



Адаптивные системы управления движением поездов с интеллектуальными комплексами автодиспетчеризации процессов



Дмитрий Викторович Ефанов,
д-р техн. наук, профессор

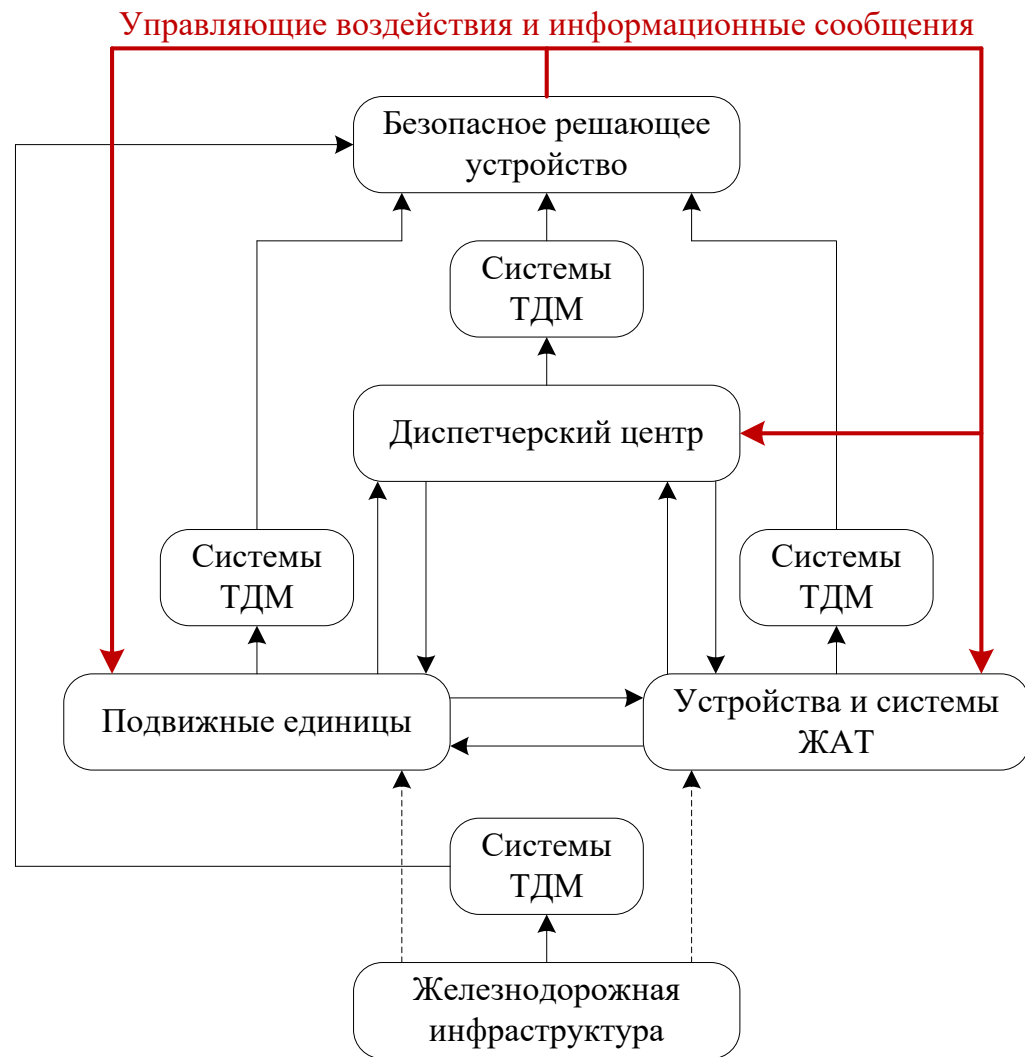


Управляющие воздействия и информационные сообщения



Действующая система управления

В современной парадигме организации движения поездов следуют подходу всеобщей децентрализации. Так система железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) находится практически в полном отрыве от устройств контактной подвески, частично в отрыве от объектов верхнего строения пути и искусственных сооружений, частично в отрыве от состояния подвижного состава. Например, событие искривления рельсового пути и нарушения ширины колеи (выброс пути) при сохранении в целостности рельса никак не повлияет на систему ЖАТ: на светофоре, ограждающем въезд на участок пути с дефектом пути, будет гореть разрешающее показание. Более того, дать запрещающее показание в системе ЖАТ искусственно без нарушения правил эксплуатации средств автоматики невозможно.



Действующая система управления

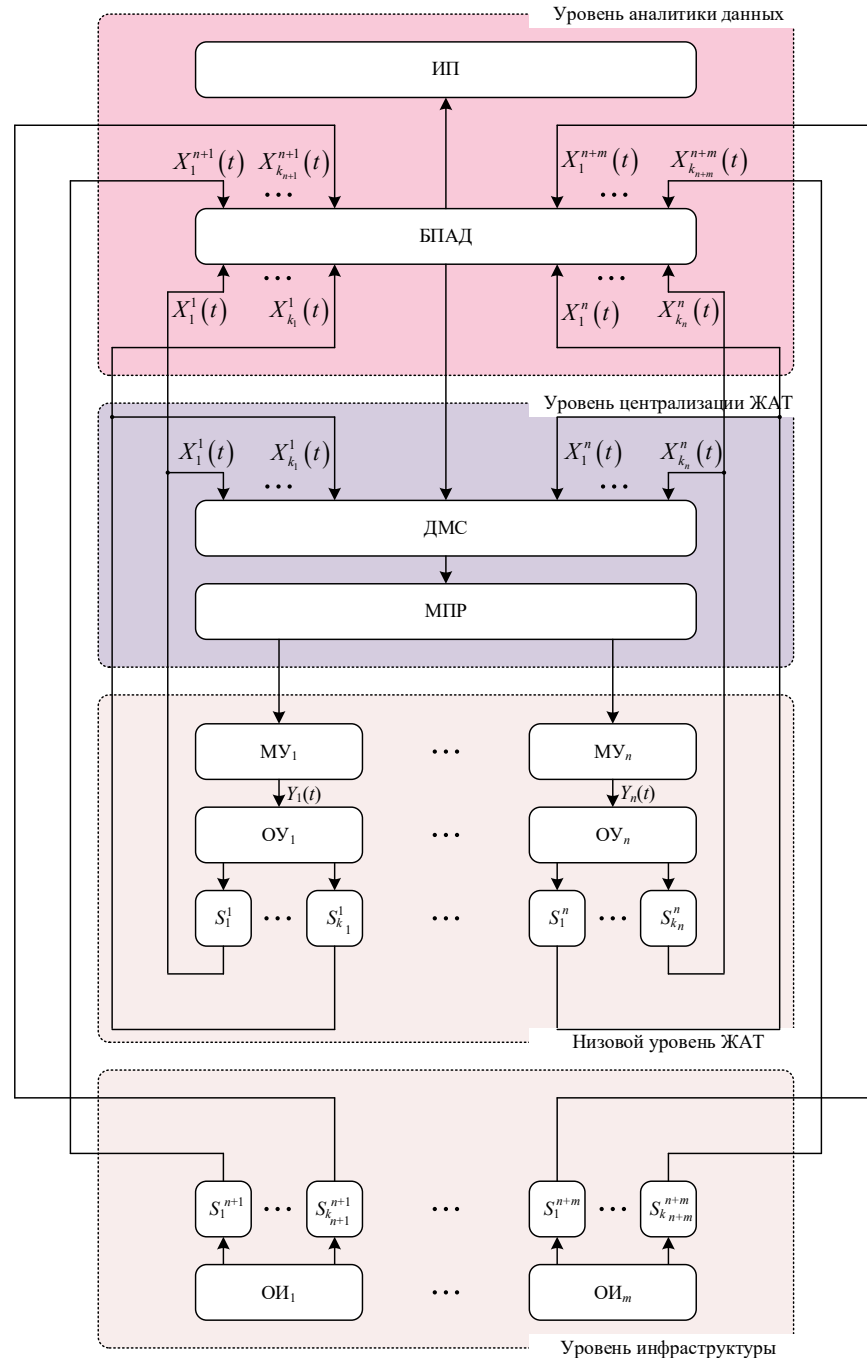
Рассуждения о безопасности устройств и систем ЖАТ становятся не вполне состоятельными в смысле безопасности перевозочного процесса в условиях отсутствия учета безопасности инфраструктурного комплекса и подвижного состава в целом. Многолетний опыт эксплуатации и разработки систем ЖАТ, а также анализ научно-технической литературы по данному направлению показали, что в реальности при рассмотрении безопасности устройств ЖАТ, говорят о некотором свойстве *ограниченной безопасности*. Учитывается полностью внутренняя безопасность и частично внешняя.

Научные задачи:

- ❖ Разработка архитектуры комплексной киберфизической системы управления движением поездов с тесно интегрированными средствами технического диагностирования и мониторинга.
- ❖ Разработка теоретических основ и положений по синтезу киберфизической системы и ее компонентов с учетом обеспечения безопасного поведения при отказах.
- ❖ Разработка и исследование методов формирования цифровых двойников железнодорожной инфраструктуры с учетом риск-ориентированного подхода и выбором контрольных точек в условиях ограничений на количество датчиков, а также с соблюдением требований по функциональной безопасности.
- ❖ Разработка и научное обоснование этапности интеграции систем управления с системами технического диагностирования и мониторинга
- ❖ Разработка алгоритмического обеспечения для формирования программных средств автодиспетчеризации процессов с учетом возможностей адаптивного управления при отказах объектов железнодорожной инфраструктуры.

Научная проблема

Научной проблемой является отсутствие знаний о методах организации регулируемого взаимодействия систем управления движением поездов и объектов железнодорожной инфраструктуры с условием обеспечения безопасного поведения объектов, обеспечивающих перевозочный процесс, а также участников движения.



Киберфизическая модель системы управления

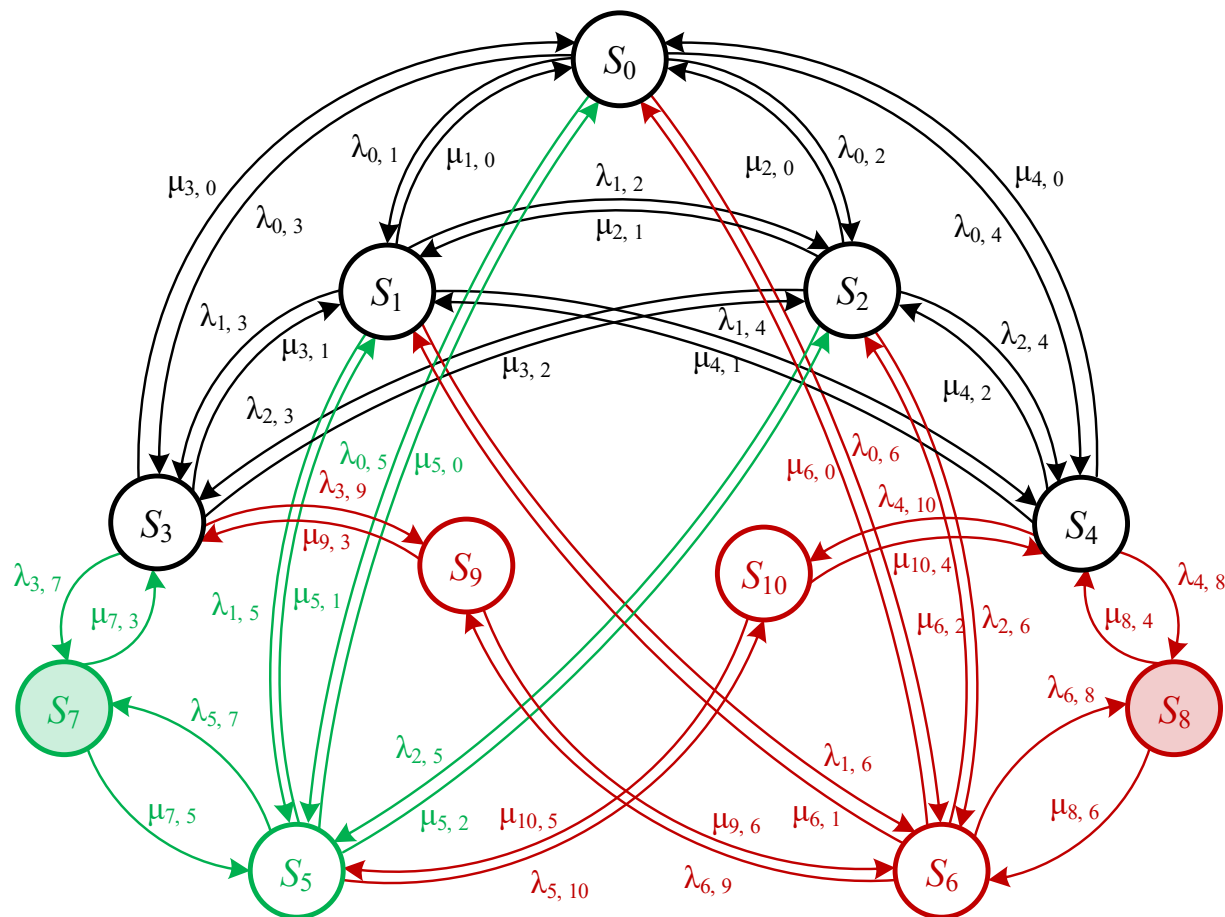
Выделено четыре уровня управления и два круга циркуляции информации – управляющий и диагностический.

Управляющий круг образован уровнем централизации и низовым уровнем железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ).

На основании данных о состоянии объектов на верхнем уровне работает динамическая модель системы (ДМС) и модуль принятия решений (МПР). Они воздействуют на модули управления (МУ) и объекты управления (ОУ).

Датчики системы мониторинга с малым периодом опроса фиксируют состояния объектов инфраструктуры (ОИ).

Данные обрабатывает безопасная платформа аналитики данных (БПАД) и выдает информацию в ДМС и на интерфейсы пользователей (ИП).



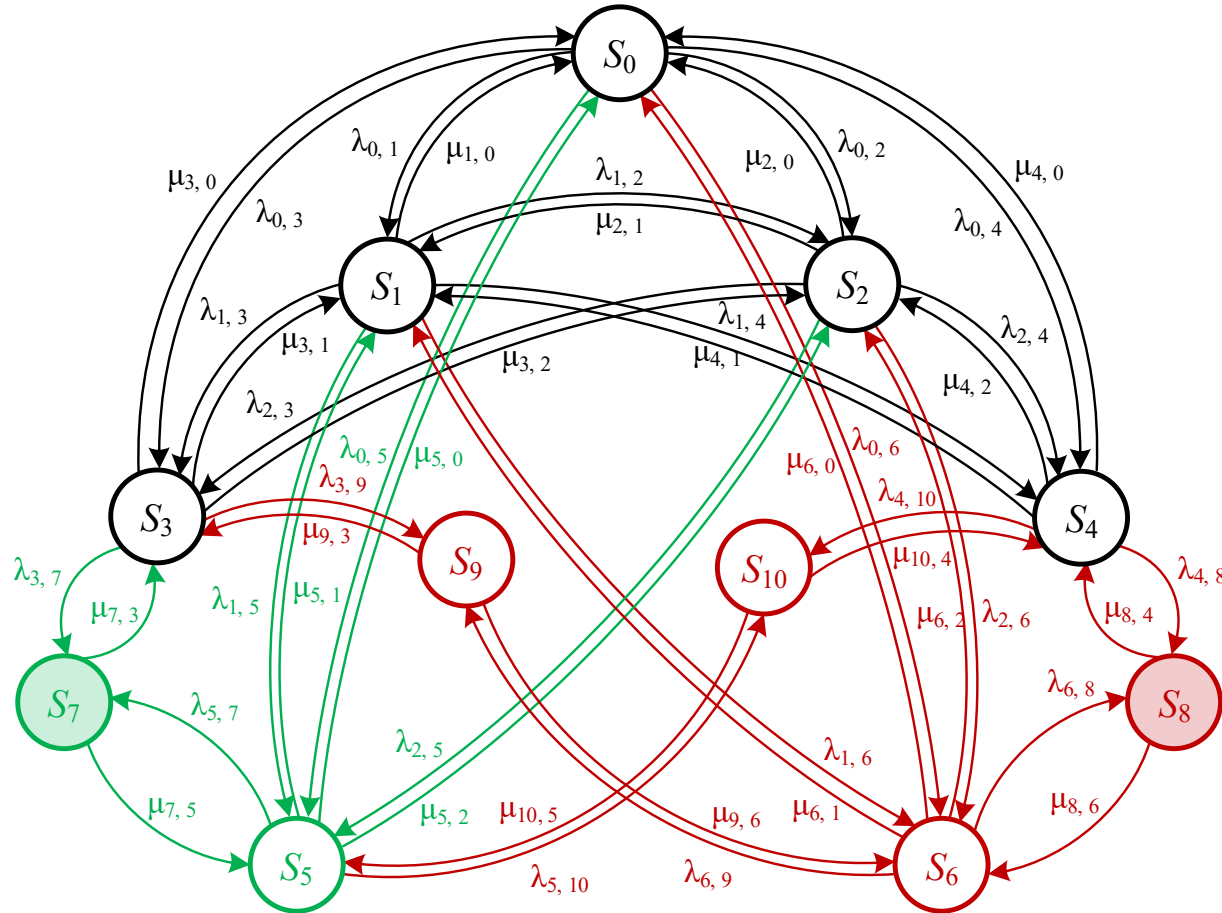
Модель надежности системы управления

Классическое понимание вопроса оценки показателей надежности системы железнодорожной автоматики и телемеханики указывает на то, что она может находиться во множестве исправных состояний (S_0), работоспособных состояний (S_1), работоспособных, но предотказных состояний (S_2), неработоспособных защитных состояний (S_3) и неработоспособных опасных состояний (S_4).

Введем еще два неработоспособных состояния S_5 и S_6 . В состоянии S_5 система окажется в том случае, если при прочих переходах между состояниями S_0 , S_1 и S_2 произойдет защитный отказ какого-либо объекта железнодорожной инфраструктуры. Аналогично в состоянии S_6 система окажется в том случае, если при прочих переходах между состояниями S_0 , S_1 и S_2 произойдет опасный отказ какого-либо объекта железнодорожной инфраструктуры.

Граф переходов между состояниями системы управления движением поездов нового поколения

Модель надежности системы управления



Переходы из состояний S_3 и S_4 , где имеются объекты, находящиеся в защитных или опасных состояниях, должны приводить к так называемым **полным защитным отказам** безопасной системы управления движением поездов (состояниям из множества S_7) и к **полным опасным отказам** безопасной системы управления движением поездов (состояниям из множества S_8). Аналогично, при нахождении системы в S_5 и S_6 при наличии защитных или опасных отказов устройств управления должны осуществиться переходы в состояния S_7 или S_8 . Если при нахождении системы в состоянии S_3 происходит опасный отказ объекта инфраструктуры, то система должна зафиксировать новое состояние – из множества состояний S_9 . Аналогично должно происходить и при нахождении системы в S_4 при возникновении защитного отказа железнодорожной инфраструктуры – должен осуществиться переход во множество состояний S_{10} .

Граф переходов между состояниями системы управления движением поездов нового поколения

$$\begin{cases}
 \frac{\partial P_0(t)}{\partial t} = \mu_{1,0}P_1(t) + \mu_{2,0}P_2(t) + \mu_{3,0}P_3(t) + \mu_{4,0}P_4(t) + \mu_{5,0}P_5(t) + \mu_{6,0}P_6(t) - \\
 - (\lambda_{0,1} + \lambda_{0,2} + \lambda_{0,3} + \lambda_{0,4} + \lambda_{0,5} + \lambda_{0,6})P_0(t), \\
 \frac{\partial P_1(t)}{\partial t} = \lambda_{0,1}P_0(t) + \mu_{3,1}P_3(t) + \mu_{4,1}P_4(t) + \mu_{2,1}P_2(t) + \mu_{5,1}P_5(t) + \mu_{6,1}P_6(t) - \\
 - (\mu_{1,0} + \lambda_{1,3} + \lambda_{1,2} + \lambda_{1,4} + \lambda_{1,5} + \lambda_{1,6})P_1(t), \\
 \frac{\partial P_2(t)}{\partial t} = \lambda_{0,2}P_0(t) + \lambda_{1,2}P_1(t) + \mu_{4,2}P_4(t) + \mu_{3,2}P_3(t) + \mu_{5,2}P_5(t) + \mu_{6,2}P_6(t) - \\
 - (\mu_{2,0} + \mu_{2,1} + \lambda_{2,3} + \lambda_{2,4} + \lambda_{2,5} + \lambda_{2,6})P_2(t), \\
 \frac{\partial P_3(t)}{\partial t} = \lambda_{0,3}P_0(t) + \lambda_{1,3}P_1(t) + \lambda_{2,3}P_2(t) + \mu_{9,3}P_9(t) + \mu_{7,3}P_7(t) - \\
 - (\mu_{3,0} + \mu_{3,1} + \mu_{3,2} + \lambda_{3,7} + \lambda_{4,9})P_3(t), \\
 \frac{\partial P_4(t)}{\partial t} = \lambda_{0,4}P_0(t) + \lambda_{1,4}P_1(t) + \lambda_{2,4}P_2(t) + \mu_{10,4}P_{10}(t) + \mu_{8,4}P_8(t) - \\
 - (\mu_{4,0} + \mu_{4,1} + \mu_{4,2} + \lambda_{4,8} + \lambda_{4,10})P_4(t), \\
 \frac{\partial P_5(t)}{\partial t} = \lambda_{0,5}P_0(t) + \lambda_{1,5}P_1(t) + \lambda_{2,5}P_2(t) + \mu_{7,5}P_7(t) + \mu_{10,5}P_{10}(t) - \\
 - (\mu_{5,0} + \mu_{5,1} + \mu_{5,2} + \lambda_{5,7} + \lambda_{5,10})P_5(t), \\
 \frac{\partial P_6(t)}{\partial t} = \lambda_{0,6}P_0(t) + \lambda_{1,6}P_1(t) + \lambda_{2,6}P_2(t) + \mu_{8,6}P_8(t) + \mu_{9,6}P_9(t) - \\
 - (\mu_{6,0} + \mu_{6,1} + \mu_{6,2} + \lambda_{6,8} + \lambda_{6,9})P_6(t), \\
 \frac{\partial P_7(t)}{\partial t} = \lambda_{3,7}P_3(t) + \lambda_{5,7}P_5(t) - (\mu_{7,3} + \mu_{7,5})P_7(t), \\
 \frac{\partial P_8(t)}{\partial t} = \lambda_{4,8}P_4(t) + \lambda_{6,8}P_6(t) - (\mu_{8,4} + \mu_{8,6})P_8(t), \\
 \frac{\partial P_9(t)}{\partial t} = \lambda_{3,9}P_3(t) + \lambda_{6,9}P_6(t) - (\mu_{9,3} + \mu_{9,6})P_9(t), \\
 \frac{\partial P_{10}(t)}{\partial t} = \lambda_{4,10}P_4(t) + \lambda_{5,10}P_5(t) - (\mu_{10,4} + \mu_{10,5})P_{10}(t).
 \end{cases}$$

Система уравнений А. Н. Колмогорова

Модель надежности системы управления

Положим, что процессы, протекающие в системе управления движением поездов, являются марковскими случайными процессами, и выполняются соответствующие условия (стационарности, ординарности и отсутствия последействия). Это позволяет по графу, приведенному ранее, получить систему уравнений А. Н. Колмогорова.

Полученная система дифференциальных уравнений дополняется нормировочным уравнением:

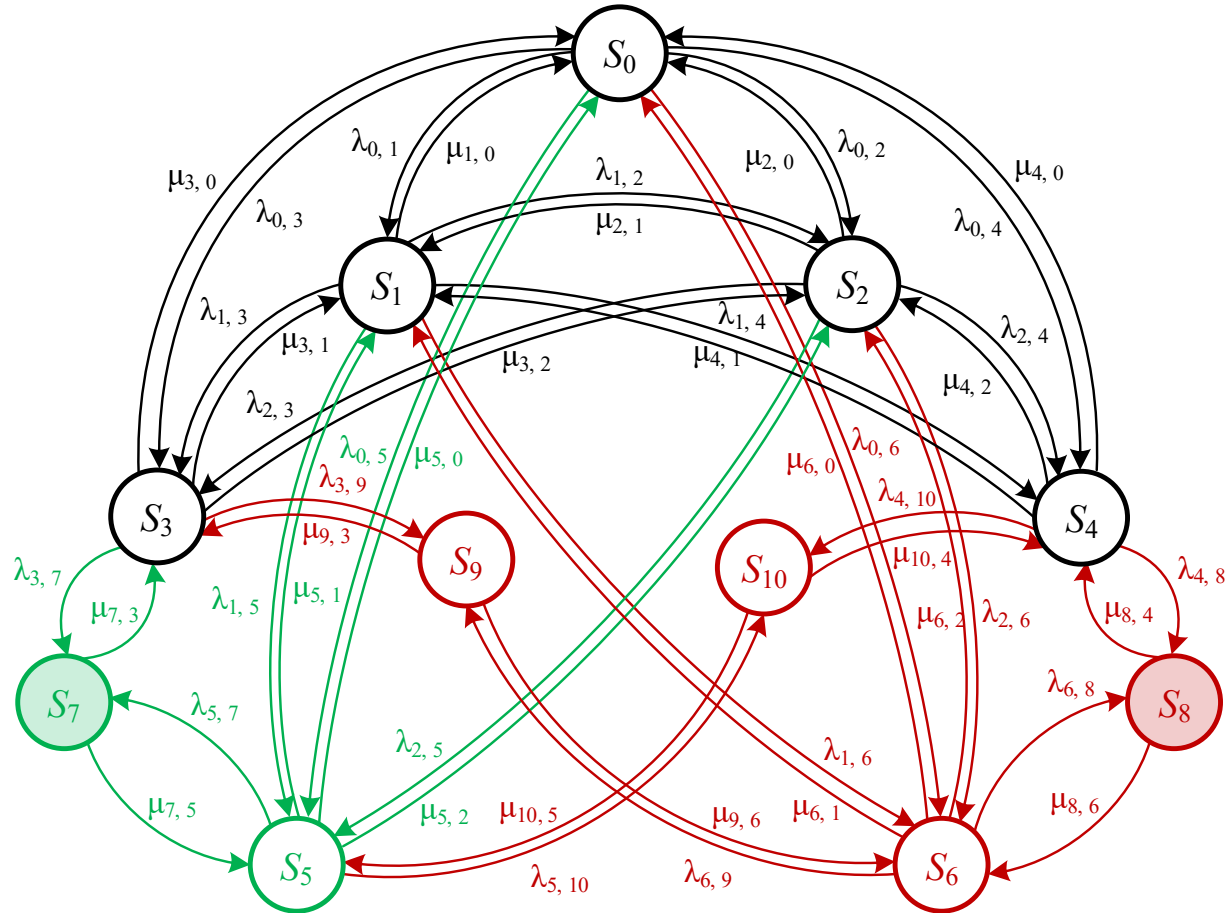
$$\sum_{i=0}^{10} P_i(t) = 1.$$

$$P_{ij}(t) = \begin{pmatrix} p_{0,0} & p_{0,1} & p_{0,2} & p_{0,3} & p_{0,4} & p_{0,5} & p_{0,6} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ p_{1,0} & p_{1,1} & p_{1,2} & p_{1,3} & p_{1,4} & p_{1,5} & p_{1,6} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ p_{2,0} & p_{2,1} & p_{2,2} & p_{2,3} & p_{2,4} & p_{2,5} & p_{2,6} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ p_{3,0} & p_{3,1} & p_{3,2} & p_{3,3} & 0 & 0 & 0 & p_{3,7} & 0 & p_{3,9} & 0 \\ p_{4,0} & p_{4,1} & p_{4,2} & 0 & p_{4,4} & 0 & 0 & 0 & p_{4,8} & 0 & p_{4,10} \\ p_{5,0} & p_{5,1} & p_{5,2} & 0 & 0 & p_{5,5} & 0 & p_{5,7} & 0 & 0 & p_{5,10} \\ p_{6,0} & p_{6,1} & p_{6,2} & 0 & 0 & 0 & p_{6,6} & 0 & p_{6,8} & p_{6,9} & 9 \\ 0 & 0 & 0 & p_{7,3} & 0 & p_{7,5} & 0 & p_{7,7} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & p_{8,4} & 0 & p_{8,6} & 0 & p_{8,8} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & p_{9,3} & 0 & 0 & p_{9,6} & 0 & 0 & p_{9,9} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & p_{10,4} & p_{10,5} & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{10,10} \end{pmatrix}.$$

Модель надежности может быть задана несколько иначе. Например, если заданы вероятности переходов из состояния S_i в состояния S_j и наоборот. Тогда модель надежности может быть задана с помощью матрицы переходных вероятностей и вектора начальных вероятностей.

Вектор начальных вероятностей имеет вид:

$$P_i(0) = (P_0(0), P_1(0), \dots, P_9(0), P_{10}(0)).$$



Граф переходов между состояниями системы управления движением поездов нового поколения

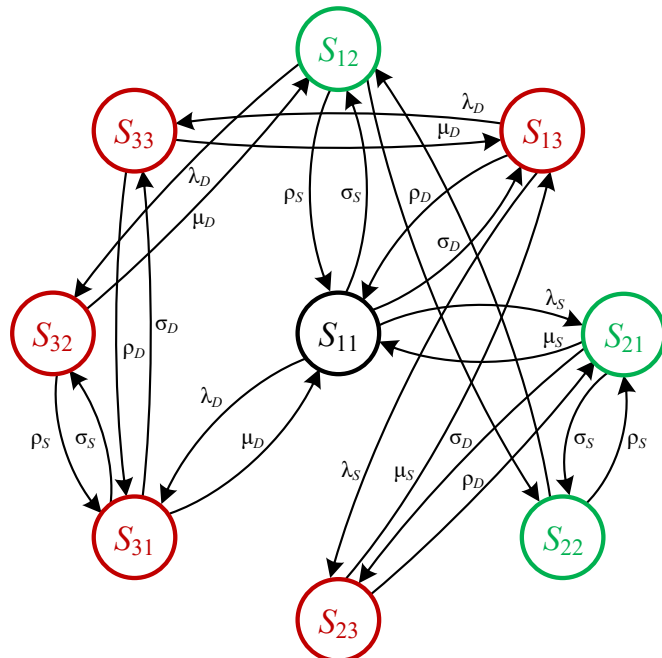
Модель надежности системы управления

На практике значения величин интенсивностей переходов между состояниями системы управления движением поездов получить достаточно трудоемко, в особенности, касаясь переходов в опасные состояния. Поэтому требуется проведение имитационного моделирования. Статистические данные можно получить как раз с использованием средств автоматизированного мониторинга при эксплуатации на достаточно большом временном промежутке. Данные для моделирования могут уточняться с использованием действующих средств мониторинга и технического диагностирования, а сам процесс эксплуатации будет описываться постоянно меняющимися данными о техническом состоянии объектов инфраструктуры.

Интеграция моделей надежности в программные средства безопасной платформы аналитики данных позволит создать динамическую модель системы управления движением поездов, адекватно описывающую реальные условия эксплуатации.

Матрица допустимых переходов интегрированной системы

S_{ij}	S^*_{ij}								
	S_{11}	S_{12}	S_{13}	S_{21}	S_{22}	S_{23}	S_{31}	S_{32}	S_{33}
S_{11}	x	x	x	x			x		
S_{12}	x	x			x			x	
S_{13}	x		x			x			x
S_{21}	x			x	x	x			
S_{22}		x		x	x				
S_{23}			x	x		x			
S_{31}	x						x	x	x
S_{32}		x					x	x	
S_{33}			x				x		x



Граф надежности интегрированной системы

Безопасность средств мониторинга

Введем следующие состояния интегрированной системы управления движением поездов и мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры:

S_{11} – работоспособное состояние системы управления и работоспособное состояние системы мониторинга,

S_{12} – работоспособное состояние системы управления и неработоспособное защитное состояние системы мониторинга,

S_{13} – работоспособное состояние системы управления и неработоспособное опасное состояние системы мониторинга,

S_{21} – неработоспособное защитное состояние системы управления и работоспособное состояние системы мониторинга,

S_{22} – неработоспособное защитное состояние системы управления и неработоспособное защитное состояние системы мониторинга,

S_{23} – неработоспособное защитное состояние системы управления и неработоспособное опасное состояние системы мониторинга,

S_{31} – неработоспособное опасное состояние системы управления и работоспособное состояние системы мониторинга,

S_{32} – неработоспособное опасное состояние системы управления и неработоспособное защитное состояние системы мониторинга,

S_{33} – неработоспособное опасное состояние системы управления и неработоспособное опасное состояние системы мониторинга.

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\partial P_{11}}{\partial t} &= -P_{11}(\sigma_S + \lambda_S + \sigma_D + \lambda_D) + P_{12}\rho_S + P_{13}\rho_D + P_{21}\mu_S + P_{31}\mu_D, \\ \frac{\partial P_{12}}{\partial t} &= -P_{12}(\lambda_D + \rho_S + \mu_S) + P_{32}\mu_D + P_{11}\sigma_S + P_{22}\lambda_S, \\ \frac{\partial P_{13}}{\partial t} &= -P_{13}(\lambda_D + \rho_D + \mu_S) + P_{33}\mu_D + P_{11}\sigma_D + P_{23}\lambda_S, \\ \frac{\partial P_{21}}{\partial t} &= -P_{21}(\mu_S + \sigma_S + \sigma_D) + P_{11}\lambda_S + P_{22}\rho_S + P_{23}\rho_D, \\ \frac{\partial P_{22}}{\partial t} &= -P_{22}(\lambda_S + \rho_S) + P_{12}\mu_S + P_{21}\sigma_S, \\ \frac{\partial P_{23}}{\partial t} &= -P_{23}(\lambda_S + \rho_D) + P_{13}\mu_S + P_{21}\sigma_D, \\ \frac{\partial P_{31}}{\partial t} &= -P_{31}(\mu_D + \sigma_S + \sigma_D) + P_{11}\lambda_D + P_{32}\rho_S + P_{33}\rho_D, \\ \frac{\partial P_{32}}{\partial t} &= -P_{32}(\rho_S + \mu_D) + P_{12}\lambda_D + P_{31}\sigma_S, \\ \frac{\partial P_{33}}{\partial t} &= -P_{33}(\mu_D + \rho_D) + P_{31}\sigma_D + P_{13}\lambda_D. \end{aligned} \right.$$

Зная K_a и $\lambda_D=10^{-9}$ 1/ч получаем, что норма защитных отказов для системы управления равна $\lambda_S=10^{-6}$ 1/ч. Интенсивности восстановления могут отличаться на разных участках. Положим, что $\mu_D=10^{-1}$ 1/ч и $\mu_S=10^{-2}$ 1/ч. Для систем автоматизированного мониторинга указанные величины до сих пор не нормируются, так как не существует требований по их функциональной безопасности. Однако предположим, что соответствующие величины для них не хуже, чем для систем управления. Иными словами, $\sigma_D=10^{-9}$ 1/ч, $\sigma_S=10^{-6}$ 1/ч, $\rho_D=10^{-1}$ 1/ч и $\rho_S=10^{-2}$ 1/ч.

Теория синтеза безопасных систем управления

В рассматриваемом случае интерес представляет оценка вероятности нахождения интегрированной системы управления и мониторинга в опасных состояниях в защитных (P_D и P_S):

$$P_D = P_{13} + P_{23} + P_{31} + P_{32} + P_{33},$$

$$P_S = P_{12} + P_{21} + P_{22}.$$

Известны численные данные по показателям надежности систем железнодорожной автоматики и телемеханики. Нормой безопасности считается величина интенсивности опасных отказов $\lambda_D=10^{-9}$ 1/ч для системы управления. Нетрудно определить норму величины защитных отказов λ_S , учитывая то, что для безопасных систем вводится коэффициент асимметрии, вычисляемый по формуле:

$$K_a = \frac{\lambda_S}{\lambda_D} \geq 10^3.$$

Теория синтеза безопасных систем управления

Исключим из рассмотрения первое уравнение, заменив его нормировочным, и перейдем к матрице:

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \sigma_S & -(\lambda_D + \rho_S + \mu_S) & 0 & 0 & \lambda_S & 0 & 0 & \mu_D & 0 \\ \sigma_D & 0 & -(\lambda_D + \rho_D + \mu_S) & 0 & 0 & \lambda_S & 0 & 0 & \mu_D \\ \lambda_S & 0 & 0 & -(\mu_S + \sigma_S + \sigma_D) & \rho_S & \rho_D & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \mu_S & 0 & \sigma_S & -(\lambda_S + \rho_S) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_D & 0 & -(\lambda_S + \rho_D) & \mu_S & 0 & 0 \\ \lambda_D & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -(\mu_D + \sigma_S + \sigma_D) & \rho_S & \rho_D \\ 0 & \lambda_D & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_S & -(\rho_S + \mu_D) & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_D & 0 & 0 & 0 & \sigma_D & 0 & -(\mu_D + \rho_D) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Решение системы при вышеприведенных начальных условиях следующее:

$$\begin{pmatrix} P_{11} \\ P_{12} \\ P_{13} \\ P_{21} \\ P_{22} \\ P_{23} \\ P_{31} \\ P_{32} \\ P_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,999750047 \\ 4,999 \cdot 10^{-5} \\ 8,33125 \cdot 10^{-9} \\ 0,000149945 \\ 5 \cdot 10^{-5} \\ 1,49943 \cdot 10^{-12} \\ 9,99746 \cdot 10^{-9} \\ 5,45341 \cdot 10^{-13} \\ 9,16435 \cdot 10^{-17} \end{pmatrix}.$$

Получаем:

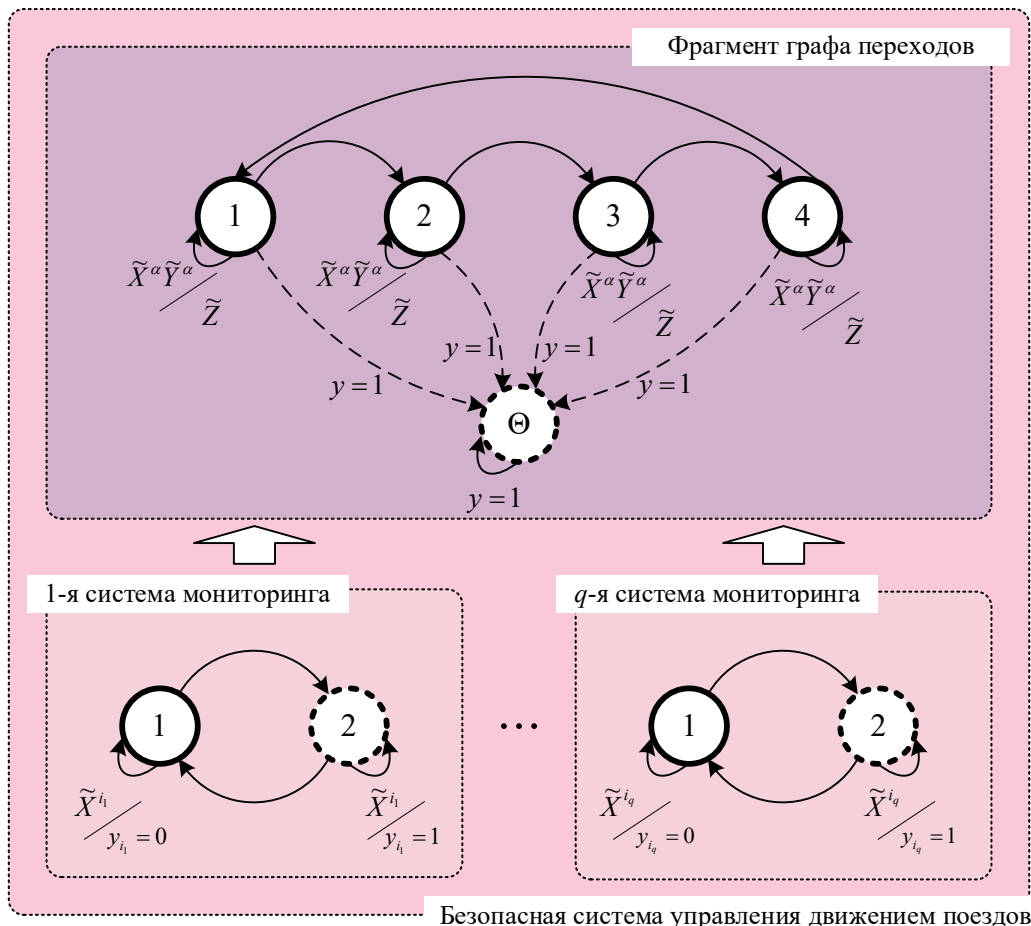
$$P_D = 1,83308 \cdot 10^{-8},$$

$$P_S = 0,000249935.$$

Суммируя P_S и $P_{11}=0,999750047$, получаем вероятность нахождения системы в работоспособном или защитном состояниях: $P_{WS}=0,999999982$ (семь девяток после запятой).

Полученная величина говорит о высокой безопасности интегрированной системы управления и мониторинга при использованных показателях интенсивностей переходов. Однако необходимо подчеркнуть, что на систему автоматизированного мониторинга должны накладываться такие же требования по функциональной безопасности, как и на систему управления (либо чуть менее ослабленные – степень ослабления определяется в дальнейших исследованиях).

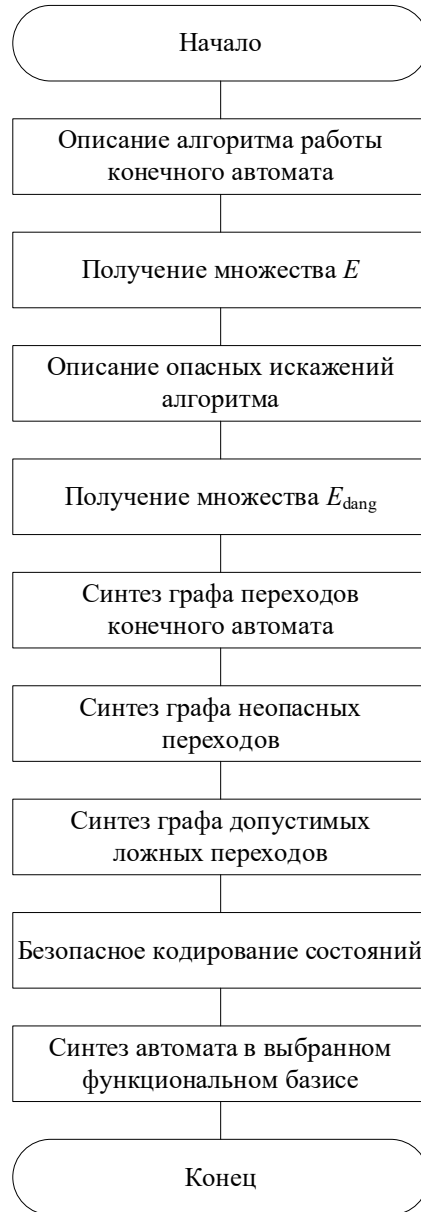
Автоматные модели системы управления



Определение 1. Конечный автомат является безопасным, если исключает все ложные переходы, связанные с реализацией опасных событий, вероятность возникновения которых требуется учитывать.

Определение 2. Ложный переход автомата называется опасным, если при возникновении хотя бы для одного k выполняется условие: $E_k^* \cap E_{dang} \neq \emptyset$.

Определение 3. Ложный переход автомата называется защитным, если при возникновении хотя бы для одного k выполняется условие: $E_k^* \cap E_{dang} = \emptyset$.



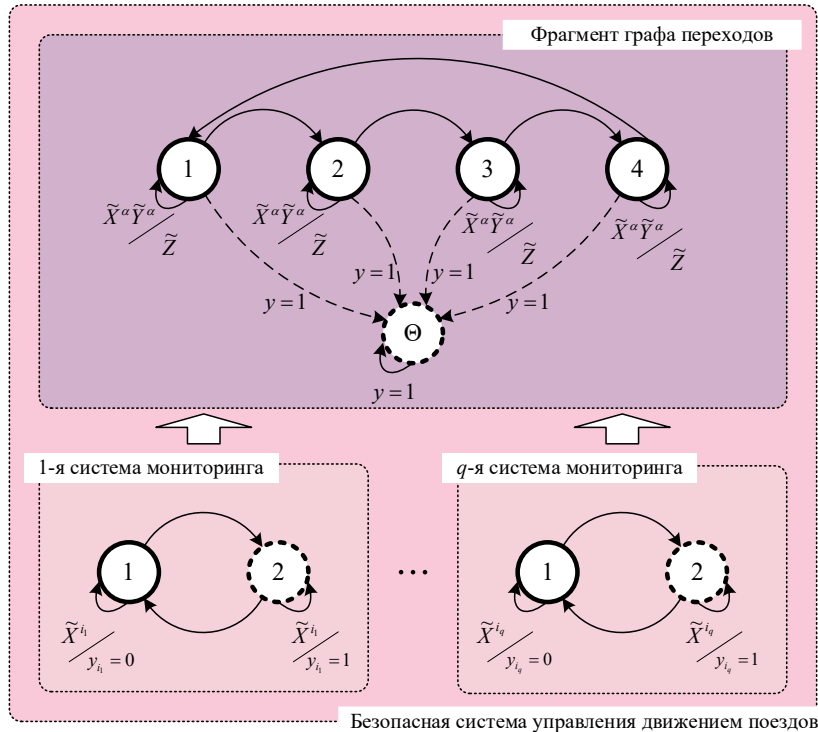
Автоматные модели системы управления

Теорема 1. Опасные отказы в работе конечного автомата отсутствуют тогда и только тогда, когда для всех ложных переходов $S_i \rightarrow S_z$ и для всех ложных событий k выполняется условие:

$$E_{S_i \rightarrow S_z} E_{z(k)} \cap E_{dang} = \emptyset,$$

где $E_{S_i \rightarrow S_z}$ есть события, соответствующие ложным переходам автомата из состояния S_i в состояние S_z .

Определение 4. Полностью безопасным конечным автоматом системы управления движением поездов будет являться конечный автомат, который способен переходить во множество защитных состояний при возникновении всех заданных переходов в состоянии риска нарушения безопасности движения поездов для всех объектов инфраструктуры и подвижного состава.



Условие перехода из какого-либо функционального состояния S_f системы управления движением поездов в защищенное состояние S_Θ системы управления движением поездов может быть записано в виде:

$$S_f \rightarrow S_\Theta : y_{i_1} \vee y_{i_2} \vee \dots \vee y_{i_{q-1}} \vee y_{i_q} = 1.$$

Автоматные модели системы управления

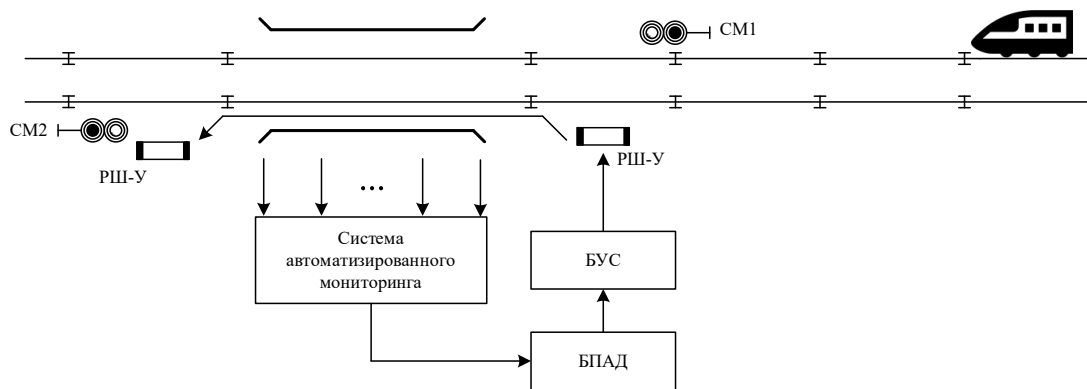
Необходимо подчеркнуть, что конечный автомат, описывающий работу некоего устройства или некой системы управления будет безопасным со следующих позиций: 1) с позиции внутренней безопасности – отказы и сбои не приведут к переходу ни в одно из состояний риска для движения поездов (множество состояний S_R); 2) с позиции внешней безопасности – внешние дестабилизирующие факторы не приведут к переходу ни в одно из состояний риска для движения поездов S_R .

Теорема 2. Конечный автомат будет безопасным в том случае, если

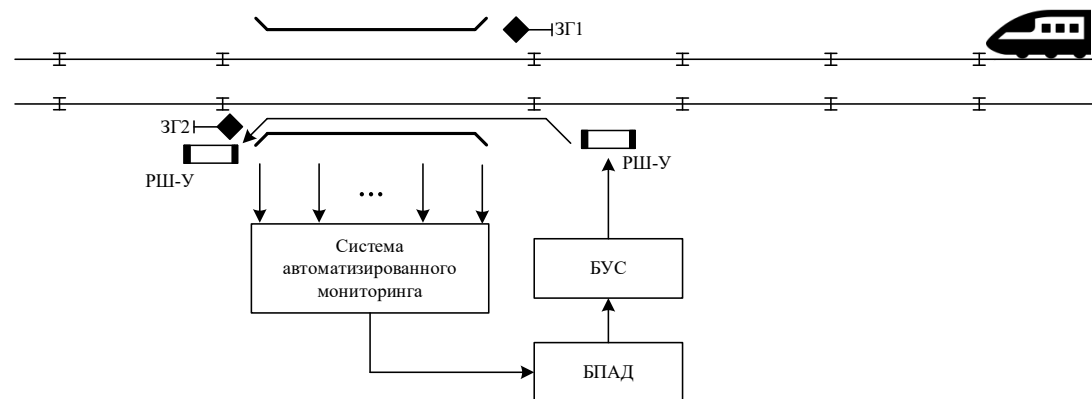
$$\forall S_{R_j} : E_{dang} \supset E_{dang}^j, j \in \{1, 2, \dots, n\},$$

где n – число подсистем диагностирования и мониторинга.

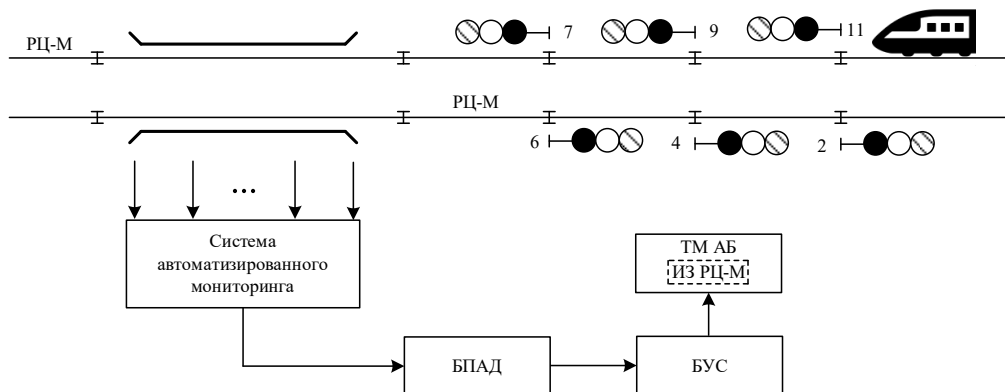
А – Интеграция через светофор мониторинга



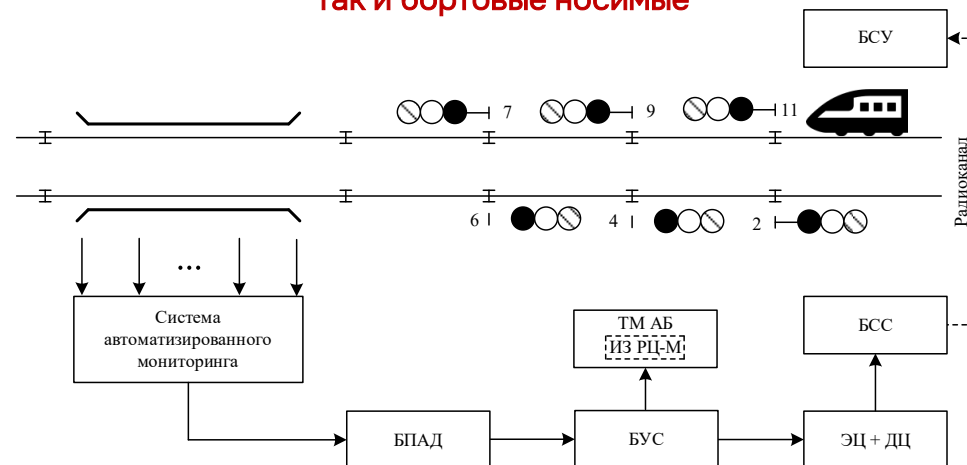
Б – Интеграция через заградительные светофоры



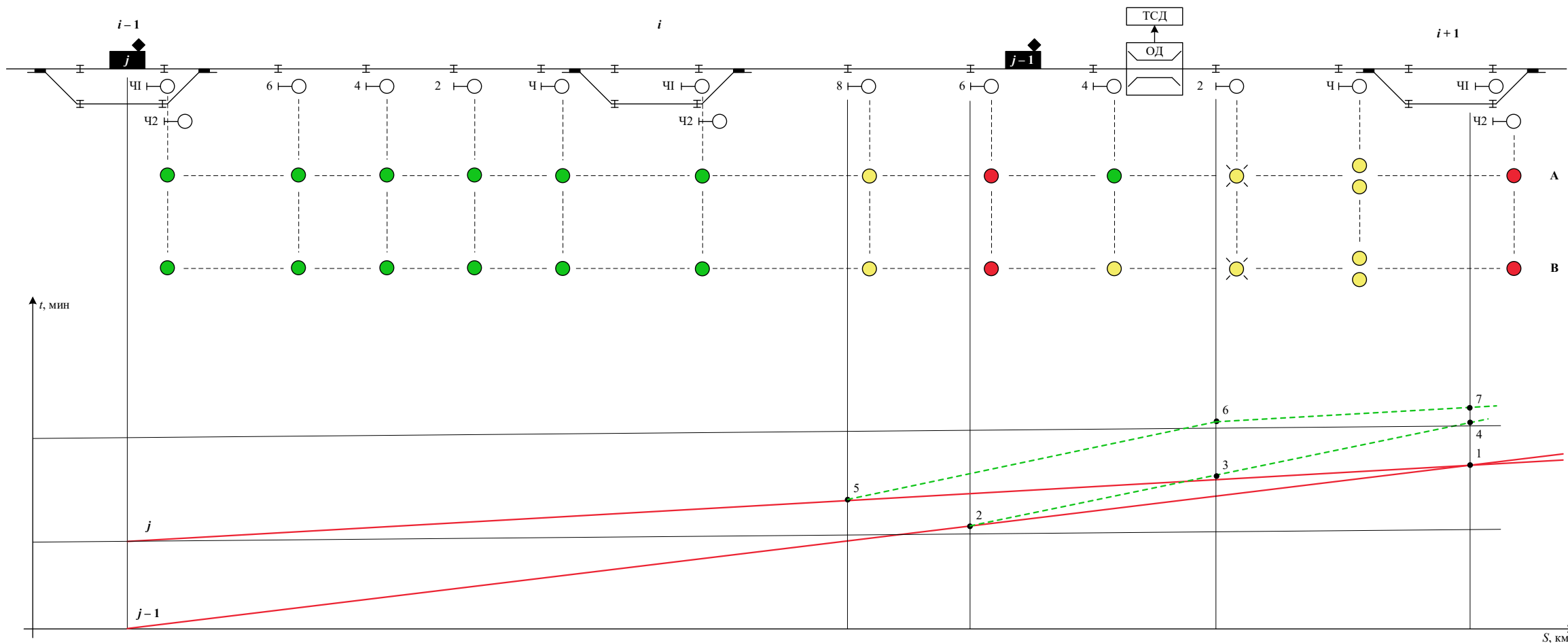
В – Изменение логики работы автоблокировки



Г – Интеграция в систему управления как стационарные средства, так и бортовые носимые

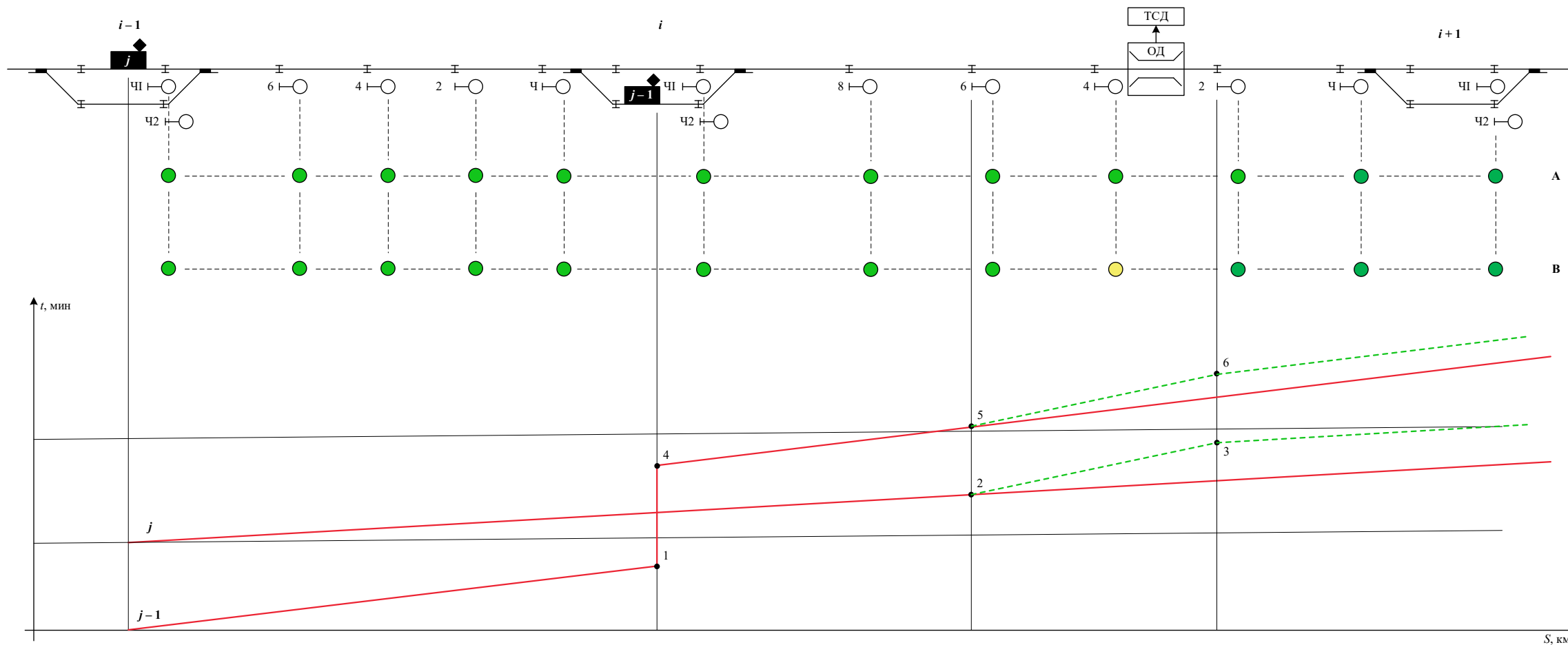


Обгон поезда на станции №1



Выбор станции обгона при фиксации неисправности средствами непрерывного мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры

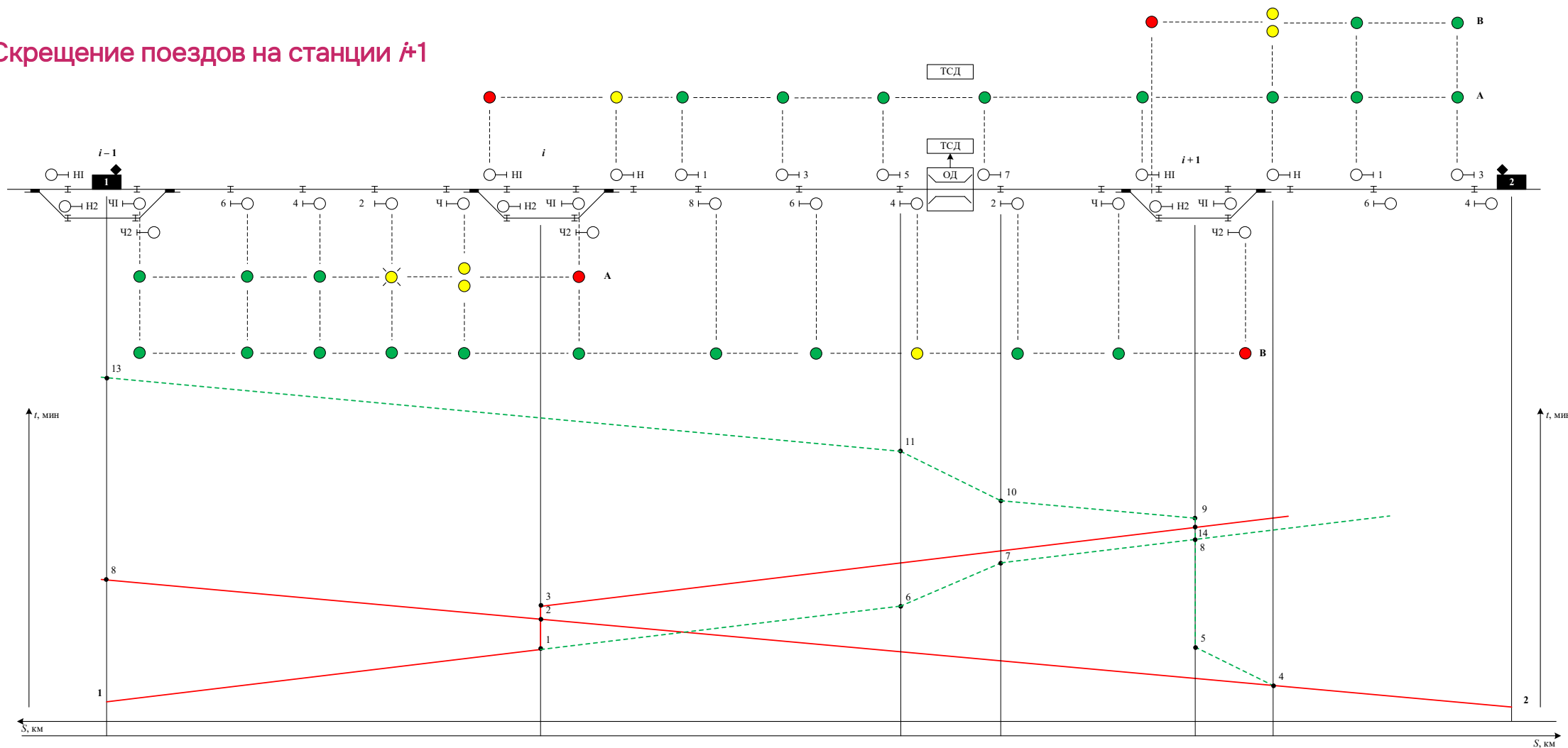
Обгон поезда на станции i



Выбор станции обгона при фиксации неисправности средствами непрерывного мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры

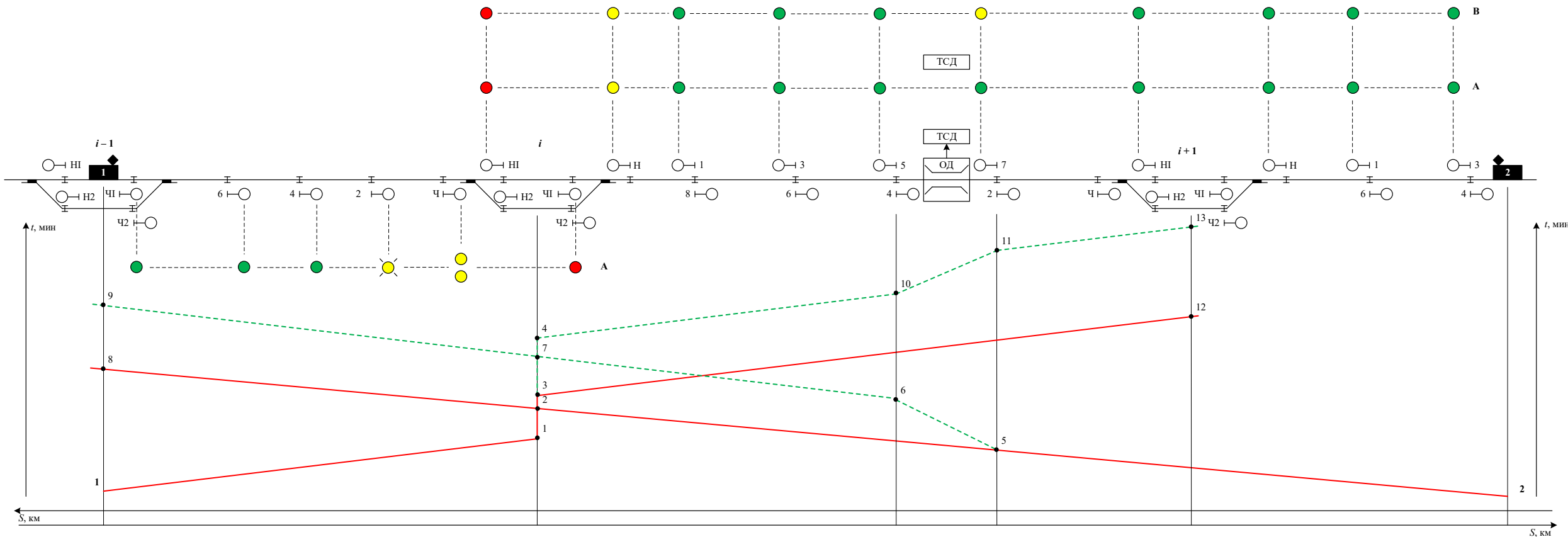
Технологии управления движением поездов при фиксации неисправностей средствами мониторинга инфраструктуры

Скращение поездов на станции №1

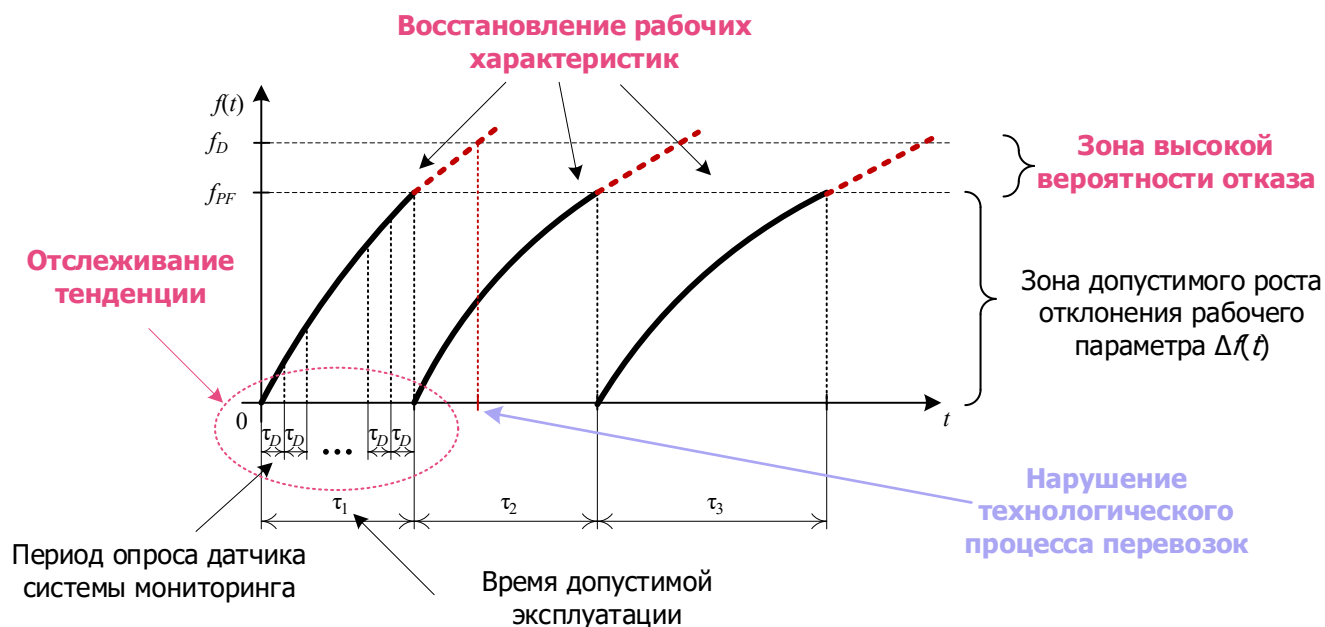


Выбор станции скрещения при фиксации неисправности средствами непрерывного мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры

Скрещение поездов на станции i



Следование пути тесной интеграции систем управления и средств технического диагностирования и мониторинга значительно приближает ученых и инженеров к реализации абсолютно безопасных железных дорог, где каждый объект находится под прицелом киберфизической системы автоматического управления движением поездов.



Заключение

Достоинства разработки тесно интегрированных систем управления и мониторинга очевидны – эксплуатирующая организация получает мощнейший комплекс по автоматическому управлению движением поездов с учетом возникающих неисправных состояний объектов железнодорожной инфраструктуры. При этом система ЖАТ выходит за привычный круг обеспечения внутренней и внешней безопасности и охватывает все объекты инфраструктуры, оборудованные системами автоматизированного мониторинга.

В качестве недостатков можно отметить поверхностную проработку вопросов информационного сопряжения систем управления и мониторинга на железнодорожном транспорте, необходимость финансирования научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, а также реализации пилотных проектов с необходимостью наработки.



Адаптивные системы управления движением поездов с интеллектуальными комплексами автодиспетчеризации процессов



Дмитрий Викторович Ефанов,
д-р техн. наук, профессор

