

# ИНТЕГРАЦИЯ СИСТЕМ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ УСТРОЙСТВ ОГРАЖДЕНИЯ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕЕЗДАХ С ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМИ ТРАНСПОРТНЫМИ СИСТЕМАМИ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ

DOI: 10.36724/2072-8735-2026-20-2-31-41

**Ефанов Дмитрий Викторович,**  
Санкт-Петербургский политехнический университет  
Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия,  
[TrES-4b@yandex.ru](mailto:TrES-4b@yandex.ru)

**Manuscript received** 11 December 2025;  
**Accepted** 14 February 2026

**Елина Есения Игоревна,**  
Санкт-Петербургский политехнический университет  
Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия,  
[eseniya-elina@mail.ru](mailto:eseniya-elina@mail.ru)

**Ключевые слова:** железнодорожный переезд;  
прогнозирование временных параметров работы  
переезда; интеллектуальная транспортная система;  
информационное сопряжение систем прогнозирования  
временных параметров работы переезда и  
интеллектуальных транспортных систем.

**Кашталинский Александр Сергеевич,**  
Санкт-Петербургский политехнический университет  
Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия,  
[ask1188@mail.ru](mailto:ask1188@mail.ru)

Предложено осуществлять информационное сопряжение систем диагностирования и прогнозирования на железнодорожном транспорте с интеллектуальными транспортными системами на автомобильных дорогах. Это позволит учесть действующие и прогнозируемые значения времен срабатывания устройств ограждения на железнодорожных переездах для оптимизации движения на автомобильных дорогах. Авторами разработано четыре метода построения систем прогнозирования временных параметров работы железнодорожного переезда: первый базируется на передаче данных в безопасную платформу аналитики с локомотивов посредством транспондеров, второй состоит в информационном сопряжении систем железнодорожной автоматики и телемеханики с интеллектуальными транспортными системами на автомобильных дорогах, третий связан с мониторингом параметров движения поезда посредством оптоволоконного кабеля и устройств расшифровки оптических сигналов, четвертый основан на использовании внешних рубежей контроля параметров движения поезда. Приведены описания каждого из методов, алгоритмы и примеры определения временных параметров работы устройств ограждения на переездах, а также их достоинства и недостатки. Представленные авторами решения целесообразно учитывать при разработке комплексных систем интеллектуального управления движением, в особенности, в крупных городах и мегаполисах.

#### Информация об авторах:

**Ефанов Дмитрий Викторович**, д.т.н., 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, г. Санкт-Петербург; профессор Высшей школы управления кибер-физическими системами Института компьютерных наук и кибербезопасности Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, г. Санкт-Петербург; ведущий научный сотрудник лаборатории проблем организации транспортных систем (лаборатория № 5) Института проблем транспорта им. Н. С. Соломенко Российской академии наук, г. Санкт-Петербург; профессор кафедры "Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте" Российского университета транспорта (МИИТ), г. Москва; профессор кафедры "Автоматика и телемеханика" Ташкентского государственного транспортного университета, г. Ташкент, Узбекистан. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4563-6411>

**Елина Есения Игоревна**, аспирант Высшей школы транспорта Института машиностроения, материалов и транспорта Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Россия. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-4167-3591>

**Кашталинский Александр Сергеевич**, к.т.н., доцент Высшей школы транспорта Института машиностроения, материалов и транспорта Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (СПбПУ Петра Великого), г. Санкт-Петербург, Россия. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4997-5055>

#### Для цитирования:

Ефанов Д. В., Елина Е. И., Кашталинский А. С. Интеграция систем прогнозирования временных параметров работы устройств ограждения на железнодорожных переездах с интеллектуальными транспортными системами на автомобильных дорогах // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2026. Том 20. №2. С. 31-41.

#### For citation:

D. V. Efanov, Y. I. Yelina, A. S. Kashtalinskiy, "Integration of Systems for Forecasting the Temporal Parameters of the Operation of Protective Devices at Railway Crossings with Intelligent Transport Systems on City Roads," *T-Comm*, 2026, vol. 20, no. 2, pp. 31-41. (in Russian)

### Введение

Железнодорожная и автодорожная транспортные системы разделены и «соприкасаются» преимущественно только в тех местах, где оказываются пересечения автомобильных и железных дорог в одном уровне – железнодорожные переезды [1]. Поскольку концепция обеспечения безопасности движения поездов подразумевает реализацию алгоритмов управления с четкой проверкой действий средствами автоматизации, а обеспечение безопасности на автомобильных дорогах базируется на соблюдении водителями правил движения, автомобильная транспортная система создает уязвимости в работе железнодорожной транспортной системы. И основным ненадежным компонентом взаимодействия двух систем является человек – водитель автотранспортного средства. Человеческий фактор является весомым в обеспечении свойства безопасности движения на железнодорожном переезде, как и в любой управляющей системе [2, 3].

Существует колоссальное количество исследований в этой связи, направленных на разработку технических решений, позволяющих заблаговременно зафиксировать нарушения на переездах со стороны автомобильного транспорта. Вот только некоторые из них [4-9]. Известны и работы, в которых модернизируются сами технические решения управляющих схем на железнодорожном транспорте [10, 11]. Но общим выходом из ситуации, конечно же, является строительство развязок автомобильных и железных дорог в разных уровнях. Это возможно не всегда, например, в районах с плотной городской застройкой или же в районах с низкой интенсивностью железнодорожного и автомобильного движения – по экономическим соображениям. На линиях высокоскоростного сообщения зачастую исключают использование переездов.

Итак, железнодорожный переезд – наиболее уязвимый компонент и железнодорожной, и автодорожной транспортных систем. Для обеспечения безопасности движения по нему используют различные технические средства ограждения движения со стороны автотранспорта (светофоры, автошлагбаумы, устройства заграждения пути, барьерные шлагбаумы) в зависимости от значимости (категории) переезда [12], а также технические средства железнодорожной автоматизации и телемеханики (ЖАТ), обеспечивающие передачу данных на движущиеся поезда: к примеру, устройства кодирования рельсовых цепей и заградительные светофоры. При расчете временных параметров срабатывания устройств ограждения на переездах учитывают множество факторов [13]. По результатам расчетов определяются временные параметры для срабатывания устройств ограждения на переездах, а также точка начала извещения о закрытии переезда для движения автомобильного транспорта и точка открытия переезда.

Современные достижения в области компьютерных и интеллектуальных технологий позволяют говорить о возможности развития методов оптимизации на автомобильных дорогах. Они базируются на получении объективных и прогнозируемых данных от объектов транспортной инфраструктуры (в том числе, разнородных), построении цифровых двойников, реализации диагностических моделей на уровне безопасных платформ аналитики данных, тесной интеграции средств мониторинга технического состояния объектов транспортной инфраструктуры и подвижных единиц, а также параметров движения последних, с интеллектуальными системами

управления. Для развития интеллектуальных транспортных систем (ИТС) на автомобильных дорогах, в особенности, в крупных городах и мегаполисах, весьма полезно было бы иметь информационное сопряжение с системами управления движением поездов. В настоящее время этого нет: как навигационные системы, так и ИТС на автомобильных дорогах не имеют ни действительных, ни прогнозируемых данных о работе объектов железнодорожного комплекса и воспринимают информацию по факту ее появления, например, по мере фиксации устройством извещения наличия поезда на подходе к переезду и включения средств ограждения для движения автомобильного транспорта. Прогнозировать в аппаратно-программных средствах ИТС данные события оказывается невозможно. Однако информационное сопряжение систем управления на железнодорожном транспорте с ИТС дало бы положительный эффект для всех видов транспорта и участников движения, поскольку обеспечило бы возможность повышения безопасности движения поездов и возможность оптимизации параметров движения автотранспортных средств.

В настоящей статье авторы приводят методы построения систем прогнозирования временных параметров работы железнодорожного переезда с информационным сопряжением с ИТС на автомобильных дорогах.

### 1 Передача данных с локомотива посредством транспондера

Технически можно использовать несколько методов для получения данных о движении поезда по железнодорожной линии для того, чтобы определить прогнозируемые времена срабатывания устройств ограждения – закрытия и открытия переезда.

Наиболее удачным, но технически самым сложным, является оснащение каждой тяговой единицы железнодорожного транспорта транспондерами, передающими данные о местоположении или напрямую скорости движения через определенные интервалы  $\tau$  времени, например, через каждые 10 с (рис. 1). Данные защищаются и передаются посредством спутниковой связи в безопасную платформу аналитики данных (БПАД), в которой имеются координаты железнодорожного переезда, точные данные о расстоянии, на котором срабатывают устройства передачи данных об извещении о закрытии переезда в системах ЖАТ (устройство  $\pi_1$  на схематичном отображении участка железнодорожного пути), точные данные о времени, за которое срабатывают устройства извещения о закрытии переезда и вычисления времени до закрытия (устройство  $\pi_2$ ), план и профиль пути.

Данные бортовых средств автоматизации управления движением локомотива в самом простом случае позволяют определять текущую скорость движения и координату по GPS/ГЛОНАСС. Это позволяет безопасной платформе аналитики данных с частотой дискретизации  $\tau$  выполнять процедуры вычисления прогнозируемого времени до закрытия переезда ( $t_p$ ), проследования к переезду ( $t_s$ ) и открытия переезда ( $t_o$ ) для движения автомобильного транспорта. Данные о временах  $t_p$ ,  $t_s$  и  $t_o$  передаются в ИТС на автомобильных дорогах в целях выбора режимов их функционирования с учетом дорожной обстановки и предстоящего закрытия переезда для движения автомобильного транспорта. Данные времен  $t_p$ ,  $t_s$  и  $t_o$  корректируются по мере обновления данных с заданным периодом  $\tau$  дискретизации.

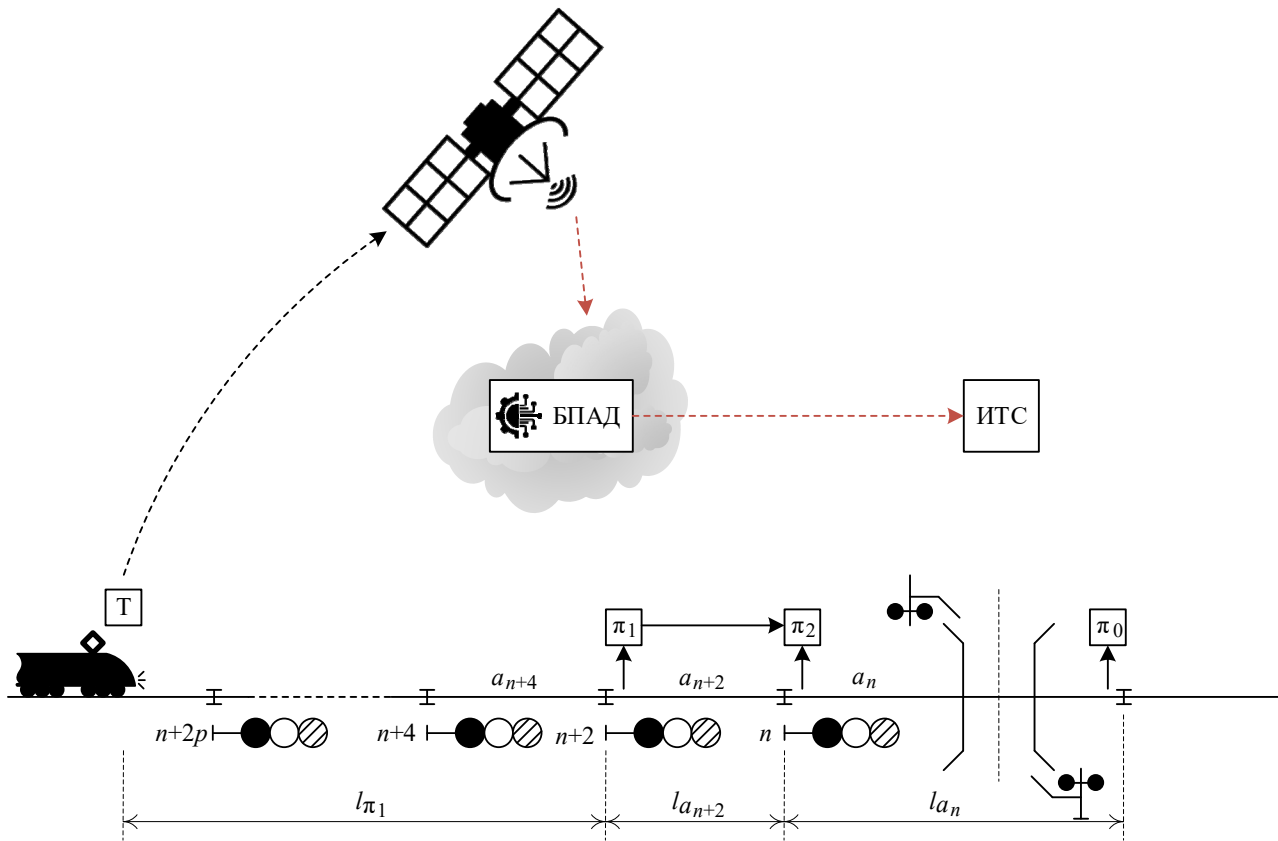


Рис. 1. Условная схема информационного сопряжения посредством транспондера, устанавливаемого в локомотиве

Из приведенного выше описания следует, что существует три основные отсечки времени, от которых можно изменить работу контроллеров светофоров в ИТС:

1. За время  $t_p$  осуществляется передача данных об изменении режимов работы светофоров на близлежащих перекрестках, движение через которые осуществляется к переезду. Это позволит оптимизировать движение транспортных средств на автомобильных дорогах с учетом предстоящего закрытия переезда для движения автотранспорта.

2. В момент времени  $t_s$  переезд закрывается для движения автомобильного транспорта. Время его закрытия определяется величиной  $(t_o - t_s)$ , где  $t_s$  и  $t_o$  – это также не фактические времена, а прогнозируемые.

3. В момент времени  $t_o$  переезд открывается для движения автомобильного транспорта.

Фактически времена  $t_p$ ,  $t_s$  и  $t_o$  определяются, исходя из зафиксированной скорости движения поезда на участке железнодорожной линии, расстояний до устройств срабатывания переездной сигнализации, а также длины поезда, определяемой его составом  $l_p$ . Расстояние  $l_{a_n}$  – это расстояние между устройствами контроля освобождения переезда (устройства  $\pi_0$ ) и устройствами включения устройств ограждения на переездах (устройства  $\pi_2$ ). Время проследования данного расстояния определяется по формуле:

$$t_o = \frac{l_{a_n}}{v_{a_n}}, \quad (1)$$

где  $v_{a_n}$  – скорость движения поезда на участке  $a_n$ .

Формула (1) предполагает равномерность движения поезда, что является некоторым частным случаем равенства  $a = 0$  ( $\text{м/с}^2$ ) ускорения движения поезда. В реальности может присутствовать отрицательное или положительное ускорение. С транспондера будет с периодом времени  $\tau$  приходиться обновленное показание скорости (сюда для простоты описания включим время передачи и обработки данных о скорости в безопасной платформе аналитики данных). Поэтому ускорение учитывать не будем. Тогда время  $t_o$  будет определяться с учетом коррекции оставшегося расстояния каждые  $\tau$  с.

**Алгоритм 1.** Определение прогнозируемого времени открытия переезда:

1. Фиксируем оставшееся расстояние до открытия переезда  $l'_{a_n} = l_0$  и скорость движения поезда в этот момент времени  $v_{(a_n)_0}$  в момент проследования точки включения устройств ограждения на переезде.

2. Устанавливаем  $i=1$ .

3. Определяем оставшееся расстояние  $l'_{(a_n)_i} = l_0 + l_p - v_{(a_n)_i} \cdot \tau$ .

4. Проверяем условие  $l'_{(a_n)_i} > 0$ . Если «да», то переходим к следующему пункту. Если «нет», переходим к п. 14.

5. Определяем прогнозируемое время до открытия переезда на шаге  $i$ :  $t_{(o)_i} = \frac{l'_{(a_n)_i}}{v_{(a_n)_i}}$ .

6. Отдаем значение  $t_{(o)_i}$  в ИТС на автомобильном транспорте.

7. Полагаем  $i:=i+1$ .

8. Фиксируем значение скорости  $v_{(a_n)_i}$  через  $\tau$  с.

9. Определяем оставшееся расстояние до открытия переезда:  $l'_{(a_n)_i} = l'_{(a_n)_{i-1}} - \tau v_{(a_n)_i}$ .

10. Проверяем условие  $l'_{(a_n)_i} > 0$ . Если «да», то переходим к следующему пункту. Если «нет», переходим к п. 14.

11. Определяем прогнозируемое время до открытия переезда на шаге  $i$ :  $t_{(o)_i} = \frac{l'_{(a_n)_i}}{v_{(a_n)_i}}$ .

12. Отдаем значение  $t_{(o)_i}$  в ИТС на автомобильном транспорте.

13. Переходим к п. 7.

14. Сбрасываем оставшееся время до нуля.

Приведем здесь пример использования алгоритма 1 для прогнозирования времени открытия переезда.

**Пример 1.** Информационное сопряжение выполнено по условной схеме, приведенной на рис. 1. Определить прогнозируемое время открытия переезда с требуемым шагом дискретизации.

**Шаг 1.** Зафиксируем исходные данные:

- период дискретизации  $\tau = 10$  (с);
- оставшееся расстояние до открытия переезда  $l_0 = 800$  (м);
- длина поезда, определяемая составом поезда  $l_p = 400$  (м);
- текущая скорость поезда  $v_{(a_n)_0} = 20$  (м/с).

**Шаг 2.** Устанавливаем шаг итерации  $i=1$ .

**Шаг 3.** Определяем оставшееся расстояние:

$$l'_{(a_n)_1} = l_0 + l_p - \tau v_{(a_n)_1} = 800 + 400 - 10 \cdot 20 = 1000 \text{ (м)}.$$

**Шаг 4.** Условие  $l'_{(a_n)_1} > 0$  выполняется. Так как  $1000 > 0$  продолжаем вычисления.

**Шаг 5.** Рассчитываем прогнозируемое время до открытия

$$\text{переезда: } t_{(o)_1} = \frac{l'_{(a_n)_1}}{v_{(a_n)_1}} = \frac{1000}{20} = 50 \text{ (с)}.$$

**Шаг 6.** Отдаем значение  $t_{(o)_1} = 50$  (с) в ИТС на автомобильном транспорте.

**Шаг 7.** Устанавливаем  $i = i+1=2$ .

**Шаг 8.** Фиксируем значение скорости. Через  $\tau=10$  (с) скорость поезда не изменилась  $v_{(a_n)_1} = v_{(a_n)_2} = 20$  (м/с).

**Шаг 9.** Производим пересчет оставшегося расстояния. Новое расстояние до переезда:  $l'_{(a_n)_2} = l'_{(a_n)_1} - \tau v_{(a_n)_2} = 1000 - 10 \cdot 20 = 800$  (м).

**Шаг 10.** Условие  $l'_{(a_n)_2} > 0$  выполняется, так как  $800 > 0$ . Продолжаем вычисления.

**Шаг 11.** Определяем прогнозируемое время до открытия переезда:  $t_{(o)_2} = \frac{l'_{(a_n)_2}}{v_{(a_n)_2}} = \frac{800}{20} = 40$  (с).

**Шаг 12.** Отдаем значение  $t_{(o)_2} = 40$  (с) в ИТС на автомобильном транспорте.

**Шаг 13.** Переходим к следующей итерации  $i = 3$ . Итерационный процесс продолжается, пока  $l'_{(a_n)_i}$  не достигнет нуля.

Расчетные данные сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Прогнозирование времени открытия переезда

Шаг итерации	$v_{(a_n)_i}$ – текущая скорость, м/с	$l'_{(a_n)_i}$ – оставшееся расстояние, м	$t_{(o)_i}$ – прогнозируемое время до открытия, с
1	20	1000	50
2	20	800	40
3	23	570	24,7
4	23	340	14,7
5	25	90	3,6
6	25	0	0

Аналогично определяется прогнозируемое время до закрытия переезда за какое-то объективное время до наступления этого события, например, за время  $t_{\max}$ . Для этого можно следовать такому алгоритму.

**Алгоритм 2.** Определение прогнозируемого времени закрытия переезда:

1. Уточняем расстояние до точки срабатывания устройств включения ограждения переезда, которое поезд пройдет с максимально установленной скоростью  $v_{\max}$  за время  $t_{\max}$ :  $l_{\max} = t_{\max} v_{\max}$ . В момент прохождения расстояния  $l_{\max}$  начинаем выполнять проверку оставшегося времени до включения устройств ограждения.

2. Полагаем  $i=0$ .

3. Фиксируем расстояние до точки включения устройств ограждения на переезде  $l_{\pi_2} = l_{\max} = l_{a_{n+2}} + l_{\pi_1}$  и скорость движения поезда в этот момент времени  $v_{(\pi_2)_i}$ .

4. Вычисляем оставшееся расстояние  $l_{(\pi_2)_i} = l_{\pi_2} - \tau v_{(\pi_2)_i}$ .

5. Проверяем оставшееся время до включения устройств ограждения при движении с действующей скоростью  $t_{(p)_i} = \frac{l_{(\pi_2)_i}}{v_{(\pi_2)_i}}$ , проходимое за время  $\tau$ .

6. Если  $t_{(p)_i} > t_{\max}$ , переходим к следующему пункту; иначе – к пункту 17.

7. Вводим предполагаемое значение расстояния  $l'_{(\pi_2)_i}$  и времени  $t'_{(p)_i}$ , которое пройдет поезд при сохранении текущей скорости. Вычисляем предполагаемое расстояние  $l'_{(\pi_2)_{i+1}} = l_{(\pi_2)_i} - \tau v_{(\pi_2)_i}$ .

8. Проверяем предполагаемое время до включения устройств ограждения при движении с действующей скоростью  $t'_{(p)_{i+1}} = \frac{l'_{(\pi_2)_{i+1}}}{v_{(\pi_2)_i}}$ , проходимое за время  $\tau$ .

9. Если  $t'_{(p)_{i+1}} > t_{\max}$ , переходим к следующему пункту; иначе – к пункту 16.

10. Полагаем  $i=i+1$ .

11. Фиксируем новую скорость поезда  $v_{(\pi_2)_i}$  через  $\tau = 10$  с.

12. Вычисляем оставшееся расстояние  $l_{(\pi_2)_i} = l_{(\pi_2)_{i-1}} - \tau v_{(\pi_2)_i}$ .

13. Вычисляем предполагаемое расстояние  $l'_{(\pi_2)_{i+1}} = l_{(\pi_2)_i} - \tau v_{(\pi_2)_i}$ .

14. Проверяем предполагаемое время до включения устройств ограждения при движении с действующей скоростью  $t'_{(p)_{i+1}} = \frac{l'_{(\pi_2)_{i+1}}}{v_{(\pi_2)_i}}$ , проходимое за время  $\tau$ .

15. Если  $t'_{(p)_{i+1}} > t_{\max}$ , переходим к п. 10; иначе – к пункту 16.

16. Принимаем  $t'_{(p)_{i+1}} = t_{(p)_i}$ .

17. Отдаем значение  $t_{(p)_i} \leq t_{\max}$  в ИТС на автомобильном транспорте.

18. Сбрасываем оставшееся время до нуля.

Приведем пример работы алгоритма 2.

**Пример 2.** Информационное сопряжение выполнено по условной схеме, приведенной на рис. 1. Определить прогнозируемое время закрытия переезда с требуемым шагом дискретизации.

**Шаг 1.** При входе поезда в зону мониторинга зафиксируем исходные данные:

- период дискретизации  $\tau = 10$  (с);
- максимальная скорость поезда  $v_{\max} = 30$  (м/с);
- текущая скорость поезда  $v_{(\pi_2)_0} = 22$  (м/с);
- прогнозируемое время до закрытия переезда  $t_{\max} = 80$  (с).

Уточняем расстояние  $l_{\max}$ :  $l_{\max} = t_{\max} v_{\max} = 80 \cdot 30 = 2400$  (м).

**Шаг 2.** Устанавливаем шаг итерации  $i=0$ .

**Шаг 3.** Фиксируем расстояние до точки включения устройств ограждения:  $l_{\pi_2} = l_{\max} = l_{a_{i+2}} + l_{\pi_1} = 2400$  (м);

Фиксируем скорость движения поезда в этот момент:  $v_{(\pi_2)_0} = 19$  (м/с).

**Шаг 4.** Найдем оставшееся расстояние:  $l_{(\pi_2)_0} = l_{\pi_2} - \tau v_{(\pi_2)_0} = 2400 - 10 \cdot 19 = 2210$  (м).

**Шаг 5.** Рассчитаем время до закрытия переезда:  $t_{(p)_0} = \frac{l_{(\pi_2)_0}}{v_{(\pi_2)_0}} = \frac{2210}{19} \approx 116,3$  (с).

**Шаг 6.** Условие  $t_{(p)_0} > t_{\max}$  выполняется. Так как  $116,3 > 80$  продолжаем вычисления.

**Шаг 7.** Найдем предполагаемое расстояние:  $l'_{(\pi_2)_1} = l_{(\pi_2)_0} - \tau v_{(\pi_2)_0} = 2210 - 10 \cdot 19 = 2020$  (м).

**Шаг 8.** Вычислим предполагаемое время до включения устройств ограждения:  $t'_{(p)_1} = \frac{l'_{(\pi_2)_1}}{v_{(\pi_2)_0}} = \frac{2020}{19} \approx 106,3$  (с).

**Шаг 9.** Условие  $t'_{(p)_1} > t_{\max}$  выполняется. Так как  $106,3 > 80$  продолжаем вычисления.

**Шаг 10.** Устанавливаем  $i = i+1 = 1$ .

**Шаг 11.** Новая скорость поезда  $v_{(\pi_2)_1} = 18$  (м/с).

**Шаг 12.** Найдем оставшееся расстояние:  $l_{(\pi_2)_1} = l_{(\pi_2)_0} - \tau v_{(\pi_2)_1} = 2210 - 10 \cdot 18 = 2030$  (м).

**Шаг 13.** Вычислим предполагаемое расстояние:  $l'_{(\pi_2)_2} = l_{(\pi_2)_1} - \tau v_{(\pi_2)_1} = 2030 - 10 \cdot 18 = 1850$  (м).

**Шаг 14.** Определяем предполагаемое время до включения устройств ограждения:

$$t'_{(p)_2} = \frac{l'_{(\pi_2)_2}}{v_{(\pi_2)_1}} = \frac{1850}{18} = 102,7 \text{ (с)}.$$

**Шаг 15.** Условие  $t'_{(p)_2} > t_{\max}$  выполняется. Так как  $102,7 > 80$  продолжаем вычисления.

**Шаг 16.** Переходим к следующей итерации  $i = 2$ . Итерационный процесс продолжается, пока  $t'_{(p)_{i+1}} < t_{\max}$ , чтобы передать показания в ИТС на автомобильном транспорте.

В таблицу 2 сведены данные расчета для примера.

Недостатком метода является необходимость оборудования всех локомотивов транспондерами. Эта задача, однако, решается путем принудительного оснащения бортовых средств транспондерами с возможностью передачи данных о движении на безопасные платформы интеграции данных для использования их в смежных транспортных системах.

Также недостатком является то, что прогнозируемые времена передаются не непрерывными метками, а корректируемыми через дискретные промежутки времени метками данных.

Прогнозирование времени закрытия переезда

Шаг итерации	$v_{(a_n)}$ – текущая скорость, м/с	$l_{(\pi_2)}$ – оставшееся расстояние, м	$l'_{(\pi_2)_{i+1}}$ – предполагаемое оставшееся расстояние, м	$t'_{(p)_{i+1}}$ – предполагаемое прогнозируемое время до закрытия переезда, с
0	19	2210	2020	106,3
1	18	2030	1850	102,7
2	18	1850	1670	92,7
3	18	1670	1490	82,7
4	17	1500	1330	78,2

**2 Интеграция через системы железнодорожной автоматики и телемеханики**

Следующий метод получения данных в современных условиях функционирования эксплуатирующей организации ОАО «РЖД» представляется более реальным, однако тоже не лишен недостатков, связанных с прерывистостью передачи прогнозируемого времени в дискретные промежутки. Метод реализуется путем информационного сопряжения с устройствами диспетчерской централизации и диспетчерского контроля устройств ЖАТ [14-16]. Схема информационного сопряжения приведена на рисунке 2.

Начало отсчета времени в представленном варианте зафиксировать проще с учетом возможной привязки к имеющимся блок-участкам и длинам рельсовых цепей. Если рассматривается современная автоматическая блокировка с тональными рельсовыми цепями и централизованным размещением оборудования, то на расстоянии  $l_{max} = t_{max} v_{max}$ , где величина  $t_{max}$  задается заранее можно зафиксировать движение

поезда. Тогда величина  $l_{max}$  включает в себя определенное количество рельсовых цепей:  $l_{max} = \sum_{i=1}^q l_{R_i}$ ,  $l_{R_i}$  – длина  $i$ -ой рельсовой цепи.

Используя данные системы диспетчерской централизации, можно фиксировать времена последовательного занятия рельсовых цепей и высчитывать действительную скорость поезда:

$$v_i = \frac{l_i}{(t_{i+1} - \tau) - (t_i - \tau)}, \tag{2}$$

где  $l_i$  – длина  $i$ -ой рельсовой цепи,  $t_i$  и  $t_{i+1}$  – зафиксированные времена занятия  $i$ -ой и  $(i+1)$ -ой рельсовых цепей,  $\tau$  – задержка в срабатывании устройств и передачи данных в систему прогнозирования (реле в системе автоблокировки срабатывает с выдержкой времени 6 с, а допустимое время задержки передачи сигналов в системах железнодорожной автоматики достигает 4 с).

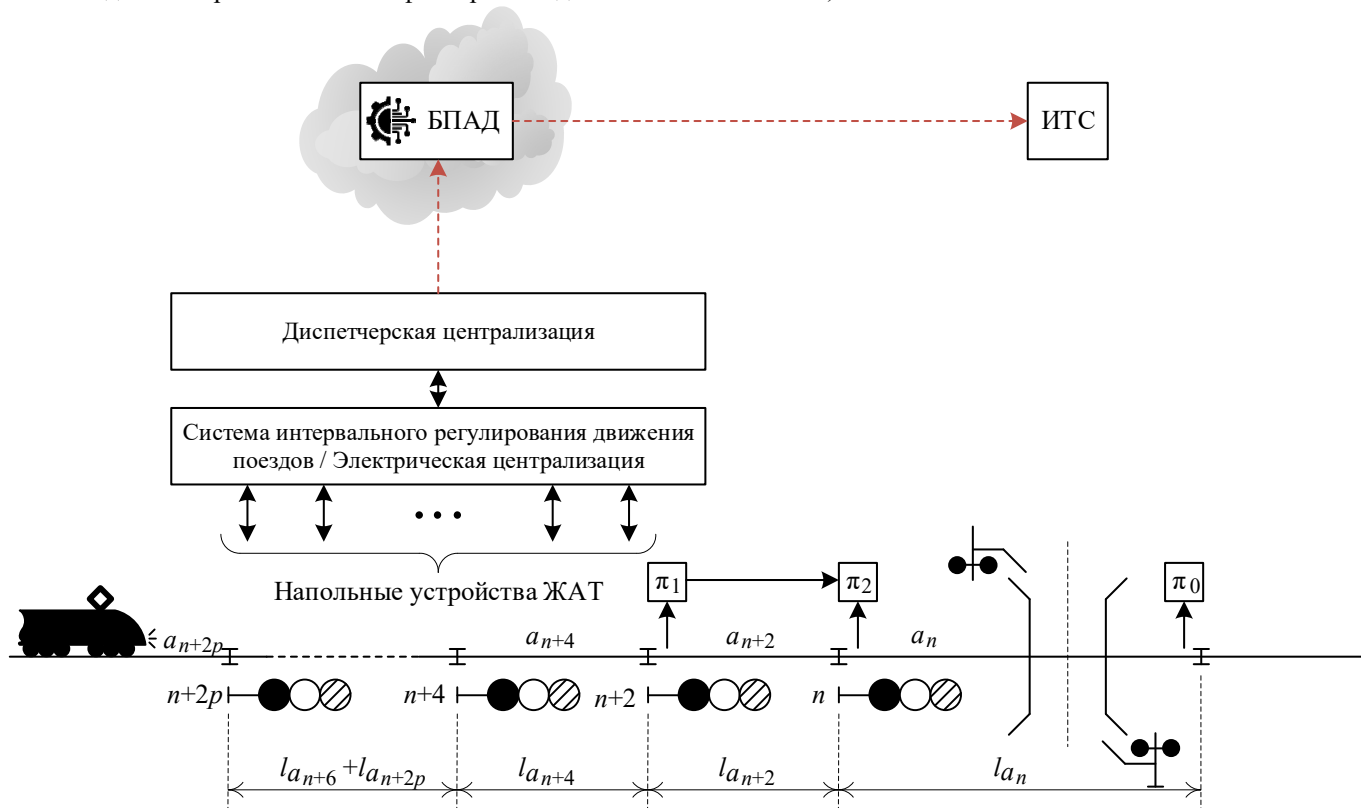


Рис. 2. Условная схема информационного сопряжения через устройства диспетчерской централизации и диспетчерского контроля

Иными словами, данные о скорости будут отставать минимум на 10 с. Это можно учесть при вычислении прогнозируемых времен работы устройств ограждения: требуется учитывать такую составляющую ( $-tv_i$ ) в пройденном расстоянии всякий раз после вычисления прогнозируемого времени срабатывания устройств ограждения при занятии  $i+1$  рельсовой цепи.

Данные о скорости движения поезда будут обновляться каждый раз, когда он занимает новую рельсовую цепь.

Приведем пример использования данного метода в прогнозировании временных параметров срабатывания устройств ограждения.

**Пример 3.** Информационное сопряжение выполнено при условной схеме, приведенной на рис. 2. Также известны следующие исходные данные:

- длина рельсовой цепи:  $l_1 = 2000$  (м);
- длина от конца последней  $i$ -ой рельсовой цепи до переезда:  $l_{np} = 400$  (м);
- время задержки передачи сигнала:  $\tau = 10$  (с);
- $t_{max} = 60$  (с);
- время занятия рельсовой цепи:  $t_1 = 110$  (с).

**Решение.** Рассчитаем скорость поезда на участке:

$$v_1 = \frac{l_1}{(t_1 - \tau)} = \frac{2000}{(110 - 10)} = 20 \text{ (м/с);}$$

Спрогнозируем время прибытия на переезд:

$$t_{np} = \frac{l_{np}}{v_1} = 20 \text{ (с).}$$

Определим момент начала закрытия переезда:

$$l_{зак} = v_1(t_{max} + t_{np}) = 20(60 + 20) = 1600 \text{ (м).}$$

Зная, что переезд должен начать закрываться, когда поезд находится на расстоянии 1600 (м) от переезда, вычислим момент времени для начала закрытия переезда:

$$t_{зак} = \frac{l_{зак}}{v_1} = \frac{1600}{20} = 80 \text{ (с).}$$

Переезд должен закрыться, когда поезд находится на расстоянии 1600 (м) от него, что соответствует времени около 80 (с).

### 3 Использование системы мониторинга движения поезда на основе оптоволоконного кабеля

Следующий метод связан с использованием данных системы непрерывного мониторинга параметров движения поезда, реализованной на основе технологии DAS (Distributed Acoustic Sensor) [17, 18]. Такой вариант возможен как дооснащение действующего участка железной дороги системой мониторинга на основе оптоволоконного кабеля. Схема информационного сопряжения представлена на рис. 3.

Технология DAS позволяет фиксировать параметры скорости движения и координаты местоположения поезда с погрешностью до 100 м, чего достаточно для решения задачи прогнозирования. При этом точность можно повысить за счет дополнительных средств контроля. Программные средства DAS настраиваются таким образом, чтобы можно было зафиксировать наличие поезда на расстоянии  $l_{max} = t_{max} v_{max}$ , где величина  $t_{max}$  фиксируется заранее, исходя из условий работы автодорожных переездов. Фактически на этом расстоянии прогнозируемое время срабатывания устройств ограждения будет равно  $t_p \geq t_{max}$ . Прогноз времени можно передавать с заданной частотой дискретизации и назначать режимы работы автодорожных светофоров, исходя из плотности движения автотранспорта в заданное время суток и при текущих погодных условиях.

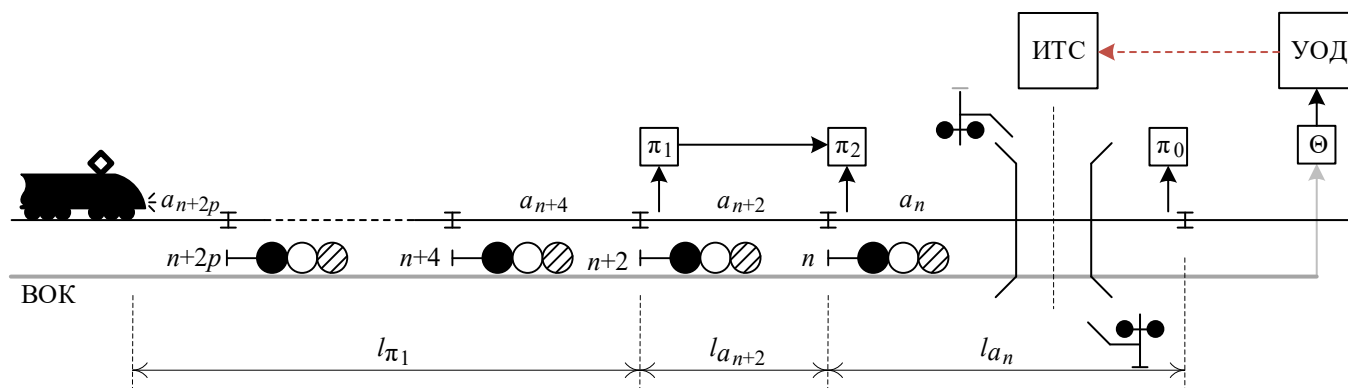
**Пример 4.** Информационное сопряжение выполнено при условной схеме, приведенной на рис. 3. Также известны следующие исходные данные:

- $v_{max} = 30$  (м/с);
- $v_i = 20$  (м/с) – текущая скорость поезда;
- $t_{max} = 80$  (с).

**Решение.** Вычислим расстояние, за которое система фиксирует поезд:  $l_{max} = t_{max} v_{max} = 2400$  (м).

Найдем фактическое время прибытия:  $t_p = \frac{l_{max}}{v_i} = 120$  (с).

Условие  $t_p \geq t_{max}$  выполняется, так как  $120 \geq 80$ , значит прогнозируемое время срабатывания устройств найдено.



**Рис. 3.** Условная схема информационного сопряжения с системой внешнего мониторинга движения поезда с использованием оптоволоконного кабеля:  
УОД – устройство обработки данных;  $\Theta$  – устройство расшифровки оптического сигнала

#### 4 Использование внешних рубежей контроля параметров движения поезда

Наименее информативный, но не требующий больших экономических вложений метод демонстрируется на рисунке 4. Он подразумевает установку двух рубежей (основного и дополнительного) для фиксации параметров движения приближающегося к переезду поезда. Данные рубежи оборудуются, исходя из требуемого расчетного времени до срабатывания устройства извещения о приближении с учетом максимальной допустимой скорости на участке. На этапе выбора зоны установки рубежей уточняется расстояние до точки срабатывания устройств включения ограждения переезда, которое поезд пройдет с максимальной установленной скоростью  $v_{\max}$  за время  $t_{\max}$ :  $l_{\max} = t_{\max} v_{\max}$ . Здесь устанавливается устройство А, позволяющее зафиксировать реальную скорость движения поезда и вычислить время  $t_{\pi_1} = \frac{l_{\max}}{v_{\pi_1}}$ , где  $v_{\pi_1}$  – скорость в мо-

мент прохода точки расположения устройства А. При этом устройство А может находиться всё время в спящем режиме до достижения поездом точки фиксации расстояния  $l_{\max} + \Delta l$  и включаться в этот момент, иницируя и пробуждение устройства В. Для этого требуется использование дополнительного датчика фиксации движущегося поезда, располагаемого на удалении от камеры на заранее выбранном расстоянии  $\Delta l$  и связанного беспроводным или проводным интерфейсом с ним. Реальное время до закрытия переезда  $t_{\pi_1}$  передается на контроллер управления светофором. Устройство В располагается на удалении от устройства А для уточнения параметров движения поезда на расстоянии  $l^* = t^* v_{\max}$ , где  $t^*$  также выбирается заранее.

Вообще, в качестве устройств А и В могут выступать не видеокamеры и не устройства контроля скорости, а датчики, фиксирующие проход поезда последовательно, функционирующие, например, по принципу работы счетчиков осей [19]. Поскольку система прогнозирования параметров работы переезда не относится к системам критического применения, здесь могут быть использованы и автономные датчики счета

осей [20]. По времени фиксации вступления поезда на первый и второй рубежи контроля можно вычислить реальную скорость и сформировать прогнозируемое время

$$v_{\pi_1} = \frac{l^*}{t_{\pi_1}}, \quad (3)$$

$$t_p = \frac{l_{a_{n+2}} + (l_{\max} - l^*)}{v_{\pi_1}}. \quad (4)$$

**Пример 5.** Информационное сопряжение выполнено при условной схеме, приведенной на рис. 4. Также известны следующие исходные данные:

- $v_{\max} = 30$  (м/с);
- $v_{\pi_1} = 20$  (м/с) – текущая скорость поезда;
- $t_{\max} = 120$  (с);
- $l^* = 900$  (м);
- $\Delta l = 150$  (м);
- $l_{a_{n+2}} = 400$  (м).

**Решение.** Вычисляем расстояние до точки срабатывания устройства А включения ограждения переезда, которое поезд пройдет с максимально установленной скоростью и временем:  $l_{\max} = t_{\max} v_{\max} = 120 \cdot 30 = 3600$  (м).

С помощью устройства А фиксируем текущую скорость поезда и находим реальное время до закрытия переезда:

$$t_{\pi_1} = \frac{l_{\max}}{v_{\pi_1}} = \frac{3600}{20} = 180 \text{ (с)}.$$

Устройство А включается через время  $t_{(\Delta l)}$ :

$$t_{(\Delta l)} = \frac{\Delta l}{v_{\max}} = \frac{150}{30} = 5 \text{ (с)}.$$

Спрогнозируем время прибытия поезда к переезду:

$$t_p = \frac{l_{a_{n+2}} + (l_{\max} - l^*)}{v_{\pi_1}} = \frac{400 + (3600 - 900)}{20} = 155 \text{ (с)}.$$

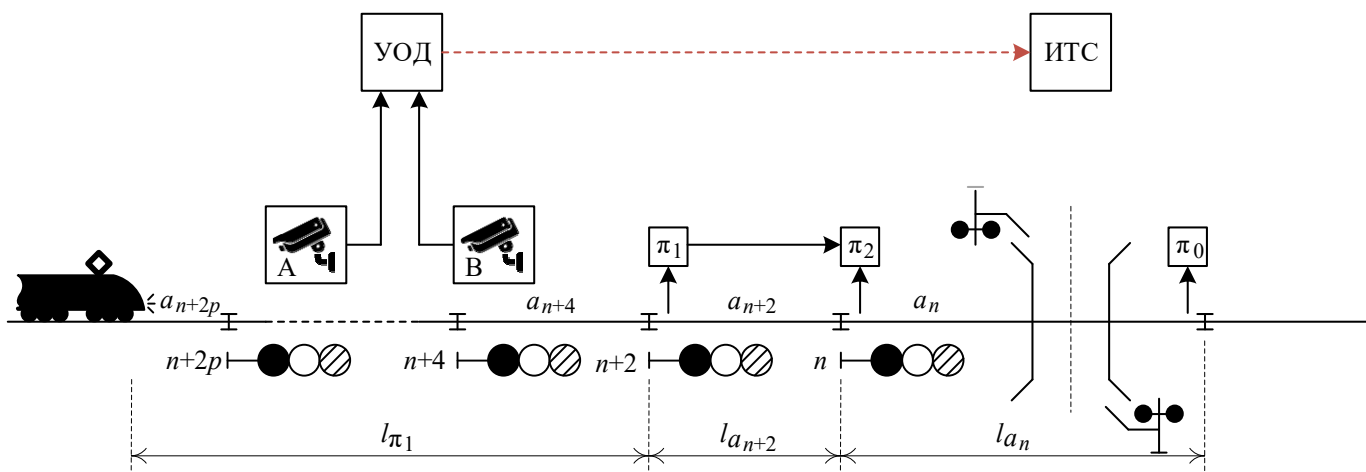


Рис. 4. Условная схема информационного сопряжения с использованием рубежей видеофиксации параметров движения

Все представленные здесь методы касаются однопутных участков железнодорожных линий. Однако с небольшой модификацией они могут успешно использоваться и для двухпутных участков железнодорожных линий – требуется вычислять минимум или максимум прогнозируемого времени движения поездов с четной и с нечетной сторон (в зависимости от того, какое событие, открытие или закрытие переезда, прогнозируется).

Итак, используем алгоритм 2 для каждого из направлений движения поездов (четного и нечетного). В этом случае действие алгоритма базируется на характеристиках движения обоих поездов.

**Алгоритм 3. Определение прогнозируемого времени закрытия переезда:**

1. Уточняем расстояния до точек срабатывания устройств включения ограждения переезда, которые поезда, движущиеся в нечетном и четном направлениях соответственно, пройдут с максимально установленной скоростью  $v_{1, \max}$  и  $v_{2, \max}$  за время  $t_{\max}$ :  $l_{1, \max} = t_{\max} v_{1, \max}$  и

$$l_{2, \max} = t_{\max} v_{2, \max}.$$

2. Существует несколько случаев в движении поездов:

- поезд, следующий в нечетном направлении, достигает расстояния  $l_{1, \max}$  раньше, чем поезд, следующий в четном направлении, достигает расстояния  $l_{2, \max}$ ;
- поезд, следующий в нечетном направлении, достигает расстояния  $l_{1, \max}$  позже, чем поезд, следующий в четном направлении, достигает расстояния  $l_{2, \max}$ ;
- поезд, следующий в нечетном направлении, достигает расстояния  $l_{1, \max}$  одновременно с тем, как поезд, следующий в четном направлении, достигает расстояния  $l_{2, \max}$ .

Для инициации срабатывания устройств отсчета времени закрытия переезда можно использовать достижение любой из точек начала отсчета с последующей непрерывной коррекцией прогнозного времени. Устройство отсчета прогнозируемого времени до включения устройств ограждения на переезде включает за время  $t_{\max}$ , которое одинаково для обоих направлений движения поездов. Затем это время корректируется с учетом периода  $\tau$  получения данных с транспондеров обоих локомотивов о параметрах движения поездов.

Всякий раз вычисляются два времени:

$$t_{1, (p)} = \frac{l'_{1, \pi_1}}{v_{1, (\pi_1)}} \text{ и } t_{2, (p)} = \frac{l'_{2, \pi_1}}{v_{2, (\pi_1)}}.$$

Среди них выбирается наименьшее:

$$t_{j, (p)} = \min \{ t_{1, (p)}, t_{2, (p)} \}. \quad (5)$$

Именно оно и передается в ИТС на автомобильных дорогах с учетом шагов алгоритма 2.

Аналогично определяется время открытия переезда, но уже с учетом максимального значения времени проследования. Среди величин  $t_{1, (o)} = \frac{l'_{1, a_n}}{v_{1, (a_n)}}$  и  $t_{2, (o)} = \frac{l'_{2, a_n}}{v_{2, (a_n)}}$  выбираются максимальные значения:

$$t_{j, (o)} = \max \{ t_{1, (o)}, t_{2, (o)} \}. \quad (6)$$

Использование любого из представленных методов позволяет получить прогнозируемые времена срабатывания устройств ограждения на железнодорожных переездах. Это, в свою очередь, позволяет учитывать данные о прогнозируемых временах в работе интеллектуальных транспортных систем на автомобильных дорогах с целью оптимизации процессов управления.

#### 4 Выводы

Предложенные в настоящей работе методы прогнозирования данных о временных параметрах работы устройств ограждения на железнодорожных переездах позволяют получать ключевые данные об их работе. Зная эти параметры, можно дополнительно расширить функционал табло переменной информации, на которых выводятся и прогнозируемые времена и действующие, навигационных бортовых средств, а также ИТС на автомобильном транспорте.

Учет информации о работе железнодорожного переезда на практике позволит оптимизировать движение автотранспортных средств, а также косвенно повысить безопасность движения поездов за счет исключения нарушений, вызванных человеческим фактором со стороны водителей автотранспортных средств.

Наиболее простой с точки зрения влияния на инфраструктуру и подвижной состав железных дорог метод получения прогнозируемых данных – это прямая передача параметров с движущихся по железной дороге тяговых единиц (локомотивов). Однако это требует принудительного использования транспондеров на всех локомотивах.

Интересным вариантом является информационное сопряжение устройств и систем ЖАТ с ИТС. Однако этот вариант может быть отвергнут консервативным обществом железнодорожников. Одним из решений может оказаться интеграция с действующими на линиях железных дорог системами диспетчерского контроля устройств ЖАТ или системами их автоматизированного мониторинга [21, 22].

Вариант с контролем параметров движения поезда с помощью оптоволоконного кабеля также крайне интересен, поскольку не требует особенных капиталовложений и связан лишь с установкой устройства расшифровки данных, получаемых при движении поезда, а также сопряжения их с ИТС.

Вариант с установкой рубежей контроля параметров движения поезда возможен, но он дает менее точный прогноз. Устройства детектирования поезда могут располагаться на опорах контактной сети в недоступном для человека месте для исключения деструктивного влияния на оборудование. Могут использоваться счетчики осей для фиксации поезда.

Целесообразно учитывать предложения авторов при построении и реализации комплексных транспортных систем, в особенности, в городской транспортной экосистеме «умных» городов.

#### Литература

1. Theeg G., Vlasenko S. Railway Signalling & Interlocking: 3ed Edition. Germany, Leverkusen PMC Media House GmbH, 2020, 552 p.
2. Гавзов Д.В., Сапожников В.В., Сапожников Вл.В. Методы обеспечения безопасности дискретных систем // Автоматика и телемеханика. 1994. № 8. С. 3-50.

3. Сапожников В.В., Сапожников Вл.В., Христов Х.А., Гавзов Д.В. Методы построения безопасных микроэлектронных систем железнодорожной автоматики. Под ред. Вл.В. Сапожникова. М.: Транспорт, 1995, 272 с.
4. Хорошев В.В., Ефанов Д.В., Осадчий Г.В. Концепция полного мониторинга инфраструктуры переездов // Транспорт Российской Федерации. 2018. №1. С. 47-52.
5. Ефанов Д.В. Цифровой железнодорожный переезд // Автоматика, связь, информатика. 2018. №11. С. 11-15.
6. Попов А.Н. Система для предотвращения столкновений на железнодорожном переезде при вынужденной остановке автотранспорта // Транспорт Урала. 2023. №1 (76). С. 75-81. DOI: 10.20291/1815-9400-2023-1-75-81.
7. Anagnostopoulos A. Assessing Safety and Infrastructure Design at Railway Level Crossings Through Microsimulation Analysis // Future Transportation. 2025. Vol. 5. Issue 1, pp. 1-17. DOI: 10.3390/future-transp5010024.
8. Трунаев А.М. Способы и средства повышения безопасности на железнодорожных переездах, перспективы их развития // Транспорт Российской Федерации. 2025. №4 (119). С. 33-37.
9. Dimitrova E., Dimitrov V., Dimitrova D. Analysis of Failures of Automatic Level Crossing Devices // Engineering Proceedings. 2025. Vol. 104. Issue 1, pp. 1-9. DOI: 10.3390/engproc2025104018.
10. Ефанов Д.В., Лыков А.А., Глух Е.А. Модернизация схемных решений переездной автоматики при организации высокоскоростного сообщения // Транспорт Урала. 2017. №1. С. 45-51. DOI: 10.20291/1815-9400-2017-1-45-51.
11. Efanov D., Lykov A., Osadchy G. Testing of Relay-Contact Circuits of Railway Signalling and Interlocking // Proceedings of 15<sup>th</sup> IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2017), Novi Sad, Serbia, September 29 – October 2, 2017, pp. 242-248, doi: 10.1109/EWDTS.2017.8110095.
12. Сапожников В.В., Кокурин И.М., Кононов В.А., Лыков А.А., Никитин А.Б. Эксплуатационные основы автоматики и телемеханики. М.: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2006, 247 с.
13. Василенко М.Н., Тележенко Т.А., Валиев С.И. Автоматизация расчета параметров перегонной переездной сигнализации // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2010. № 3 (24). С. 54-62.
14. Ефанов Д.В., Плотников Д.Г., Осадчий Г.В. Сервис прогнозирования временных параметров работы железнодорожного переезда // Транспорт Российской Федерации. 2018. №4. С. 31-36.
15. Efanov D., Plotnikov D., Osadchy G. Prognosis Service for Navigation Systems Regarding Time Parameters of Railroad Crossing // Proceedings of 16<sup>th</sup> IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2018), Kazan, Russia, September 14-17, 2018, pp. 201-208, doi: 10.1109/EWDTS.2018.8524770.
16. Ефанов Д.В., Плотников Д.Г., Осадчий Г.В. Система прогнозирования состояния переезда для мобильных навигационных устройств // Автоматика, связь, информатика. 2018. №9. С. 15-19.
17. Бухарин М.А., Шишков К.В. Технологии виброакустического мониторинга для нужд железнодорожного транспорта // Железнодорожный транспорт. 2020. №4. С. 58-59.
18. Бухарин М.А., Проконенко С.В., Гуртовой К.В., Скубченко С.А., Трещиков В.Н. Позиционирование подвижного состава с использованием нейронных сетей // Автоматика, связь, информатика. 2019. №9. С. 8-10.
19. Грошев В.А. Об определении мест установки счетчиков осей в горловинах станций // Автоматика на транспорте. 2022. Т. 8. №2. С. 162-177. DOI: 10.20295/2412-9186-2022-8-2-162-177.
20. Для «ФИНК ЭЛЕКТРИК» нет преград нигде: на рельсах, в воздухе и даже на воде. Евразия Вести, 2017, IX, электронный ресурс: <http://eav.ru/publ1.php?publ1=2017-09a11>, дата обращения 29.08.2025 г.
21. Ефанов Д.В. Функциональный контроль и мониторинг устройств железнодорожной автоматики и телемеханики. СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2016, 171 с.
22. Ефанов Д.В., Осадчий Г.В. Микропроцессорная система диспетчерского контроля устройств железнодорожной автоматики и телемеханики: изд. 3-е., стер. Санкт-Петербург: Издательство «Лань», 2023, 180 с.

## INTEGRATION OF SYSTEMS FOR FORECASTING THE TEMPORAL PARAMETERS OF THE OPERATION OF PROTECTIVE DEVICES AT RAILWAY CROSSINGS WITH INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS ON CITY ROADS

**Dmitry V. Efanov**, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia, [TrES-4b@yandex.ru](mailto:TrES-4b@yandex.ru)  
**Yeseniya I. Yelina**, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia,, [eseniya-elina@mail.ru](mailto:eseniya-elina@mail.ru)  
**Alexander S. Kashtalinskiy**, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia, [ask1188@mail.ru](mailto:ask1188@mail.ru)

### Abstract

It is proposed to implement information coupling of diagnostic and forecasting systems in railway transport with intelligent transport systems on highways. This will allow taking into account the current and forecast values of the response times of fencing devices at railway crossings to optimize traffic on highways. The authors have developed four methods for constructing systems for predicting the temporal parameters of railway crossing operation: the first is based on transmitting data to a secure analytics platform from locomotives via transponders, the second consists in information coupling of railway automation and remote control systems with intelligent transport systems on highways, the third is related to monitoring train movement parameters via fiber-optic cable and decryption devices optical signals, the fourth one is based on the use of external boundaries for controlling the parameters of driving. Descriptions of each of the methods, algorithms and examples of determining the time parameters of the fence devices at crossings, as well as their advantages and disadvantages, are given. It is advisable to take into account the solutions presented by the authors when developing integrated intelligent traffic control systems, especially in large cities and megacities.

**Keywords:** railway crossing; forecasting of temporal parameters of crossing operation; intelligent transport system; information interface of systems for forecasting time parameters of crossing operation and intelligent transport systems.

## References

- [1] G. Theeg and S. Vlasenko, *Railway Signalling & Interlocking*, 3rd ed. Leverkusen, Germany: PMC Media House GmbH, 2020, 552 p.
- [2] D. V. Gavzov, V. V. Sapozhnikov and V. V. Sapozhnikov, "Methods for providing safety in discrete systems," *Automation and Remote Control*, vol. 55, no. 8, pp. 1085-1122, 1994.
- [3] V. V. Sapozhnikov, V. V. Sapozhnikov, Kh. A. Khristov and D. V. Gavzov, *Methods of constructing safe microelectronic systems of railway automation*, V. V. Sapozhnikov, Ed. Moscow: Transport, 1995, 272 p.
- [4] V. V. Khoroshev, D. V. Efanov and G. V. Osadchy, "The concept of fully connected monitoring of crossing infrastructure," *Transport of the Russian Federation*, no. 1, pp. 47-52, 2018.
- [5] D. V. Efanov, "Digital railway crossing," *Automation, Communications, Informatics*, no. 11, pp. 11-15, 2018.
- [6] A. N. Popov, "System for prevention from collisions at railway crossing at forced stop of motor transport," *Transport of the Urals*, no. 1(76), pp. 75-81, 2023, doi: 10.20291/1815-9400-2023-1-75-81.
- [7] A. Anagnostopoulos, "Assessing safety and infrastructure design at railway level crossings through microsimulation analysis," *Future Transportation*, vol. 5, no. 1, pp. 1-17, 2025, doi: 10.3390/futuretransp5010024.
- [8] A. M. Trunaev, "Methods and means of improving safety at railway level crossings and their development prospects," *Transport of the Russian Federation*, no. 4, pp. 33-37, 2025.
- [9] E. Dimitrova, V. Dimitrova, "Analysis of failures of automatic level crossing devices," *Engineering Proceedings*, vol. 104, no. 1, pp. 1-9, 2025, doi: 10.3390/engproc2025104018.
- [10] D. V. Efanov, A. A. Lykov and E. A. Gluh, "Modernization of scheme solutions for moving automation in the organization of high-speed communication," *Transport of the Urals*, no. 1, pp. 45-51, 2017, doi: 10.20291/1815-9400-2017-1-45-51.
- [11] D. Efanov, A. Lykov and G. Osadchy, "Testing of relay-contact circuits of railway signalling and interlocking," in *Proc. 15th IEEE East-West Design & Test Symp. (EWDTS'2017)*, Novi Sad, Serbia, Sep. 29-Oct. 2, 2017, pp. 242-248, doi: 10.1109/EWDTS.2017.8110095.
- [12] V. V. Sapozhnikov, I. M. Kokurin, V. A. Kononov, A. A. Lykov and A. B. Nikitin, *Operational fundamentals of automation and telemechanics*. Moscow: Educational and Methodological Center for Railway Transport, 2006.
- [13] M. N. Vasilenko, T. A. Telezhenko and S. I. Valiev, "Automation of calculating parameters of intermediate crossing signalling," *Proceedings of the St. Petersburg University of Railway Communications*, no. 3, pp. 54-62, 2010.
- [14] D. V. Efanov, D. G. Plotnikov and G. V. Osadchy, "Service of forecasting time parameters of railway crossing operation," *Transport of the Russian Federation*, no. 4, pp. 31-36, 2018.
- [15] D. Efanov, D. Plotnikov and G. Osadchy, "Prognosis service for navigation systems regarding time parameters of railroad crossing," in *Proc. 16th IEEE East-West Design & Test Symp. (EWDTS'2018)*, Kazan, Russia, Sep. 14-17, 2018, pp. 201-208, doi: 10.1109/EWDTS.2018.8524770.
- [16] D. V. Efanov, D. G. Plotnikov and G. V. Osadchy, "A moving condition forecasting system for mobile navigation devices," *Automation, Communications, Informatics*, no. 9, pp. 15-19, 2018.
- [17] M. A. Bukharin and K. V. Shishkov, "Vibroacoustic monitoring technologies for railway transport needs," *Railway Transport*, no. 4, pp. 58-59, 2020.
- [18] M. A. Bukharin, S. V. Prokopenko, K. V. Gurtovoy, S. A. Skubchenko and V. N. Treshchikov, "Positioning of rolling stock using neural networks," *Automation, Communications, Computer Science*, no. 9, pp. 8-10, 2019.
- [19] V. A. Groshev, "On location of axle counters at stations," *Transport Automation Research*, vol. 8, no. 2, pp. 162-177, 2022, doi: 10.20295/2412-9186-2022-8-2-162-177.
- [20] For FINK ELECTRIC, there are no barriers anywhere: on rails, in the air, or even on water, *Eurasia News*, IX, 2017. [Online]. Available: <http://eav.ru/publ.php?publid=2017-09a11>. [Accessed: Aug. 29, 2025].
- [21] D. V. Efanov, *Functional control and monitoring of railway automation and remote control devices*. St. Petersburg: PSTU, 2016.
- [22] D. V. Efanov and G. V. Osadchy, *Microprocessor-based dispatching control system for railway automation and telemechanics devices*, 3rd ed. St. Petersburg: Lan Publishing House, 2023.

## Information about authors:

**Dmitry V. Efanov**, D. Sc. (Engineering), Professor, Full-member of the International Transport Academy, IEEE member; Professor of Transport Higher School of Machinery, Material and Transport Institute in Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg; Professor of Higher School of Cyber-physical Systems & Control of Institute of Cybersecurity and Computer Science in Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg; Leading researcher at the Laboratory of Problems of Organization of Transport Systems (Laboratory No. 5) of the Institute of Transport Problems named after N. S. Solomenko of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg; Professor of "Automation, Remote Control and Communication on Railway Transport" department, Russian University of Transport, Moscow; Professor of "Automation and Remote Control" department, Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4563-6411>

**Yeseniya I. Yelina**, Ph. D. student of Transport Higher School of Machinery, Material and Transport Institute in Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-4167-3591>

**Alexander S. Kashtalinskiy**, Ph. D., Lecturer of Transport Higher School of Machinery, Material and Transport Institute in Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4997-5055>