems on stages of railroad lines. Safety requirements and methods of checking. Moscow: Standartinform; 2019. (in Russ.).

15. IEEE 1474.1-2004 Standard for Communications-Based Train Control (CBTC) Performance and Functional Requirements.

16. IEC 62290-1:2014, Railway applications – Urban guided transport management and command/control systems – Part 1: System principles and fundamental concepts.

17. ANSI / ASCE / T & DI 21 – 2021 Automated People Mover Standards.

18. GOST R 70059-2022 Management and command/control systems for suburban railway passenger transport. Construction principles and general functional requirements. Moscow: Russian Standardization Institute; 2022. (in Russ.).

19. Performance Specification for a Turnkey Mass Transit Monorail System. IMA; 2022.

20. Schäbe H. Autonomous Driving – How to Apply Safety Principles. *Dependability* 3;3:21-33.

21. Leaflet R817. [Operational and technical requirements for open line train separation systems. The OSJD Committee. Warsaw. Effective date: October 21, 2016]. (in Russ.).

22. IEEE 1474.3-2008 Recommended Practice for Communications-Based Train Control (CBTC). System Design and Functional Allocations.

23. EN 13452-1:2003 Railway applications. Braking. Mass transit brake systems – Part 1: Performance requirements.

24. [Federal Law of the Russian Federation On Transportation Security dated 09.02.2007 no. 16-FZ]. *Collection of Legislation of the Russian Federation* 2007;7;837. (in Russ.).

25. GOST 33432-2015. Functional safety. Policy and program of safety provision. Safety proof of the railway objects. Moscow: Standartinform; 2019. (in Russ.).

26. EN 50126-1:2017 Railway Applications – The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) – Part 1: Generic RAMS Process.

27. Shubinsky I.B., Rozenberg E.N. [Functional safety of control systems in railway transportation]. Moscow, Vologda: Infra-Inzheneria; 2023. (in Russ.).

Сведения об авторах

Юницкий Анатолий Эдуардович – генеральный конструктор ЗАО «Струнные технологии», ул. Железнодорожная, д. 33, г. Минск, Республика Беларусь, 220089.

Гарах Виктор Александрович – заместитель генерального конструктора по транспортным комплексам

ЗАО «Струнные технологии», ул. Железнодорожная, д. 33, г. Минск, Республика Беларусь, 220089.

Литвинович Тимофей Святославович – руководитель группы АСУ перевозочным процессом ЗАО «Струнные технологии», ул. Железнодорожная, д. 33, г. Минск, Республика Беларусь, 220089.

Шевченко Дмитрий Николаевич – кандидат технических наук, доцент, главный специалист ЗАО «Струнные технологии», Железнодорожная, д. 33, г. Минск, Республика Беларусь, 220089, e-mail: shevchenkodn@yandex.ru; d.shevchenko@unitsky.com

About the authors

Anatoli E. Unitsky, General Designer, Unitsky String Technologies Inc., 33 Zheleznodorozhnaya St., Minsk, 220089, Republic of Belarus.

Viktar A. Harakh, Deputy General Designer for Transport Complexes, Unitsky String Technologies Inc., 33 Zheleznodorozhnaya St., Minsk, 220089, Republic of Belarus.

Timofey S. Litvinovich, Team Leader Automated Traffic Management Systems, Unitsky String Technologies Inc., 33 Zheleznodorozhnaya St., Minsk, 220089, Republic of Belarus.

Dmitriy N. Shevchenko, Candidate of Engineering, Associate Professor, Chief Specialist, Unitsky String Technologies Inc., 33 Zheleznodorozhnaya St., Minsk, 220089, Republic of Belarus, e-mail: d.shevchenko@unitsky.com.

Вклад авторов в статью

Юницкий А.Э. – постановка задач и целей исследования, контроль результатов.

Гарах В.А. – подбор источников информации, обсуждение промежуточных результатов.

Литвинович Т.С. – анализ источников информации, обсуждение перечня функций, особенностей их реализации.

Шевченко Д.Н. – анализ источников информации, предложения по перечню функций безопасности движения, терминологии.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.