



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ
УДК 681.518.5+656.1/.5
DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-13>

Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 5 (108). С. 116–125

Технологические основы информационного сопряжения систем мониторинга искусственных сооружений автомобильных дорог с интеллектуальными транспортными системами



Дмитрий ЕФАНОВ



Евгений МИХАЙЛЮТА



Артём ПАШУКОВ

Дмитрий Викторович Ефанов¹, Евгений Михайлович Михайлюта², Артём Валерьевич Пашуков³

^{1,2} Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ Петра Великого), Санкт-Петербург, Россия.

¹ Научно-исследовательский и проектный институт транспортной и строительной безопасности, Санкт-Петербург, Россия.

^{1,3} Российский университет транспорта, Москва, Россия.

¹ Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Республика Узбекистан.

✉ ¹ TrES-4b@yandex.ru.

¹ ORCID 0000-0002-4563-6411; Researcher ID: A-1096-2017; Scopus ID: 36349091500; Author ID: 320051.

² SPIN-код: 5191-7298, Author ID: 1220988.

³ Scopus ID: 57337153300; SPIN-код: 4189-4012.

АННОТАЦИЯ

Описываются технологические основы информационного сопряжения систем мониторинга искусственных сооружений автомобильных дорог с интеллектуальными транспортными системами. Разработаны физическая и функциональная архитектуры информационного сопряжения данных систем.

Отмечаются возможности использования данных мониторинга для автоматического запуска сценариев для нештатного ситуационного управления дорожным движением.

Ключевые слова: интеллектуальная транспортная система; система мониторинга инженерных конструкций; информационное сопряжение систем; автоматическое ситуационное управление; использование данных мониторинга для запуска сценариев.

Разработана математическая модель, описывающая особенности переключения режимов управления дорожным движением.

Описаны шаги по реализации предназначенного для этого цифрового устройства. Сформирован простейший алгоритм диагностирования и активации сценария при опасном состоянии объекта мониторинга.

Результаты представленной работы целесообразно учитывать при разработке интеллектуальных транспортных систем в автодорожной отрасли в целях совершенствования уровня безопасности дорожного движения.

Для цитирования: Ефанов Д. В., Михайлюта Е. М., Пашуков А. В. Технологические основы информационного сопряжения систем мониторинга искусственных сооружений автомобильных дорог с интеллектуальными транспортными системами // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 5 (108). С. 116–125. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-13>.

Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие регионов и городов идёт по пути интеллектуализации процессов и создания «умных» систем и подсистем, способных к самоадаптации и к предоставлению пользователям расширенного набора сервисов [1; 2]. Всё это в полной мере характеризует и транспортные системы регионов и городов.

Использование интеллектуальных транспортных систем (ИТС) на автомобильном транспорте позволяет совершенствовать принципы регулирования дорожного движения и, что немаловажно, повышать безопасность перевозочного процесса. ИТС внедряются по всему миру, включая автомобильные дороги Российской Федерации [3; 4].

ИТС реализуются с использованием разнообразных технических средств, позволяющих предоставлять участникам движения (коммерческого, корпоративного и социального сегментов) различные инфокоммуникационные сервисы: от автоматического взимания платы за проезд и управления стоянками до оптимизации транспортных потоков в зависимости от загруженности дорог [5]. Роль ИТС в системе движения на дорожных артериях крупных городов, вообще, невосполнима, поскольку именно использование предоставляемых ими сервисов позволяет пользователям существенно экономить временной ресурс.

ИТС включают в себя аппаратные и программные составляющие, в том числе устройства мониторинга транспортных средств, транспортных потоков и объектов инфраструктурного комплекса. Требования к функциональной и физической архитектурам ИТС приведены в ГОСТ Р 56294–2014 «Интеллектуальные транспортные системы. Требования к функциональной и физической архитектурам интеллектуальных транспортных систем». Для достижения целей управления ИТС используют сценарии, позволяющие реализовывать штатный и нештатный режимы управления. Штатный режим управления позволяет управлять дорожным движением в соответствии с запланированной работой, нештатный – в зависимости от сложившейся ситуации. Нештатное управление может быть оперативным и ситуационным: под первым понимают управление, требующее запланированного вмешательства (к примеру, выделение приоритета для отдельных видов транспорта), а под вторым – управление, требующее незапланированного вмешательства в работу системы

(например, управление при возникновении дорожно-транспортного происшествия).

На автомобильных дорогах, где присутствуют сложные и уникальные технические сооружения, часто внедряются системы мониторинга инженерных конструкций (СМИК) (или же более функциональные структурированные системы мониторинга и управления инженерными системами (СМИС), в структуры которых входит, как правило, и СМИК [6]), позволяющие в реальном масштабе времени анализировать их техническое состояние.

В нормативном документе ГОСТ Р 59200–2021 «Дороги автомобильные общего пользования. Мосты и трубы. Капитальный ремонт, ремонт и содержание. Технические правила» в п. 7.2.9 указывается, что управление состоянием мостовых сооружений, в том числе, осуществляют с использованием систем мониторинга технического состояния строительных сооружений с учетом требований ГОСТ Р 22.1.12 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Общие требования», а в п. 7.2.10 указывается, какие именно мостовые сооружения являются объектами мониторинга:

- с большими пролетами (длиной более 100 м);
- большой высоты (высота опор более 40 м);
- со сложными конструктивными решениями и особенностями (висячих или вантовых систем, совмещённых и разводных);
- эксплуатируемые в сложных инженерно-геологических, сейсмических или климатических условиях;
- после строительства, реконструкции, модернизации или ремонта, осуществлённых с использованием новых технологий, конструкций и материалов;
- эксплуатируемые в аварийном состоянии, вызванном чрезвычайными обстоятельствами в период ликвидации аварийных ситуаций.

Системами автоматизированного мониторинга оснащены многие объекты по всему миру, наиболее часто к ним относятся мостовые сооружения [7–9]. В России, например, системами автоматизированного мониторинга оборудованы транспортный переход через Керченский пролив [10], мостовой переход на остров Русский через пролив Босфор Восточный [11], мостовой переход через реку Пур



в Ямало-Ненецком автономном округе [12] и многие другие объекты. Использование данных систем даёт возможность выявления развития критических ситуаций, связанных с эксплуатацией объектов мониторинга и соответствующего оперативного вмешательства в управление дорожным движением.

За счёт использования СМИК можно было бы предотвратить большое количество крупных аварий и катастроф, например, известную катастрофу моста Моранди в Италии, произошедшую 14 августа 2018 года, когда один из пролетов моста обрушился вместе с десятками автомобилей, что привело к гибели людей¹. ИТС могли бы реализовывать нештатное ситуационное управление с учетом работы действующих на автомобильных дорогах СМИК. Тем не менее, пока такая увязка в полной мере не осуществлена – результаты мониторинга конструкций анализируются диспетчерским персоналом и автоматически не используются при реализации сценариев для управления дорожным движением. Более того, на нормативном уровне в автодорожной области информационное сопряжение не регламентировано (нет действующих межгосударственных и национальных стандартов, а также отраслевых дорожных методических документов).

Данная статья посвящена изложению технологических особенностей информационного сопряжения СМИК и ИТС, позволяющего в перспективе ближайшего будущего автоматически запускать сценарии нештатного ситуационного управления на автомобильных дорогах при критических изменениях состояний объектов мониторинга.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Информационное сопряжение систем мониторинга и управления

Предварительно необходимо отметить несколько важных аспектов в части эксплуатации СМИК.

Во-первых, данные системы не сертифицируются на уровне полноты безопасности и зачастую дают результаты с невысокой достоверностью, что, несомненно, требуется учитывать при использовании данных мониторинга в управлении какими-либо ответственными технологическими процессами. Поэтому на СМИК должны в обязательном

порядке накладываться требования по достоверности фиксации так называемых диагностических событий – событий, которые наступают в процессе эксплуатации объекта мониторинга. В автодорожной отрасли необходимо на нормативном уровне регулировать процедуру реализации СМИК с требуемым уровнем полноты безопасности.

Во-вторых, в самих ИТС должны присутствовать средства аналитики данных от СМИК (или же данные должны учитываться в каких-либо внешних платформах аналитики до передачи их в аппаратно-программные комплексы ИТС) – к примеру, данные от СМИК и от средств мониторинга загруженности автомобильной дороги никак совместно не обрабатываются, что не даёт возможности фиксации точной причины нагрузки на объект мониторинга и, соответственно, не даёт возможности учёта данных мониторинга при реализации дополнительных сценариев управления дорожным движением.

В-третьих, требуется установить перечень критических диагностических ситуаций, вызывающих изменения в режимах управления дорожным движением и переводящих транспортный комплекс в опасное состояние. К примеру, выделение как минимум одной диагностической ситуации, которая связана с переходом объекта мониторинга в опасное состояние, не гарантирующее безопасную его эксплуатацию.

Учитывая эти аспекты, перейдем к описанию архитектуры информационного сопряжения систем мониторинга и управления, а также к технологическим основам информационного сопряжения.

Прежде всего, отметим, что данная задача уже не один раз поднималась в смежных отраслях транспорта – на железных дорогах до сих пор нет информационного сопряжения СМИК (и других систем стационарного автоматизированного мониторинга) с системами автоматизированного управления движением поездов [13]. Однако попытки такой увязки в ОАО «РЖД» делаются, что, например, показано в [14]. Отметим, что описанное в данной работе информационное сопряжение СМИК и системы управления движением поездов безопасным являться не может, так как нормативно в отрасли не определена достоверность результатов мониторинга. Тем не менее, руководство ОАО «РЖД» уже сегодня продумывает разработку нормативной документации в части

¹ Автомобильный мост рухнул в итальянской Генуе и убил десятки людей. [Электронный ресурс]: <https://lenta.ru/news/2018/08/14/bridge/>. Доступ 01.06.2023.

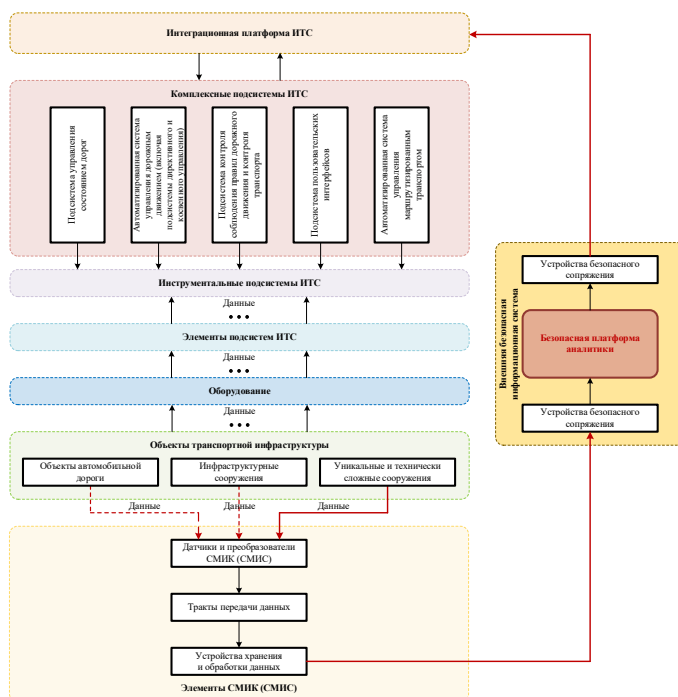


Рис. 1. Архитектура аппаратных средств [разработано авторами].

использования и эксплуатации СММК, а также интерпретации результатов мониторинга.

В [15] описаны основы создания безопасных систем управления движением поездов с информационным сопряжением с измерительными системами. Учёт наработок в области железнодорожного транспорта, где системы управления движением поездов сертифицируются на наивысший уровень полноты безопасности УПБ 4 / SIL 4, крайне важен для автодорожной отрасли.

Архитектуры информационного сопряжения систем мониторинга и управления

Определим некоторые важные функциональные требования к информационному сопряжению СММК и ИТС:

- от СММК данные поступают во внешнюю безопасную платформу аналитики, которая генерирует информационные сообщения с заданной наперед достоверностью (она должна быть регламентирована) и далее передаёт в ИТС только сигнал о тревожном уровне для объекта мониторинга (для данного примера ограничимся только таким сигналом, в реальности же можно сделать куда более глубокую градацию диагностических ситуаций);

- СММК и ИТС должны иметь совместимые протоколы для интеграции;

- данные от СММК должны иметь высокую достоверность для последующего анализа, причем данный показатель должен быть стандартизирован;

- СММК и внешняя безопасная платформа аналитики должны обрабатывать данные в реальном масштабе времени для оперативной реализации запуска сценариев в ИТС;

- информационное сопряжение должно соответствовать требованиям киберзащищённости;

- интеграция СММК и ИТС, а также взаимодействие между системами должны соответствовать стандартам безопасности и сохранности данных.

Аппаратная и функциональная архитектуры ИТС с информационным сопряжением с техническими средствами СММК приведены на рис. 1 и 2. Они разработаны авторами настоящей статьи с учётом архитектуры ИТС, приведенной в ГОСТ Р 56294-2014 «Интеллектуальные транспортные системы. Требования к функциональной и физической архитектурам интеллектуальных транспортных систем», и архитектуры СММК, приведённой в ГОСТ Р 59943-2021 «Дороги автомобильные общего пользования. Системы мониторинга мостовых сооружений. Правила проектирования».

Отметим, что системами мониторинга охватываются не все объекты инфраструк-



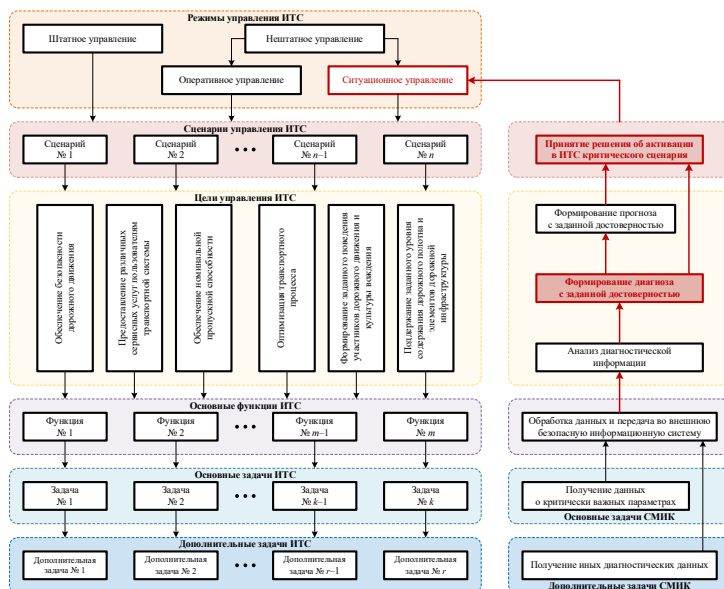


Рис. 2. Архитектура функциональных средств [разработано авторами].

туры автомобильных дорог, а только некоторые, что показано на рис. 1 сплошной стрелкой; пунктирными стрелками показаны объекты, которые не в обязательном порядке могут быть оснащены стационарными средствами мониторинга. Информационное сопряжение осуществляется через «надстройку» – безопасную платформу аналитики результатов мониторинга. Таким образом, элементы аппаратных средств ИТС фактически включают в себя элементы СММК и саму безопасную платформу аналитики и принятия решения об активации критических сценариев, соответствующих ненормативному состоянию объектов транспортной инфраструктуры.

Синтез аппаратных средств для информационного сопряжения систем мониторинга и управления

Для синтеза аппаратных средств для информационного сопряжения систем мониторинга и управления требуется определить множество состояний, в которых может находиться система. Поставим задачу следующим образом. Имеется два основных (обобщенных) режима функционирования ИТС: 1) функционирование при работоспособности объекта мониторинга; 2) функционирование при фиксации опасного состояния объекта мониторинга. Требуется синтезировать устройство переключения сценариев для управления дорожным движением.

Воспользуемся математической моделью конечного автомата [16].

На рис. 3 изображён граф переходов конечного автомата ИТС, которая в качестве подсистемы имеет СММК некоторого объекта (например, мостового сооружения). В графе каждая вершина соответствует состоянию системы, а дуги указывают на возможные переходы между состояниями. На дугах подписаны через косую черту значения входных векторов $\langle X \rangle = \langle x_1 \ x_2 \ \dots \ x_i \rangle$ и выходных $\langle Z \rangle = \langle z_1 \ z_2 \ \dots \ z_m \rangle$. При этом в каждом конкретном состоянии значения разрядов входных и выходных векторов определены однозначно, поэтому на дугах у входного вектора и выходного подписаны индексы тех состояний, в которые входят дуги.

Начальное состояние S_1 – состояние, при котором реализуется штатный режим управления, а объект мониторинга находится в работоспособном состоянии. Процесс функционирования при данном режиме продолжается, а параллельно с наперёд заданными периодами измерения τ_i СММК собирает данные от i -го числа диагностических датчиков (периоды получения данных, как правило, различные). Другими словами, через заданный период времени осуществляется переход в состояние S_2 и обратно в состояние S_1 . По мере накопления данных через заданные интервалы времени τ_d осуществляется комплексный анализ с формированием диагноза, прогноза, вычислением показателей надежности, оценкой рисков нарушения безопасности дорожного движения. То есть, происходит переход из состояния S_1 в состояние S_2 , а затем осу-

Таблица 1

Таблица переходов и выходов конечного автомата

S	$x_1 x_2 x_3 x_4$															
	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
S_1	$(S_1), 0$	~	~	~	$S_3, 0$	~	~	~	$S_2, 0$	~	~	~	~	~	~	~
S_2	$S_1, 0$	~	~	~	~	~	~	~	$(S_2), 0$	~	~	~	~	~	~	~
S_3	~	~	$S_4, 0$	~	$(S_3), 0$	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
S_4	$S_1, 0$	$S_5, 1$	$(S_4), 0$	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
S_5	~	$(S_5), 1$	~	~	~	$S_7, 1$	~	~	~	$S_6, 1$	~	~	~	~	~	~
S_6	~	$S_5, 1$	~	~	~	~	~	~	~	$(S_6), 1$	~	~	~	~	~	~
S_7	~	~	$S_8, 1$	~	~	$(S_7), 1$	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
S_8	$S_1, 0$	~	$(S_8), 1$	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~

Таблица 2

Минимизированная таблица переходов конечного автомата

S	$x_1 x_2 x_3 x_4$															
	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
S_1, S_2, S_3, S_4	$(S_1), 0$	$S_5, 1$	$(S_4), 0$	~	$(S_3), 0$	~	~	~	$(S_2), 0$	~	~	~	~	~	~	~
S_5, S_6, S_7, S_8	$S_1, 0$	$(S_5), 1$	$(S_8), 1$	~	~	$(S_7), 1$	~	~	~	$(S_6), 1$	~	~	~	~	~	~

существляется выбор режима управления – переход в состояние S_4 . В данном состоянии система находится кратковременно. Выход из него возможен путем перехода в состояние S_1 , либо же в состояние S_5 – это состояние, при котором для объекта мониторинга по данным СМИК зафиксировано критическое состояние (например, ограниченно работоспособное или вовсе неработоспособное). Назовем это состояние *опасным* для движения. В этот момент запускается сценарий нештатного ситуационного управления, связанного с ограничениями для движения через объект мониторинга. Диагностические процедуры продолжаютс. Система с заданным периодом переходит в состояние S_6 , а затем обратно – в S_5 . Затем, по мере накопления данных, осуществляется их комплексный анализ – переход из состояния S_1 в состояние S_7 . При этом период комплексного анализа может быть уменьшен $\tau_{A*} \leq \tau_A$. Далее осуществляется выбор режима функционирования ИТС – переход в состояние S_8 . Аналогично состоянию S_4 осуществляется выбор режима управления и переход в состояние S_5 , либо в состояние S_1 . Это фиксирует сама система. Но в части физической обслуживающий персонал выполняет необходимые процедуры по проверке

технического состояния объекта мониторинга и восстановительные работы, после чего ИТС, убедившись в отсутствии опасности, запускает сценарий безопасного функционирования при работоспособности объекта мониторинга. Алгоритм информационного сопряжения представлен на рис. 4.

На рис. 5 приведён один из вариантов кодирования входных и выходных векторов: x_1 – включение измерения, x_2 – включение анализа, x_3 – выбор режима управления, x_4 – активация режима управления, z – сигнализация об используемом режиме управления.

Пользуясь известной методикой синтеза конечного автомата [16], реализуем цифровое

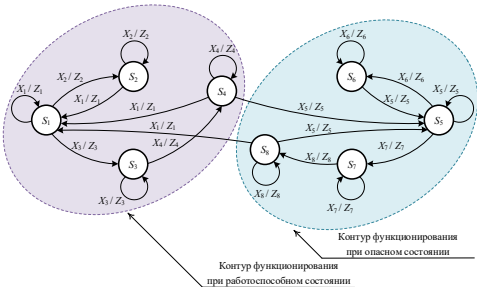


Рис. 3. Граф переходов ИТС для двух режимов функционирования объекта мониторинга [разработано авторами].



Таблица 3

Кодированная таблица переходов конечного автомата

y	x_1, x_2, x_3, x_4															
	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
0	(0), 0	1,1	(0), 0	~	(0), 0	~	~	~	(0), 0	~	~	~	~	~	~	~
1	0,0	(1), 1	(1), 1	~	~	(1), 1	~	~	~	(1), 1	~	~	~	~	~	~

Таблица 4

Таблица определения значений функций Y_S, Y_R

$y(t-1)$	$y(t)$	
	0	1
0	0~	10
1	01	~0

Таблица 5

Таблица истинности функций включения Y_S и Y_R триггеров

№	x_1, x_2, x_3, x_4, y	Y_{S1}	Y_{R1}	z
0	00000	0	~	0
1	00001	0	1	0
2	00010	1	0	1
3	00011	~	0	1
4	00100	0	~	0
5	00101	~	0	1
6	00110	~	~	~
7	00111	~	~	~
8	01000	0	~	0
9	01001	~	~	~
10	01010	~	~	~
11	01011	~	0	1
12	01100	~	~	~
13	01101	~	~	~
14	01110	~	~	~
15	01111	~	~	~
16	10000	0	~	0
17	10001	~	~	~
18	10010	~	~	~
19	10011	~	0	1
20	10100	~	~	~
21	10101	~	~	~
22	10110	~	~	~
23	10111	~	~	~
24	11000	~	~	~
25	11001	~	~	~
26	11010	~	~	~
27	11011	~	~	~
28	11100	~	~	~
29	11101	~	~	~
30	11110	~	~	~
31	11111	~	~	~



Рис. 4. Алгоритм информационного сопряжения СММК и ИТС [разработано авторами].

устройство, функционирующее согласно математической модели, представленной на рис. 5. Для этого составим таблицу переходов и выходов конечного автомата (таблица 1).

Затем минимизируем и закодируем таблицу переходов (таблицы 2 и 3).

После кодирования таблицы переходов и выходов произведем вычисления значений

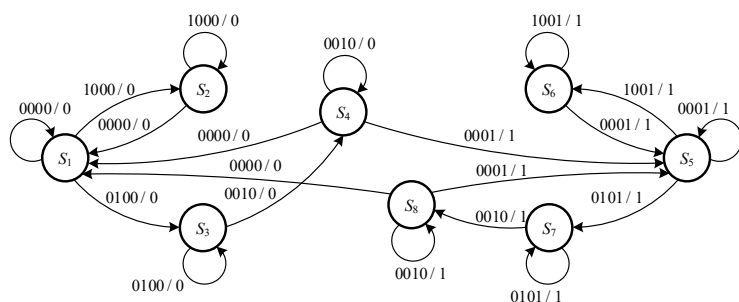


Рис. 5. Кодированный граф переходов ИТС для двух режимов функционирования объекта мониторинга [разработано авторами].

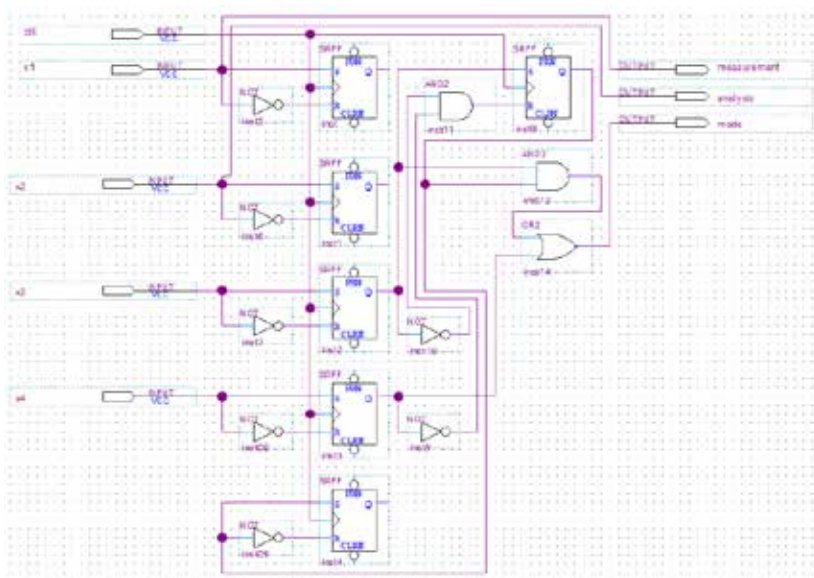


Рис. 6. Конечный автомат на RS-триггерах [разработано авторами].

функций включения элементов памяти. Используем реализацию на стандартных RS-триггерах, логика функционирования которых задана табл. 4 [16].

В табл. 4 предыдущий момент времени обозначен как $t - 1$, а действующий – как t .

Используя правила, изложенные в табл. 4, построим таблицу значений Y_S и Y_R входов RS-триггеров на всех входных комбинациях. Данные занесём в таблицу 5.

Выпишем и минимизируем функции из таблицы истинности:

$$Y_{S1} = x_4;$$

$$Y_{R1} = \overline{x_3 x_4};$$

$$z = x_4 \vee x_3 y.$$

По данным формулам на рис. 6 в среде Quartus [17] реализован конечный автомат. После минимизации он имеет вид, представленный на рис. 7.

На рис. 8 приведена временная диаграмма работы синтезированного конечного автомата в режиме прогона состояний по следующей цепочке: $S_1 \rightarrow S_2 \rightarrow S_1 \rightarrow S_3 \rightarrow S_4 \rightarrow S_5 \rightarrow S_6 \rightarrow S_5 \rightarrow S_7 \rightarrow S_8 \rightarrow S_5 \rightarrow S_7 \rightarrow S_8 \rightarrow S_1$.

На диаграмме использованы следующие обозначения: clk – синхронизирующий импульс, $x_1 - x_4$ – входы схемы, выходы «measurement», «analysis», «mode» – соответственно измерение, анализ и режим управления.

Каждое состояние – это 2 такта работы синхронизирующего импульса. Выход «Mode» («Режим») сдвинут на пол импульса из-за логики работы триггеров в схеме. Сдвиг зависит от длины синхронизирующего импульса, параметры которого могут быть настроены индивидуально под определенный тип триггеров (составляет доли секунды). Вертикальными (красными) линиями на диаграмме отмечены границы перехода из одного режима в другой.

Сам конечный автомат был синтезирован для эксперимента на программируемой



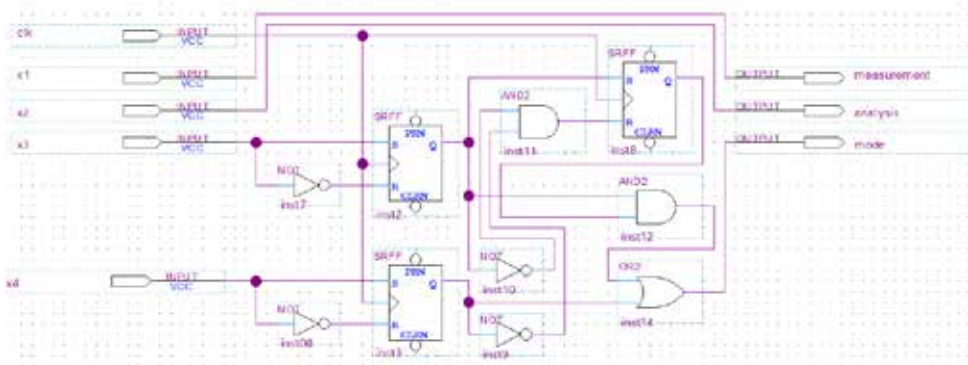


Рис. 7. Минимизированный конечный автомат на RS-триггерах [составлено авторами].

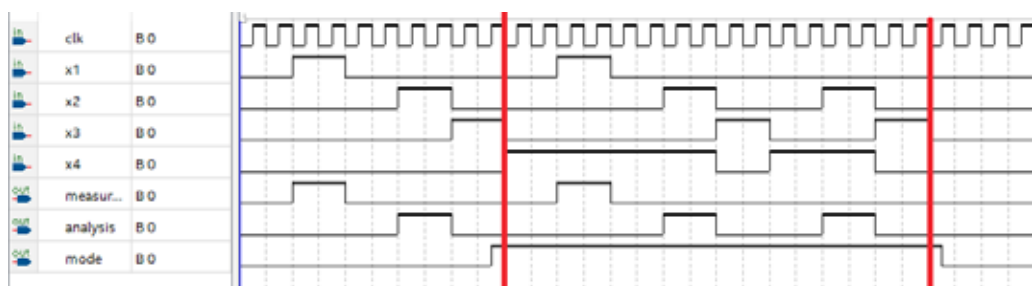


Рис. 8. Временная диаграмма работы конечного автомата [разработано авторами].

логической интегральной схеме MAX II EPM240T100C4 класса CPLD (Complex Programmable Logic Device) [18]. Данную схему авторы уже неоднократно использовали для реализации цифровых устройств управления и экспериментов [19]. Она содержит 240 элементов логики (LE), 192 макроэлемента и максимально 80 пользовательских выводов I/O. Синтезированное устройство потребовало 3 логических элементов (около 1 % от общего объема) и 8 пользовательских выводов (10 % от общего числа). Подчеркнём, что выше приведён пример реализации устройства информационного сопряжения СМИК и ИТС на RS-триггерах на схемах с программируемой логикой. При реализации устройства может использоваться как другой тип элементов памяти, так и любая элементная база. Возможна и программная реализация конечного автомата.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Информационное сопряжение СМИК и ИТС в части автоматического запуска сценариев при определении опасного состояния объекта мониторинга позволит значительно повысить безопасность дорожного движения. Представленные в настоя-

щей статье результаты по формированию математической модели устройства информационного сопряжения систем и пример аппаратной реализации могут на практике применяться при реализации тесно интегрированных СМИК и ИТС. Это, в свою очередь, даёт возможность управления надёжностью и безопасностью перевозочного процесса за счет минимизации интенсивностей отказов технических средств [20].

Обратим, однако, внимание на нерешённую до сих пор задачу обеспечения постановки диагноза (и последующего прогноза) с высокой, наперёд заданной, достоверностью. Кроме того, в автомобильной отрасли до сих пор не решена задача формирования технических требований к безопасным платформам аналитики данных и к системам автоматизированного мониторинга, включённым в обратные цепи систем управления. Решение этих и сопутствующих задач, по всей видимости, относится к перспективам ближайшего будущего.

Развитие ИТС на автомобильных дорогах Российской Федерации – стратегически и экономически важное направление деятельности научных и инженерных сообществ, приближающее нас к максимально безопасному перевозочному процессу.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Hahanov, V. Cyber Physical Computing for IoT-driven Services. New York, Springer International Publishing AG, 2018, 279 p. DOI: 10.1007/978-3-319-54825-8.
2. AI-Centric Smart City Ecosystems: Technologies, Design and Implementation. Edited by A. Khang, S. Rani, A. K. Sivaraman. CRC Press, Boca Raton, USA, 2022, 304 p. DOI: 10.1201/9781003252542.
3. Жанказиев С. В. Интеллектуальные транспортные системы. – М.: МАДИ, 2016. – 120 с. [Электронный ресурс]: <https://lib.madi.ru/fel/fel16E377.pdf>. Доступ 24.05.2023.
4. Евстигнеев И. А. Основы создания интеллектуальных транспортных систем в городских агломерациях России. – М.: СПб: Издательство «Перо», 2021. – 294 с. ISBN 978-5-00189-482-7.
5. Кяра Б. Д., Бикулько Д. Н., Фуско Г., Барабино Б., Корона Д., Росси Р., Студер Л. ИТС на автомобильном транспорте. Технологии, методы и практика применения. – М.: ООО «Типография Парадиз», 2014. – 532 с.
6. Посохов Н. Н., Сосунов И. В. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений (СМИС) – что это такое? // Мониторинг: наука и безопасность. – 2011. – № 1. – С. 12–17. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16372979>. Доступ 15.07.2023.
7. Andersen, J., Vesterinen, A. Structural Health Monitoring Systems. Denmark, COWI A/S, 2006, 125 p. [Электронный ресурс]: https://shms.dk/COWI_ISBN-87-91044-04-9.pdf. Доступ 15.07.2023.
8. Belyi, A., Shestovitskii, D., Myachin, V., Sedykh, D. Development of Automation Systems at Transport Objects of Megacity. In: Proceedings of 17th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2019), Batumi, Georgia, September 13–16, 2019, pp. 201–206. DOI: 10.1109/EWDTS.2019.8884382.
9. Sun, D. L., Shang, Z., Xia, Y., Bhowmick, S., Nagarajaiah, S. Review of Bridge Structural Health Monitoring Aided by Big Data and Artificial Intelligence: From Condition Assessment to Damage Detection. Journal of Structural Engineering, 2020, Vol. 146, Iss. 5, 04020073. DOI: 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0002535.
10. Мячин В. Н., Ефанов Д. В., Осадчий Г. В. Системы мониторинга Крымского моста // Дороги Содружества Независимых Государств. – 2022. – № 5 (100). – С. 79–81.
11. Мячин В. Н., Ефанов Д. В., Осадчий Г. В., Зуева М. В., Вадгама Х. Н. Технология анализа результатов мониторинга при эксплуатации мостового перехода на остров Русский через пролив Босфор Восточный во Владивостоке // Дороги и мосты. – 2023. – № 1 (49). – С. 177–195. [Электронный ресурс]: <https://rosdorni.ru/upload/iblock/4d6/p8vw5ls71fqjb6fwkesh884nfd4yh1q3/10-Myachin-Tekhnologiya-analiza-rezultatov-monitoringa.pdf?ysclid=lmrjtgc574523570255>. Доступ 01.06.2023.
12. Аганов И. А., Осадчий Г. В., Ефанов Д. В., Мирошниченко О. В., Кубрак В. Ю. Система мониторинга инженерных конструкций на Пуровском мосту // Транспорт Российской Федерации. – 2021. – № 5–6 (96–97). – С. 47–51. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47467323>. Доступ 01.06.2023.
13. Efanov, D., Osadchy, G., Aganov, I. Fundamentals of Implementation of Safety Movement of Trains under Integration of Control Systems with Hardware for Railway Infrastructure Facilities Monitoring. In: Proceedings of 11th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS'2021), Cracow, Poland, September 22–25, Vol. 1, pp. 391–396. DOI: 10.1109/IDAACS53288.2021.9660985.
14. РЖД: мост с первой инновационной системой непрерывного мониторинга и подключением к управлению заградительным сигналом // Мостовые сооружения. XXI век. – 2021. – № 4 (51). – С. 18–19.
15. Ефанов Д. В., Хоросhev В. В., Осадчий Г. В. Концептуальные основы синтеза безопасных систем управления движением поездов // Мир транспорта. – 2022. – Т. 20. – № 3 (100). – С. 50–57. DOI: 10.30932/1992-3252-2022-20-3-6.
16. Сапожников В. В., Сапожников Вл. В., Ефанов Д. В. Основы теории надежности и технической диагностики. – СПб.: Изд-во «Лань», 2019. – 588 с. ISBN 978-5-8114-3453-4.
17. Акчурин А. Д., Юсупов К. М., Колчев А. А. Основы работы в среде Quartus II. – Казань: КФУ, 2017. – 49 с. [Электронный ресурс]: <https://pdfslide.net/documents/-quartus-ii-.html?page=1>. Доступ 24.05.2023.
18. MAX II Device Handbook. Vol. 1. Altera Corporation, 2006, 102 p. [Электронный ресурс]: <https://www.farnell.com/datasheets/8698.pdf>. Доступ 24.05.2023.
19. Ефанов Д. В., Пашуков А. В. Синтез устройств управления железнодорожными стрелками с обнаружением неисправностей и функциями самодиагностирования на программируемых логических интегральных схемах // Наука и техника транспорта. – 2023. – № 1. – С. 82–89. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50475884&ysclid=lmhs0q5hmz23438654>. Доступ 24.05.2023.
20. Ефанов Д. В., Михайлюта Е. М. Управление надежностью и безопасностью перевозочного процесса с применением систем непрерывного мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры // Мир транспорта. – 2023. – Т. 21. – № 2 (105). – С. 84–94. EID: NKTSU. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-2-10>. ●

Информация об авторах:

Ефанов Дмитрий Викторович – доктор технических наук, профессор, действительный член Международной Академии транспорта, член Института инженеров электротехники и электроники; профессор Высшей школы транспорта Института машиностроения, материалов и транспорта Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (СПбПУ Петра Великого), Санкт-Петербург, Россия; заместитель генерального директора по научно-исследовательской работе ООО «Научно-исследовательский и проектный институт транспортной и строительной безопасности (ООО «НИПИ «ТрансСтройБезопасность»)), Санкт-Петербург, Россия; профессор кафедры автоматизации, телемеханики и связи на железнодорожном транспорте Российского государственного университета транспорта, Москва, Россия; профессор кафедры автоматизации и телемеханики Ташкентского государственного транспортного университета, Ташкент, Республика Узбекистан, TrES-4b@yandex.ru.

Михайлюта Евгений Михайлович – аспирант Высшей школы транспорта Института машиностроения, материалов и транспорта Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (СПбПУ Петра Великого), Санкт-Петербург, Россия, evgeniytmix@gmail.com.

Пашуков Артём Валерьевич – старший преподаватель кафедры автоматизации, телемеханики и связи на железнодорожном транспорте Российского университета транспорта, Москва, Россия, art_pash@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 13.06.2023, одобрена после рецензирования 07.09.2023, принята к публикации 15.11.2023.

