

Событийно –дискретные модели управления движением

Д.т.н., проф.

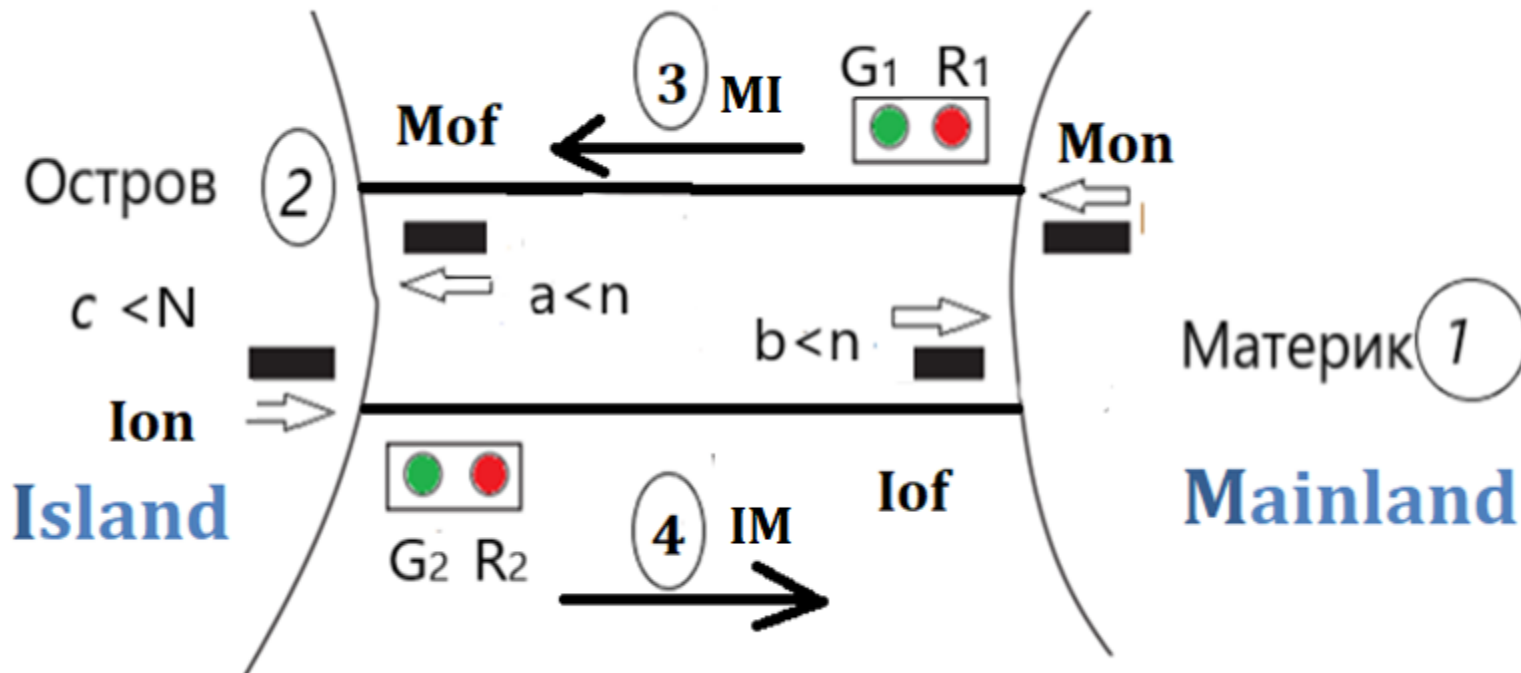
Шорников ЮВ

Аспирант

Тимофеев К.А.

Событийно –дискретные модели

Одностороннее управляемое светофором движение автомобилей



Источник:

Abrial J.-R. Modelling in Event-B: System and Software Engineering / Cambridge Univ. Press, 2010

Постановка задачи

$$A = (S, s_0, \delta, P, F)$$

где

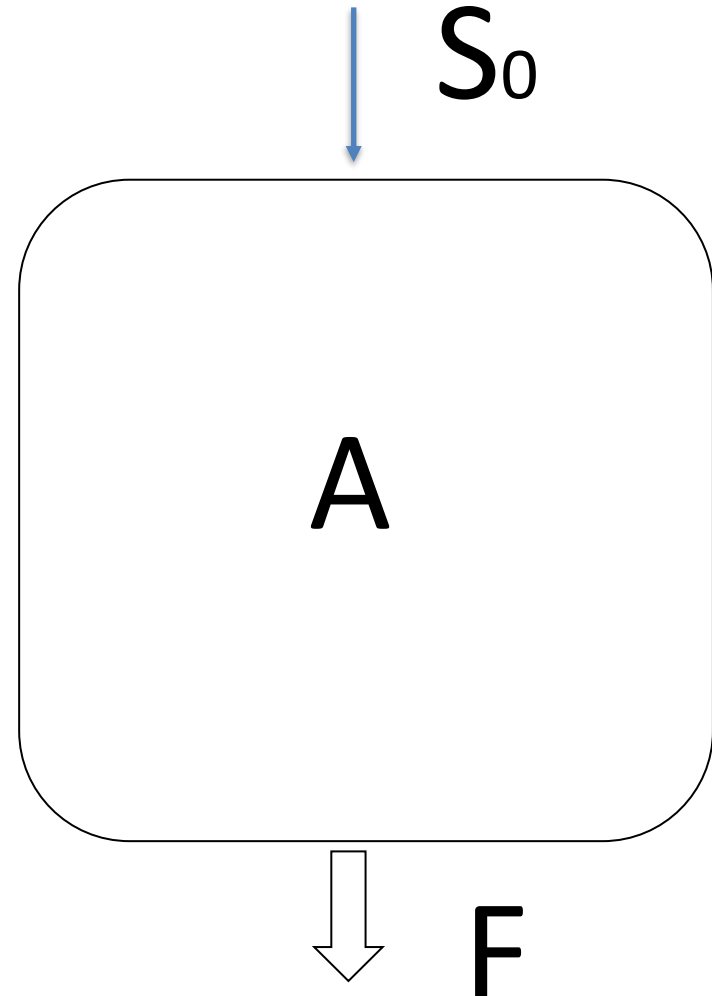
S - конечное множество состояний;

$s_0 \in S$ - начальное состояние;

$F \subseteq S$ - конечные состояния;

$\delta: S \times P \rightarrow S$ - функция переходов;

$P \in \text{BOOL}$ - предикаты переходов



Матрица смежности состояний

$$\delta(s_i, p_{ij}) = \begin{cases} s_j, & s_i \times p_{ij} \rightarrow s_j \\ \emptyset, & s_i \times p_{ij} \rightarrow \emptyset \end{cases}$$

где \emptyset – пустые состояния, не достижимые из

$$s_i \in S, 1 \leq i \leq 4, 1 \leq j \leq 4$$

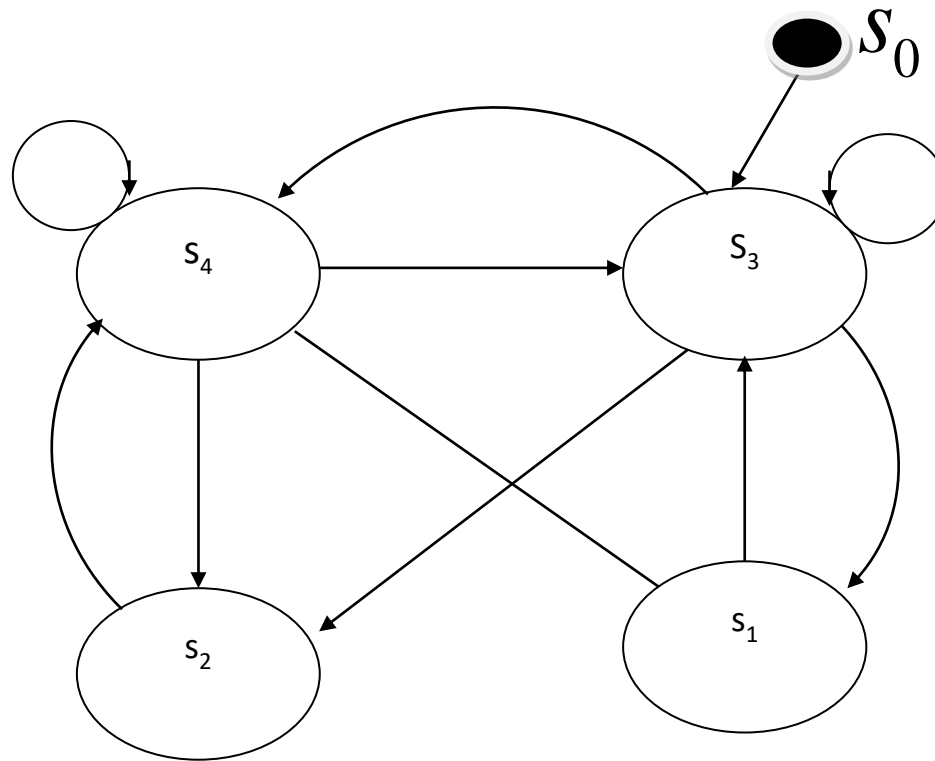
δ

\emptyset	\emptyset	s_3	\emptyset
\emptyset	\emptyset	\emptyset	s_4
s_1	s_2	s_3	s_4
s_1	s_2	s_3	s_4

s_i

Полностью определенный ДКА

$$\forall p \in P \forall s \in R \exists \delta(p, s) = R \mid R = S \cup \{\emptyset\}$$



Необходимые и достаточные условия Green

$$Sr_M = (Mon = TRUE) \wedge (Ion = FALSE) \wedge (Mof = FALSE)$$

$$Sr_I = (Ion = TRUE) \wedge (Iof = FALSE)$$

$$q_B : (a + b) \leq n \quad q_I = q_B$$

$$q_{IB} : (a + c) \leq N \quad q_M = q_{IB} \wedge q_B$$

$$G_M : Sr_M \wedge q_M$$

$$G_I : Sr_I \wedge q_I$$

Дискретные поведения

Состояние s1.

$a++$

где $a++$ здесь и в дальнейшем операция присваивания $a=a+1$.

Состояние s2.

$b++$, $c--$

где $c--$ здесь и в дальнейшем операция присваивания $c=c-1$

Состояние s3.

$$a = \begin{cases} a--, Mof = true \\ a, else \end{cases} \quad c = \begin{cases} c++, Mof = true \\ c, else \end{cases}$$

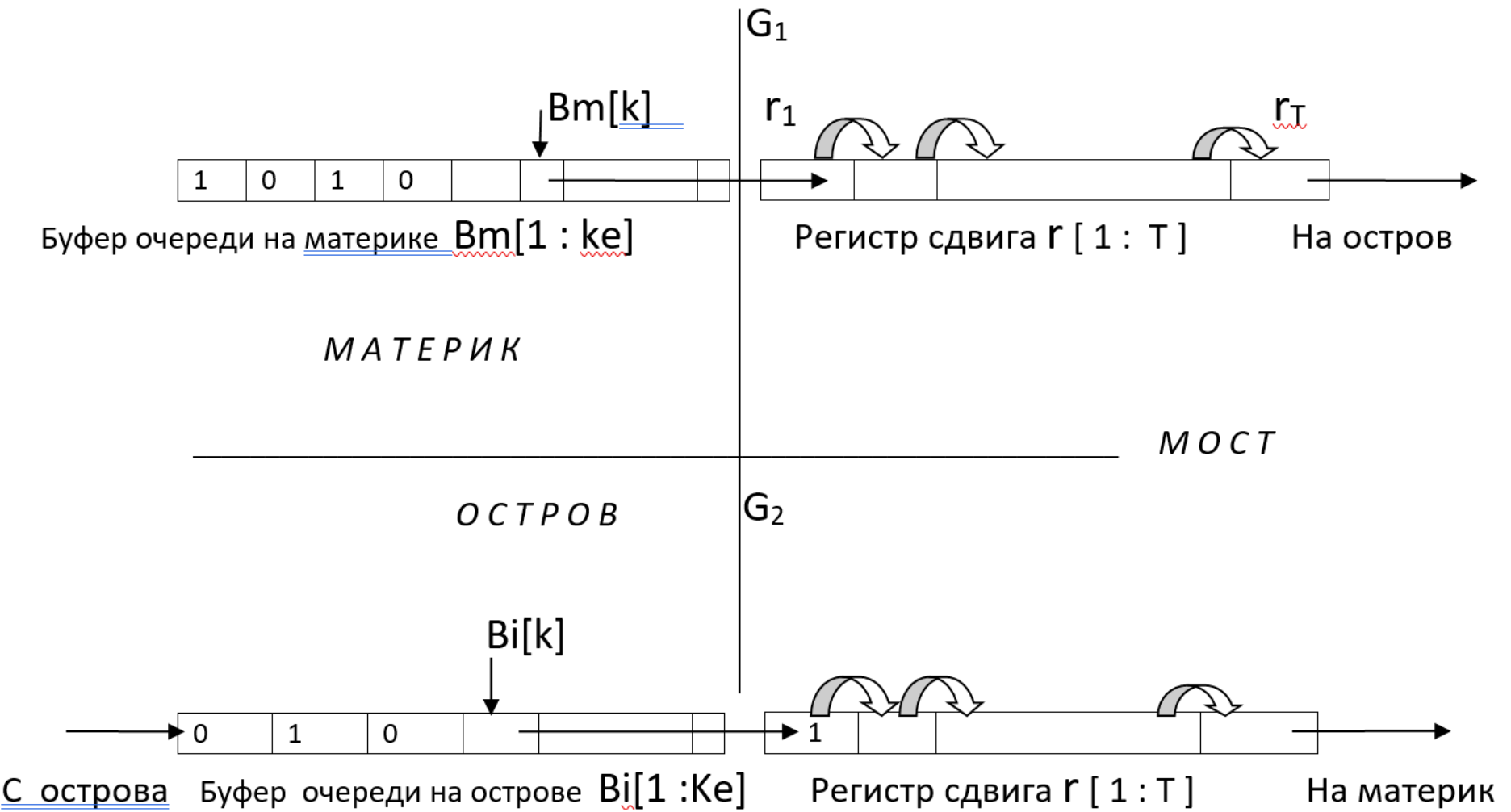
$if (Mof) then (a--; c++;)$

Состояние s4.

$$b = \begin{cases} b--, Iof = true \\ b, else \end{cases}$$

$if (Iof) then b--;$

Имитация потоков



Тактовая имитация движения на мосту:

$$r_{i+1} = r_i, i = \overline{1, T}, \quad r_1 = Bm_k = 1, k \in [0, ke]$$

Движение по мосту с острова:

$$r \mapsto, \quad r_1 = Bi_k = 1.$$

где $r \mapsto$ - потактовый сдвиг регистра вправо $r_{i+1} = r_i, i = \overline{1, T}$

Движение по мосту без притока машин:

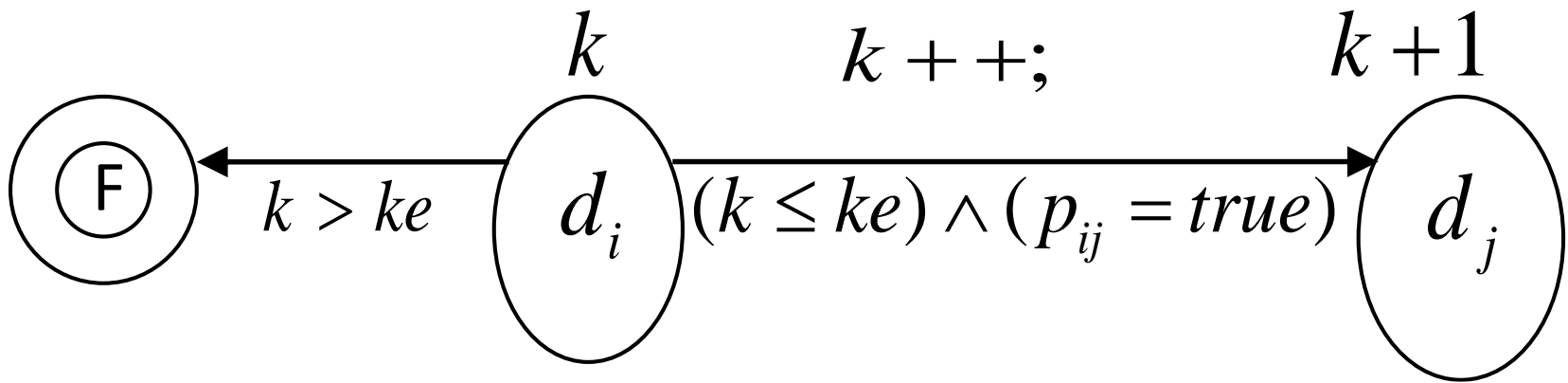
$$r \mapsto, \quad r_1 = 0.$$

Вычисление сенсоров

$$Mon = \begin{cases} true, Bm_k = 1 \\ false, else \end{cases}, Mof = \begin{cases} true, r_l = 1 \\ false, else \end{cases}$$

$$Ion = \begin{cases} true, Bi_k = 1 \\ false, else \end{cases}, Iof = \begin{cases} true, r_l = 1 \\ false, else \end{cases}$$

Семантический граф



Вычисление предикатов

i / j	1	2	3	4
1			$\neg G_M$	
2				$\neg G_I$
3	G_M	$G_I \wedge (a = 0)$	$\bigwedge_{j=1,2,4} \neg p_{3j}$	$\neg G_M \wedge (a = 0)$
4	$G_M \wedge (b = 0)$	G_I	$\neg G_I \wedge (b = 0)$	$\bigwedge_{j=1,2,3} \neg p_{4j}$

Вычисление дискретных состояний

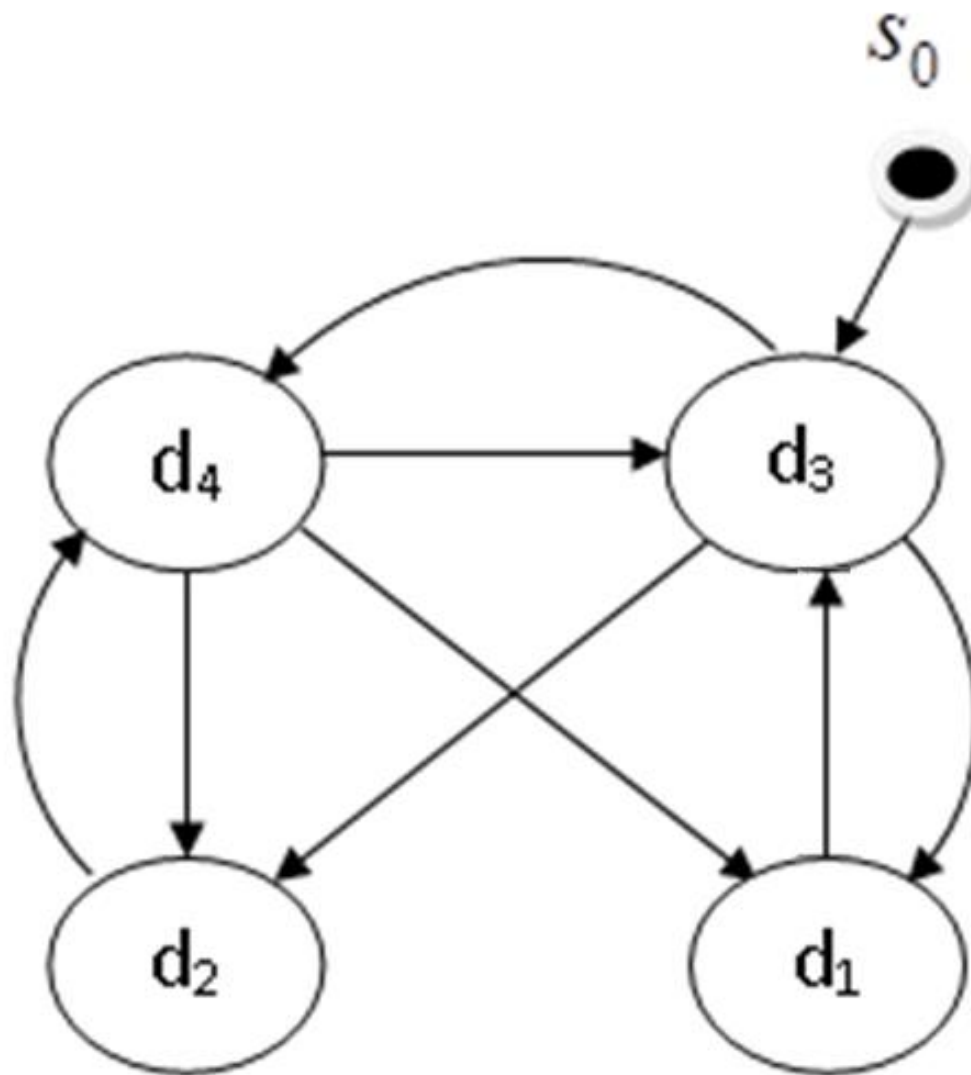
$d_1 : a ++; r \mapsto; r_1 = 1;$

$d_2 : b ++; c --; r \mapsto; r_1 = 1;$

$d_3 : \text{if}(r_1 == 1) \text{ then } (a --; c ++); \quad r \mapsto; r_1 = 0;$

$d_4 : \text{if}(r_1 == 1) \text{ then } (b --); \quad r \mapsto; r_1 = 0.$

Диаграмма Харела



Вычисление смежных предикатов $p_{ij} \in P$

i / j	1	2	3	4
1	FALSE	FALSE	$\neg G_M$	FALSE
2	FALSE	FALSE	FALSE	$\neg G_I$
3	G_M	$G_I \wedge (a = 0)$	FALSE	$\neg G_M \wedge (a = 0)$
4	$G_M \wedge (b = 0)$	G_I	$\neg G_I \wedge (b = 0)$	FALSE

Тестирование и дискретное моделирование

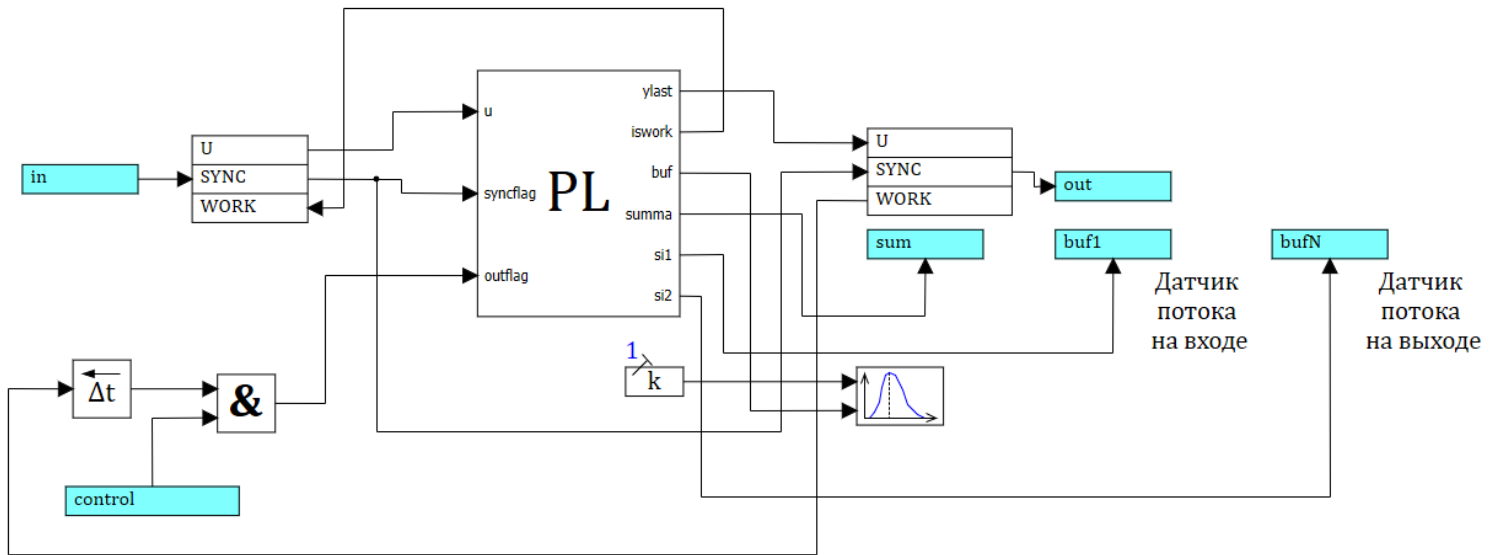
Начальные условия S0: N=4; n=2; l=10.

r=0; k=0; K=66; Vm – из (24); Vi[k]=1, k=31,33,45; Vi[k]=0, k!=31,33,45.

Состояния семантического графа

<i>Состояния / Мост(направление)</i>	1	3	1	3...	1	3	1	3..	3	3	3	..	2	4	2..	4	4	4	1	..	3	2	4	4	
				3			3					4			4				1	3		..			
<i>Заезд на мост (MI)</i>				<i>a=2</i>							<i>a=2</i> <i>c=2</i> <i>c=2</i>														
<i>Такты k</i>	1	2	3	4				15 <i>c=2</i>													4				
																					4				
<i>Выезд с моста (MI)</i>																									
<i>Такты k</i>					11 12 13 14							22													
					24																				
<i>Заезд на мост (IM)</i>																									
<i>Такты k</i>																									
<i>Выезд с моста (IM)</i>																									
<i>Такты k</i>																									
<i>Светофор материка</i>																									
<i>Светофор острова</i>																									

Структурная схема субмодели элементарного участка



Текст дискретной модели потока машин на основе сдвигового регистра с ВОЗМОЖНОСТЬЮ СЖАТИЯ

```
Блок "Язык программирования": Macro7.LangBlock22
Файл  Правка  Поиск  Расчёт  Справка  Инструменты
1  input  u, //Входное событие (может быть вещественным например массой)
   syncflag: boolean, //Флаг синхронизации перемещения
   outflag: boolean; //Флаг разрешения выезда с участка
   output  ylast, //Выходной элемент (после выхода с участка)
   iswork:boolean, //Флаг - буфер движется
   buf: array = Cap#0, //Буфер накопления данных
   summa, //Общее к-во машин на выходе
   Si1, Si2; //Наличие машины на последнем участке - датчик потока
   var dat;
10
   if goodstep then begin
       dat = max(dat,u);
       // Перемещение данных в буфере
       if syncflag then begin
           // Перемещение на выход
           if outflag then begin
               ylast = buf[Cap];
               buf[Cap] = 0;
           end
           else
               ylast = 0; //Если перемещение на выход заблокировано, то выход = 0
           // Перемещение внутри буфера
           for (i = Cap, 2, -1) begin
               if buf[i] = 0 then begin
                   buf[i] = buf[i - 1];
                   buf[i - 1] = 0;
               end;
29
           end;
30
           //Выработка флага что первый элемент буфера свободен для перемещения в него данных
           //если iswork = false, это означает блокировку перемещения
           iswork = (Buf[1] = 0);
           // Перемещение на вход, если буфер не заблокирован
           if iswork then
               Buf[1] = dat;
               dat = 0;
           //Выход последнего элемента буфера
           Si1 = buf[1];
           Si2 = buf[Cap];
40
       end;
   end;
   summa = sum(buf);
```

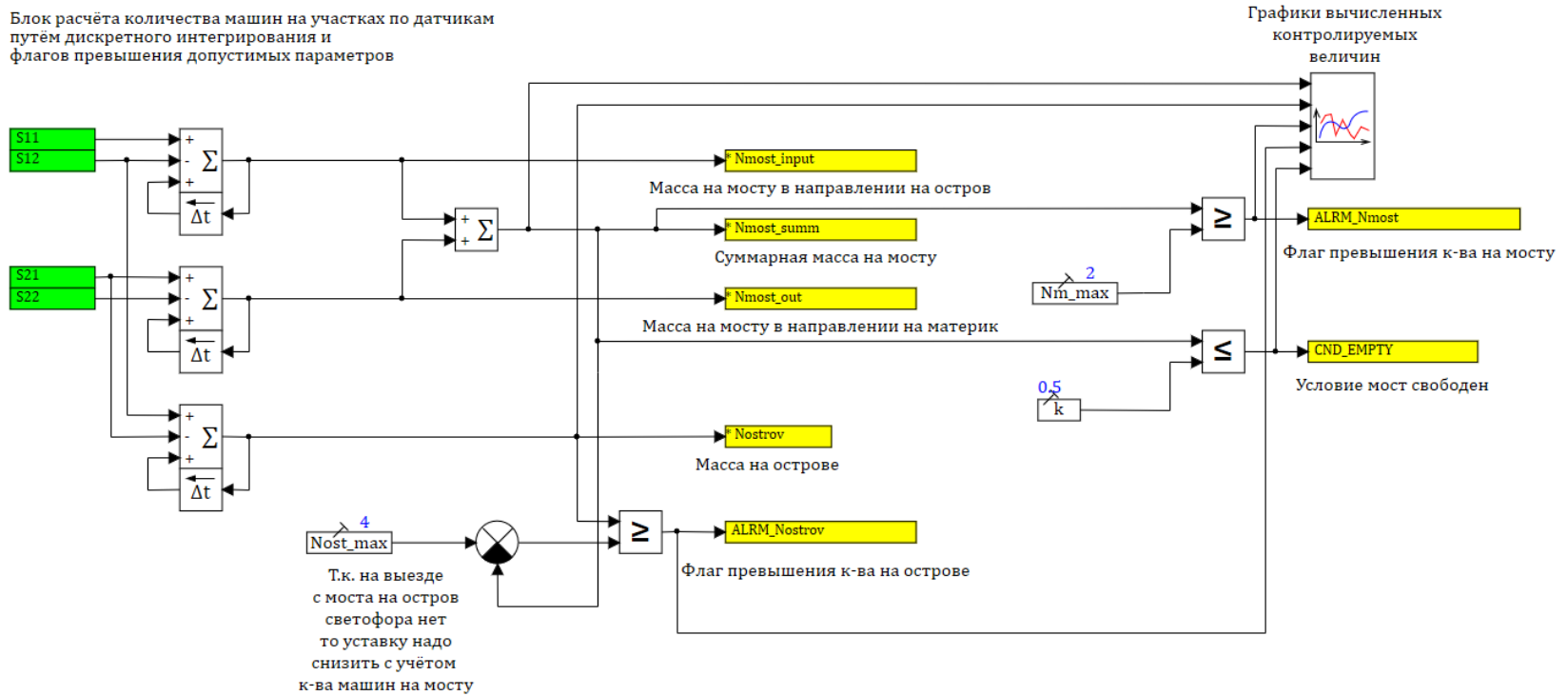
29: 8 Изменено

Текст дискретной модели потока машин на основе простого сдвигового регистра без сжатия

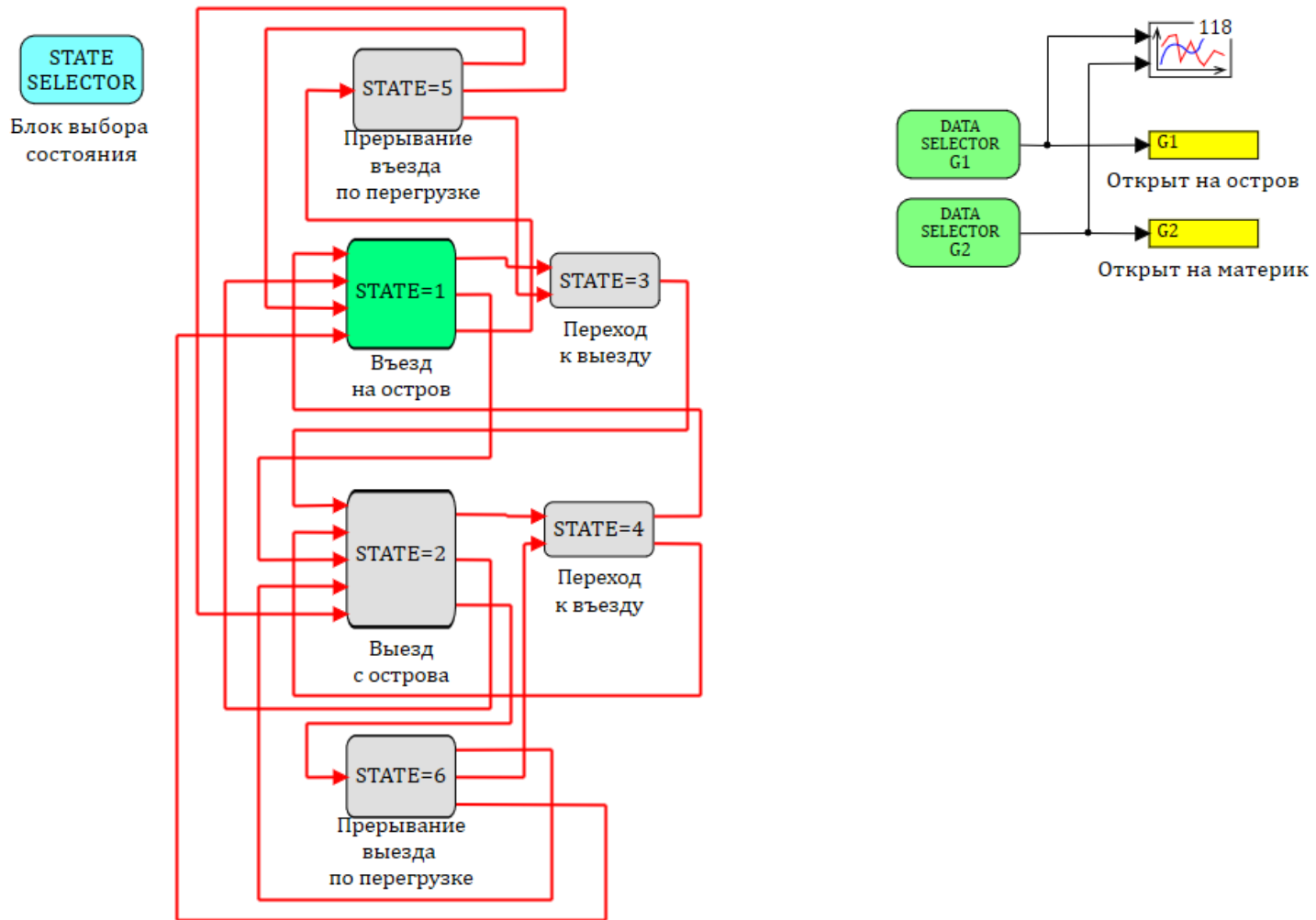
```
Блок "Язык программирования": Macro8.LangBlock22
Файл Правка Поиск Расчёт Справка Инструменты
1 input u, //Входное событие (может быть вещественным например массой)
- syncflag: boolean, //Флаг синхронизации перемещения
- outflag: boolean; //Флаг разрешения выезда с участка
- output ylast, //Выходной элемент (после выхода с участка)
- iswork:boolean, //Флаг - буфер движется
- buf: array = Cap#0, //Буфер накопления данных
- summa, //Общее к-во машин на выходе
- Si1, Si2; //Наличие машины на последнем участке - датчик потока
var dat;
10 if goodstep then begin
- dat = max(dat,u);
- // Перемещение данных в буфере
- if syncflag then begin
- // Перемещение на выход
- if outflag then begin
- ylast = buf[Cap];
- buf[Cap] = 0;
- end
- else
20 ylast = 0; //Если перемещение на выход заблокировано, то выход = 0
- // Перемещение внутри буфера
- if buf[Cap] = 0 then begin
- for (i = Cap, 2, -1) begin
- buf[i] = buf[i - 1];
- end;
-
- Buf[1] = dat;
- dat = 0;
- end;
30 //Выработка флага что первый элемент буфера свободен для перемещения в него данных
- //если iswork = false, это означает блокировку перемещения
- iswork = 1;
- //Выход последнего элемента буфера
- Si1 = buf[1];
- Si2 = buf[Cap];
- end;
37 end;
- summa = sum(buf);
```

Модель формирования флагов на основании датчиков потока

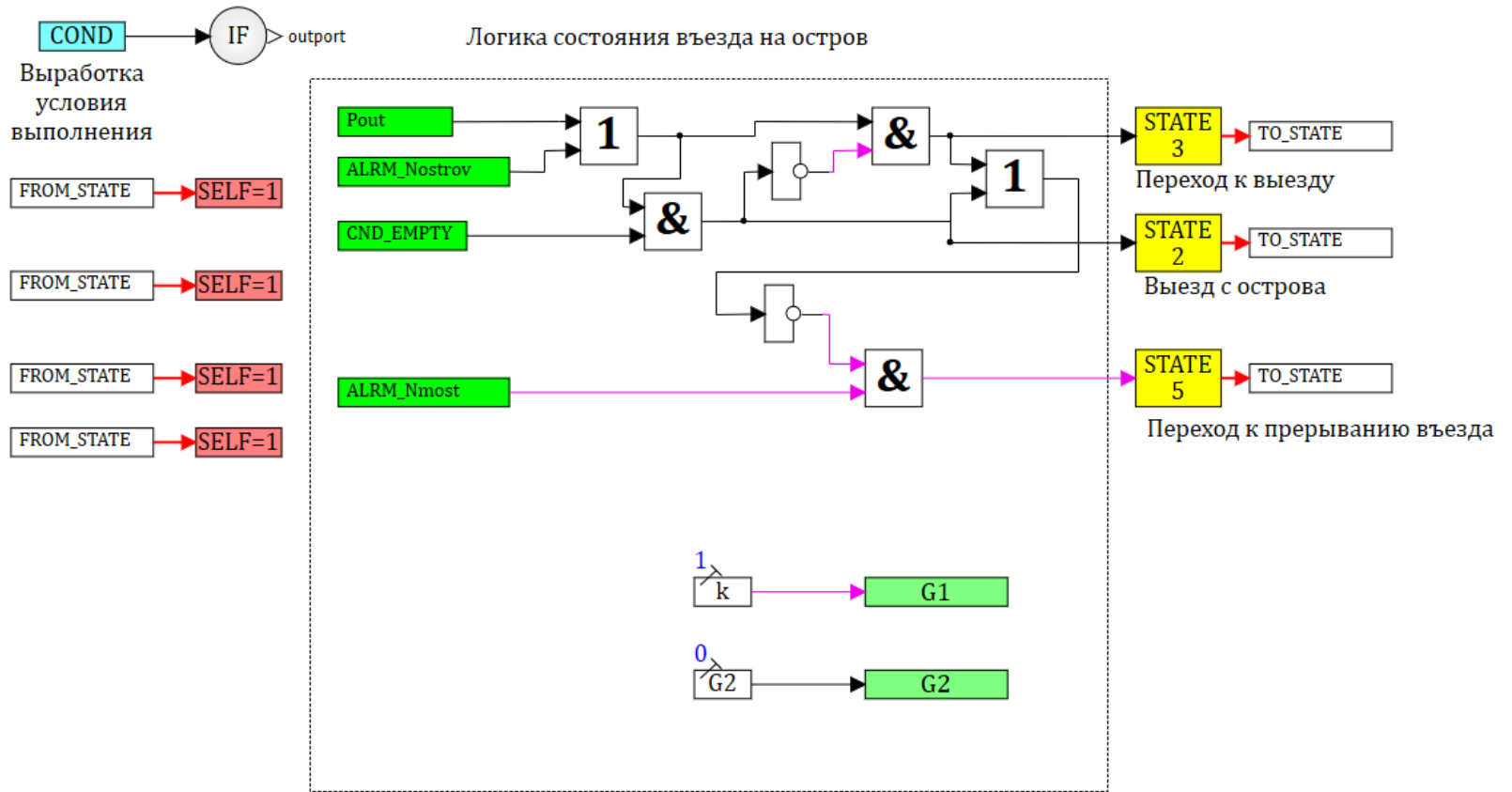
Блок расчёта количества машин на участках по датчикам путём дискретного интегрирования и флагов превышения допустимых параметров



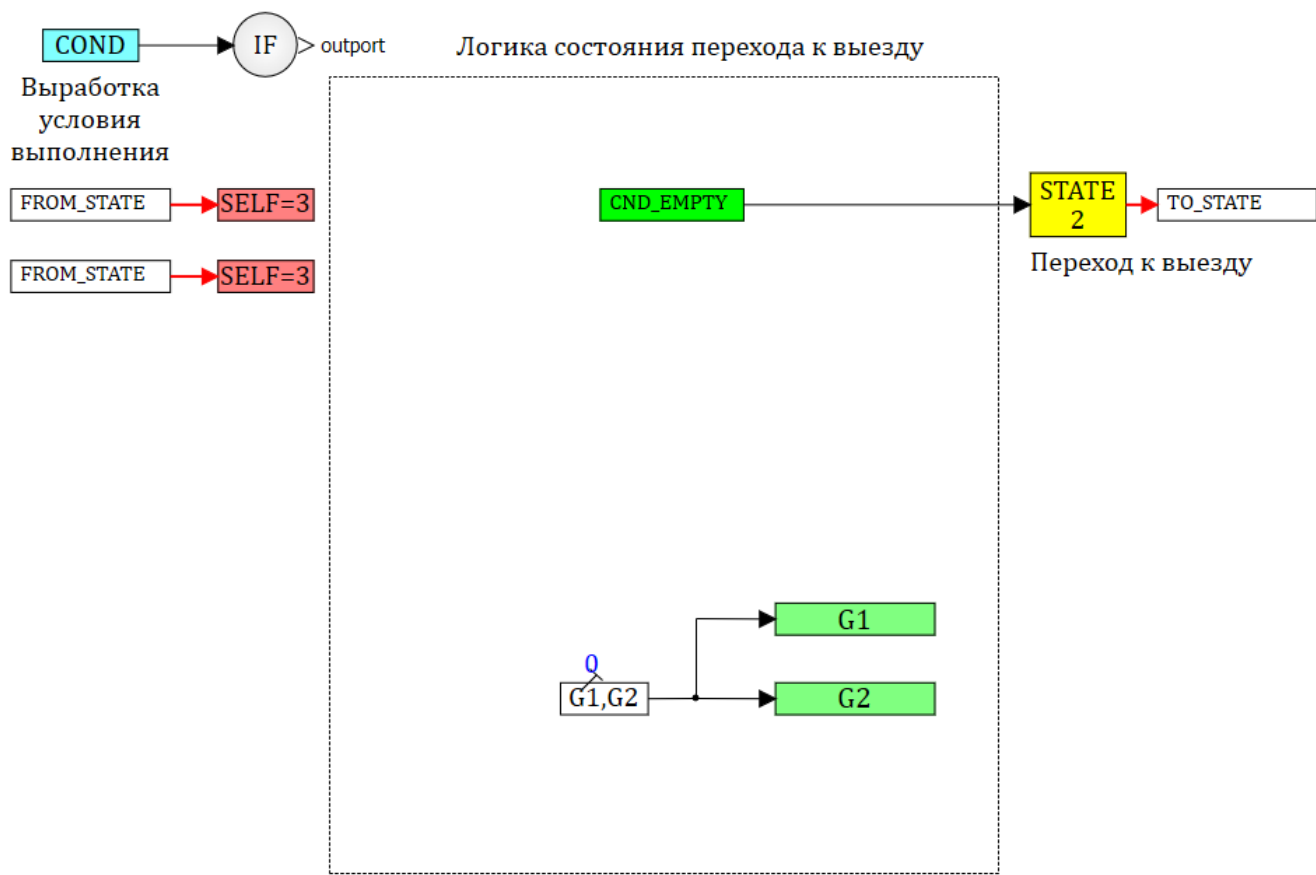
Карта состояний конечного автомата системы управления светофорами



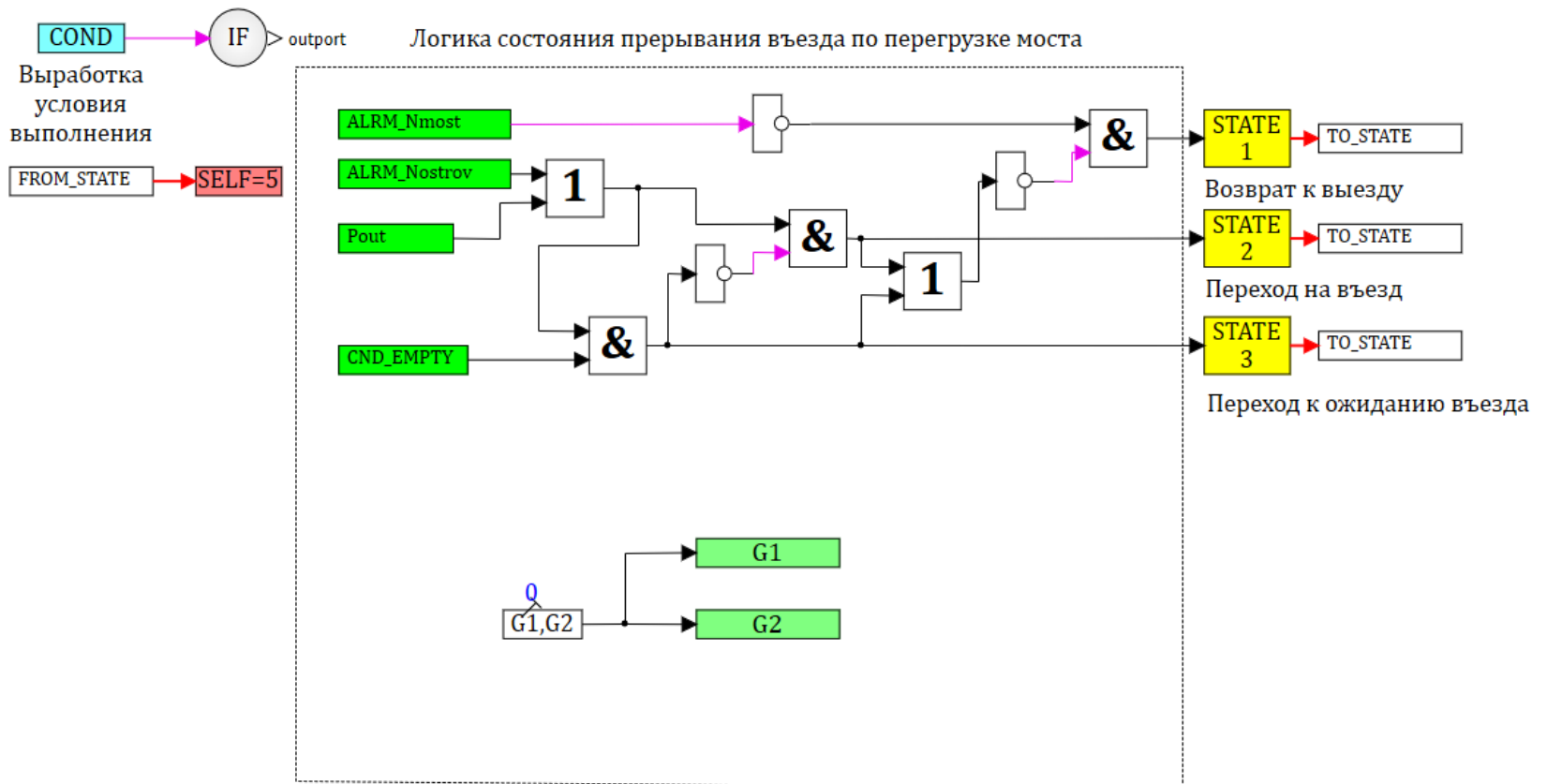
Структурная схема состояния въезда на остров



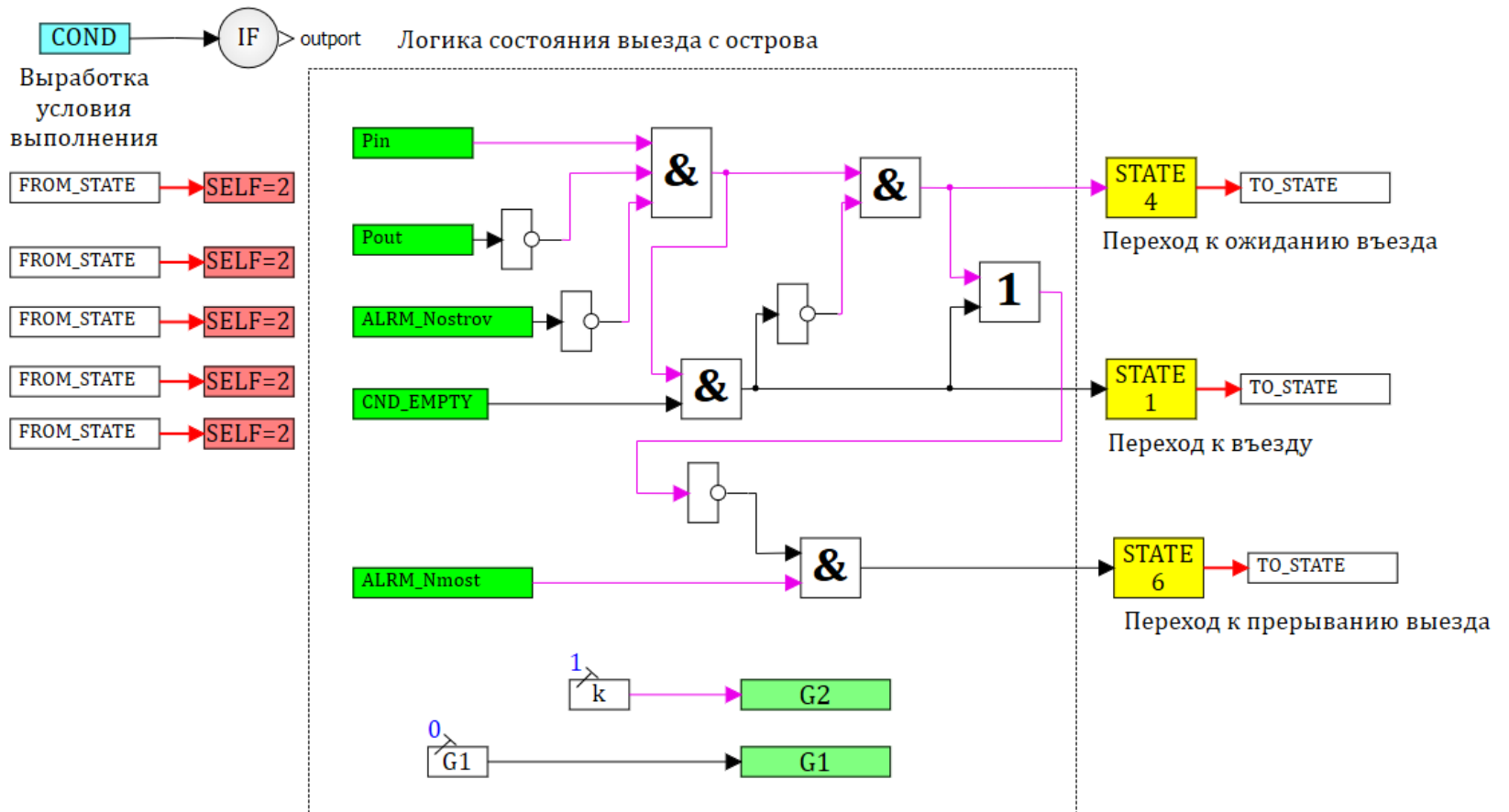
Структурная схема состояния перехода к выезду с острова



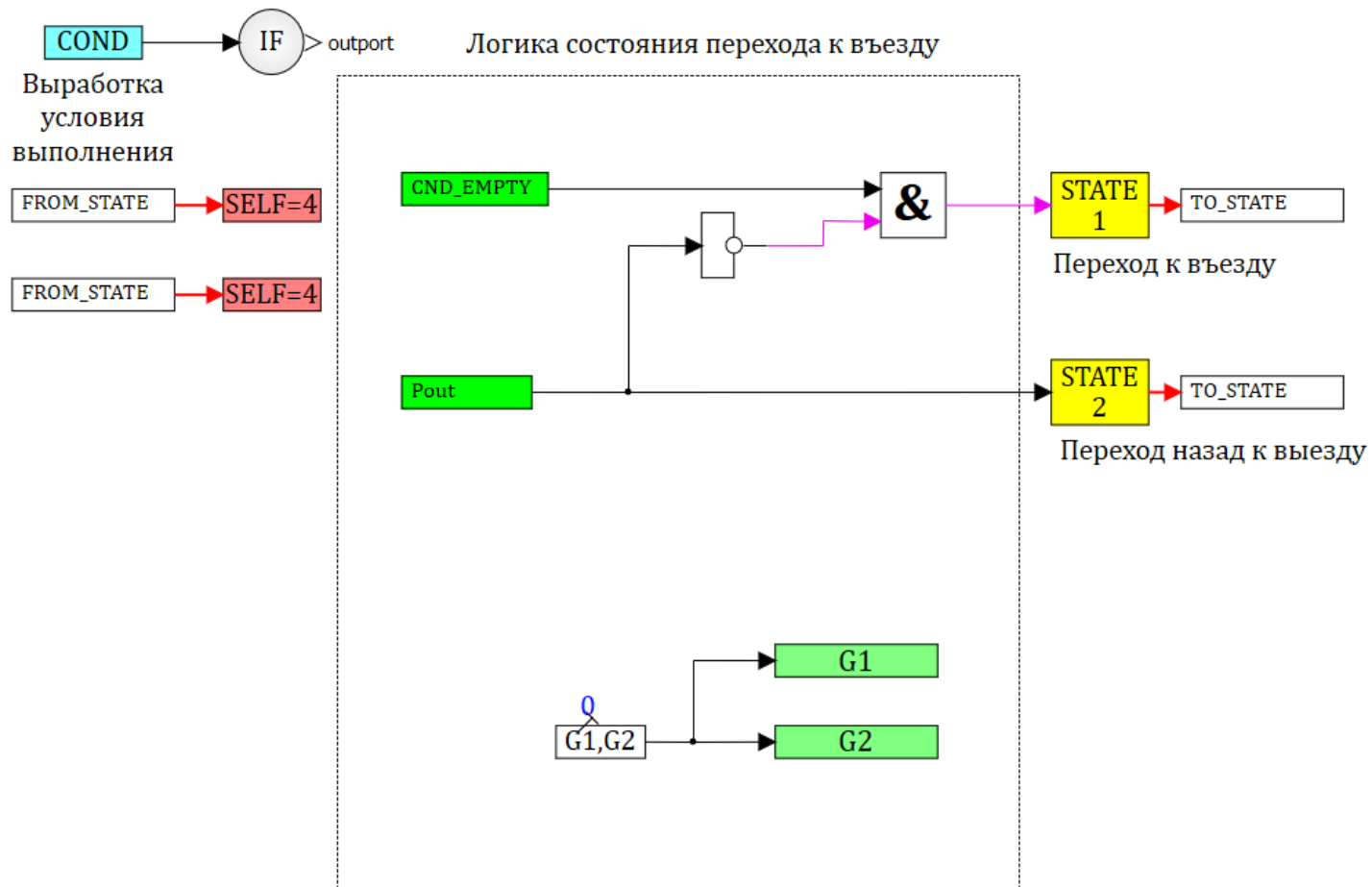
Структурная схема состояния аварийного прерывания въезда по перегрузке моста или острова



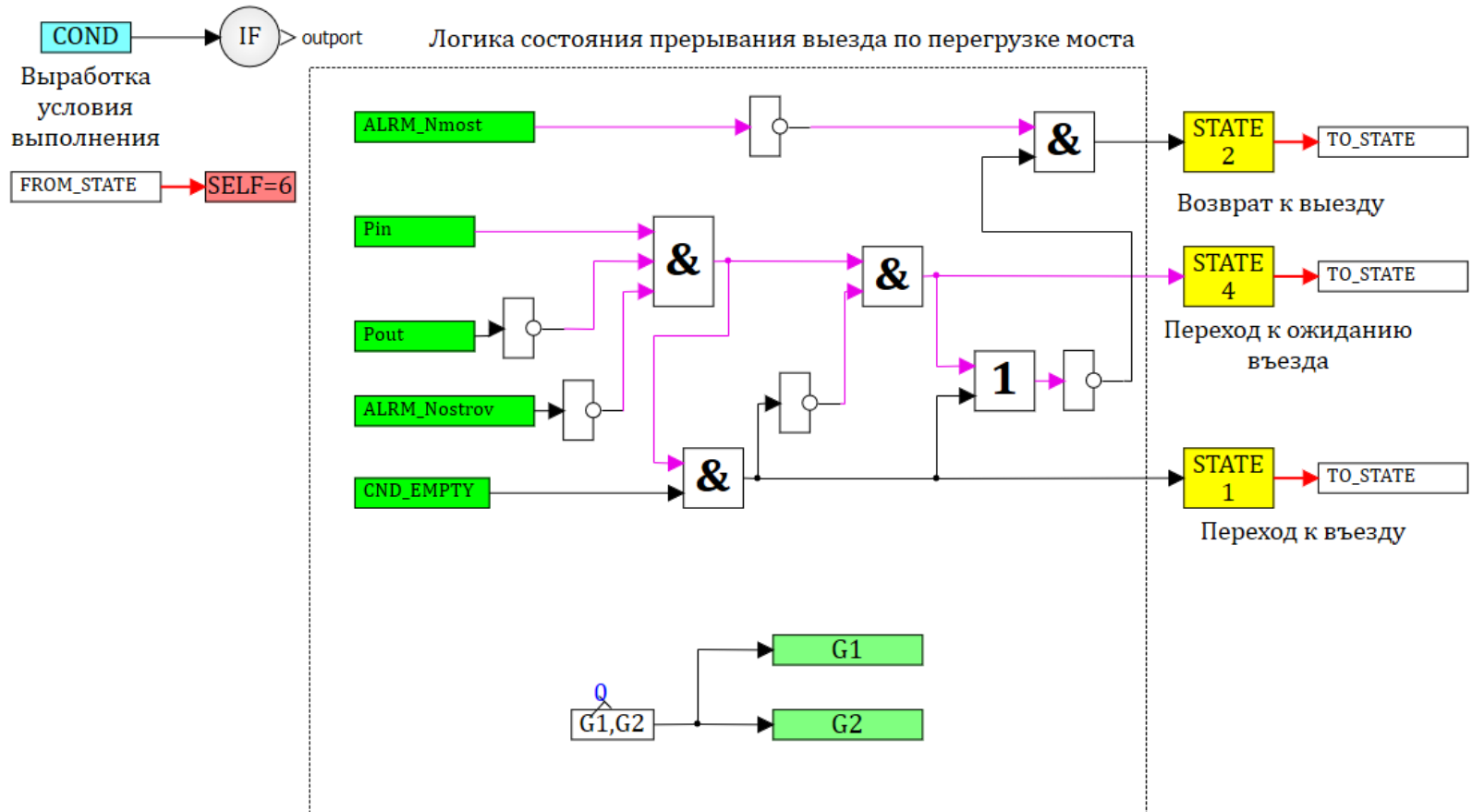
Структурная схема состояния выезда с острова



Структурная схема состояния перехода к въезду на остров



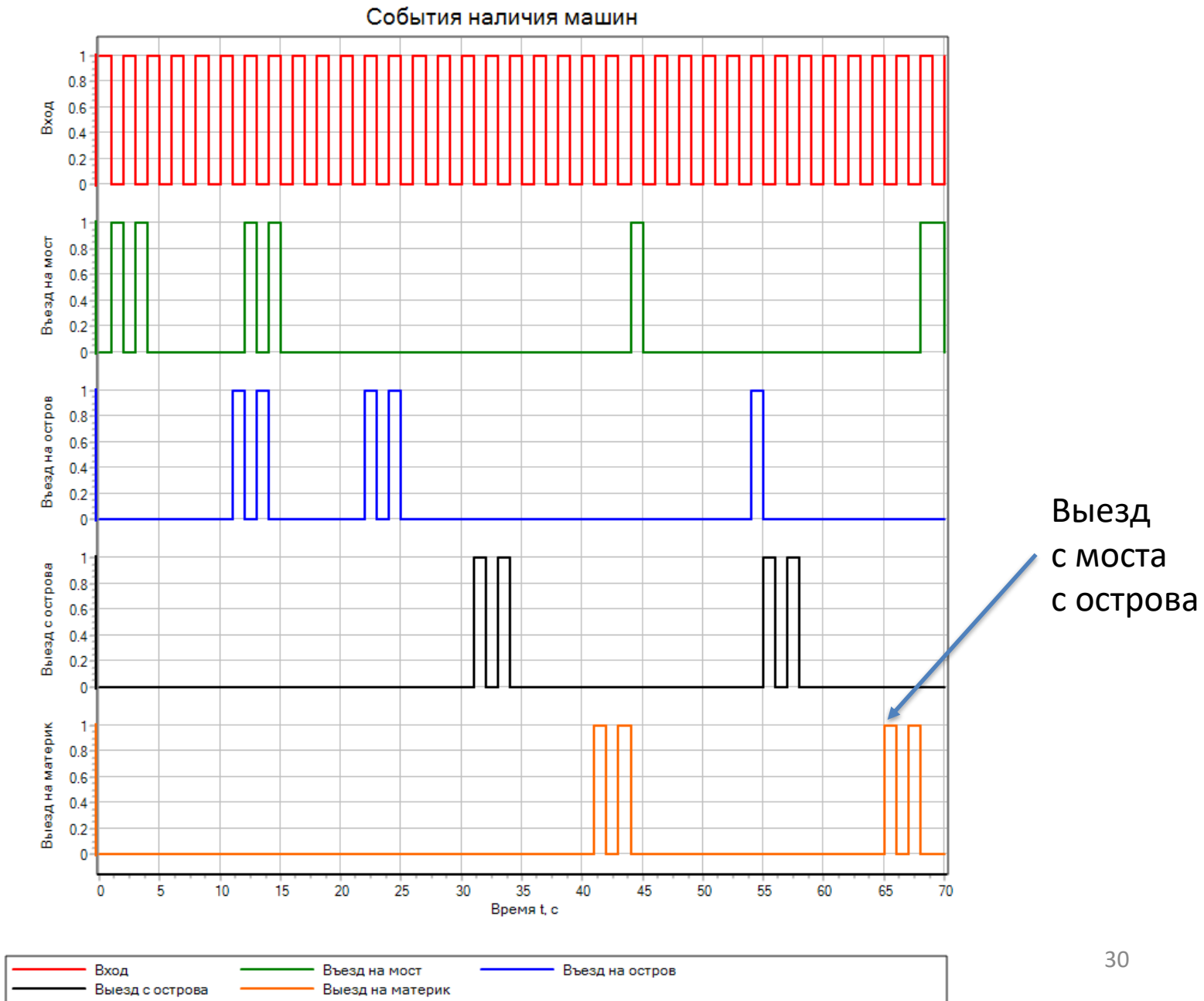
Структурная схема состояния аварийного прерывания выезда по перегрузке моста



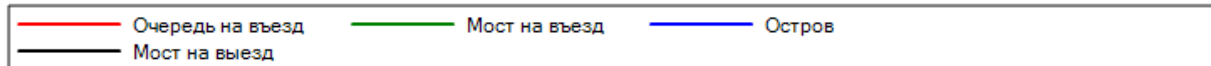
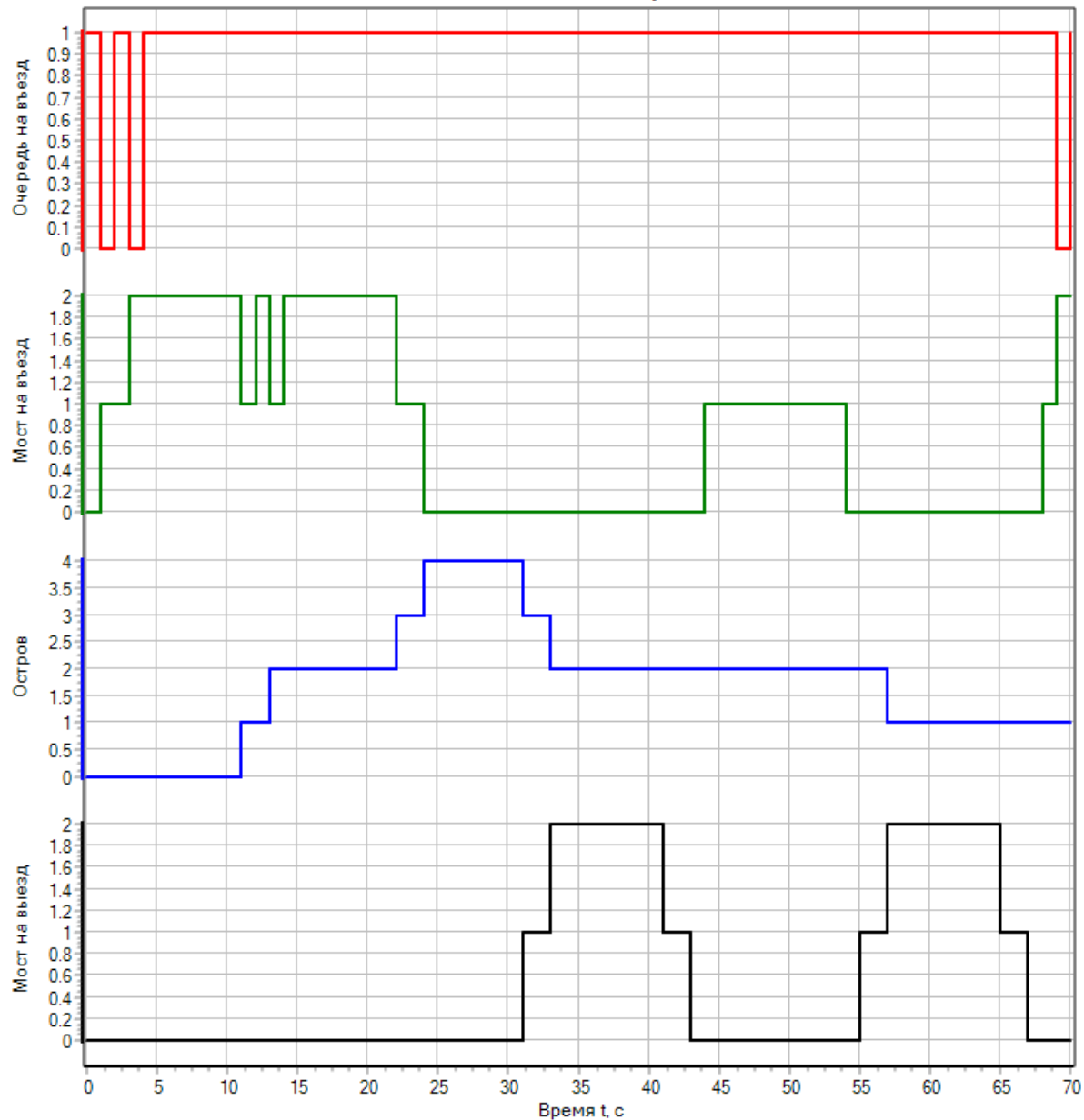
Модель движения транспорта на острове с внесённой для тестирования неравномерностью

```
Блок "Язык программирования": Macro8.LangBlock22
Файл  Правка  Поиск  Расчёт  Справка  Инструменты
[Icons]
1  input  u,           //Входное событие (может быть вещественным например массой)
   syncflag: boolean, //Флаг синхронизации перемещения
   outflag: boolean;  //Флаг разрешения выезда с участка
   output ylast,      //Выходной элемент (после выхода с участка)
   iswork:boolean,    //Флаг - буфер движется
   buf: array = Cap#0, //Буфер накопления данных
   summa,             //Общее к-во машин на выходе
   Si1, Si2;         //Наличие машины на последнем участке - датчик потока
   var dat;
10
   if goodstep then begin
   |   dat = max(dat,u);
   |   // Перемещение данных в буфере
   |   if syncflag then begin
   |   |   // Перемещение на выход
   |   |   if outflag then begin
   |   |   |   ylast = buf[Cap];
   |   |   |   buf[Cap] = 0;
   |   |   end
   |   |   else
   |   |   |   ylast = 0; //Если перемещение на выход заблокировано, то выход = 0
   |   |   |   // Перемещение внутри буфера
   |   |   |   if (buf[Cap] = 0) and // -- для тестирвоания модели ---
   |   |   |   |   ( (time < 36) or (time > 38) ) // Имитация неравномерного выезда
   |   |   |   then begin
   |   |   |   |   for (i = Cap, 2, -1) begin
   |   |   |   |   |   buf[i] = buf[i - 1];
   |   |   |   |   end;
   |   |   |   |   Buf[1] = dat;
   |   |   |   |   dat = 0;
   |   |   |   end;
   |   |   |   //Выработка флага что первый элемент буфера свободен для перемещения в него данных
   |   |   |   //если iswork = false, это означает блокировку перемещения
   |   |   |   iswork = 1;
   |   |   |   //Выход последнего элемента буфера
   |   |   |   Si1 = buf[1];
   |   |   |   Si2 = buf[Cap]
   |   |   end;
   |   end;
40 end;
   summa = sum(buf);
```

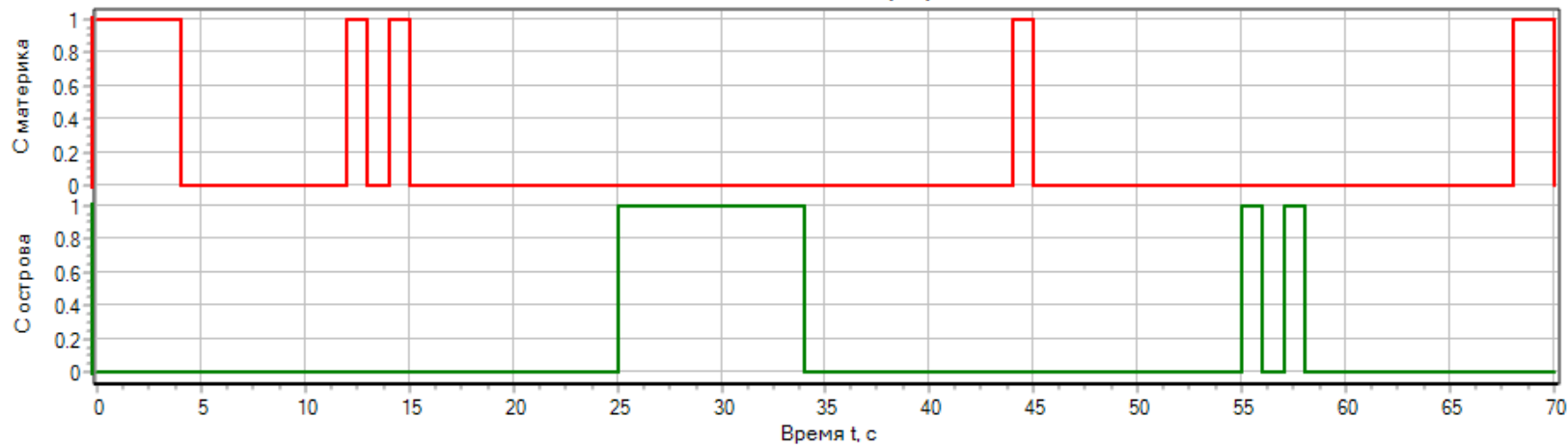
Графики событий движения автомобилей на участках дороги для сценария с неравномерным выездом с острова.



Количество машин на участках

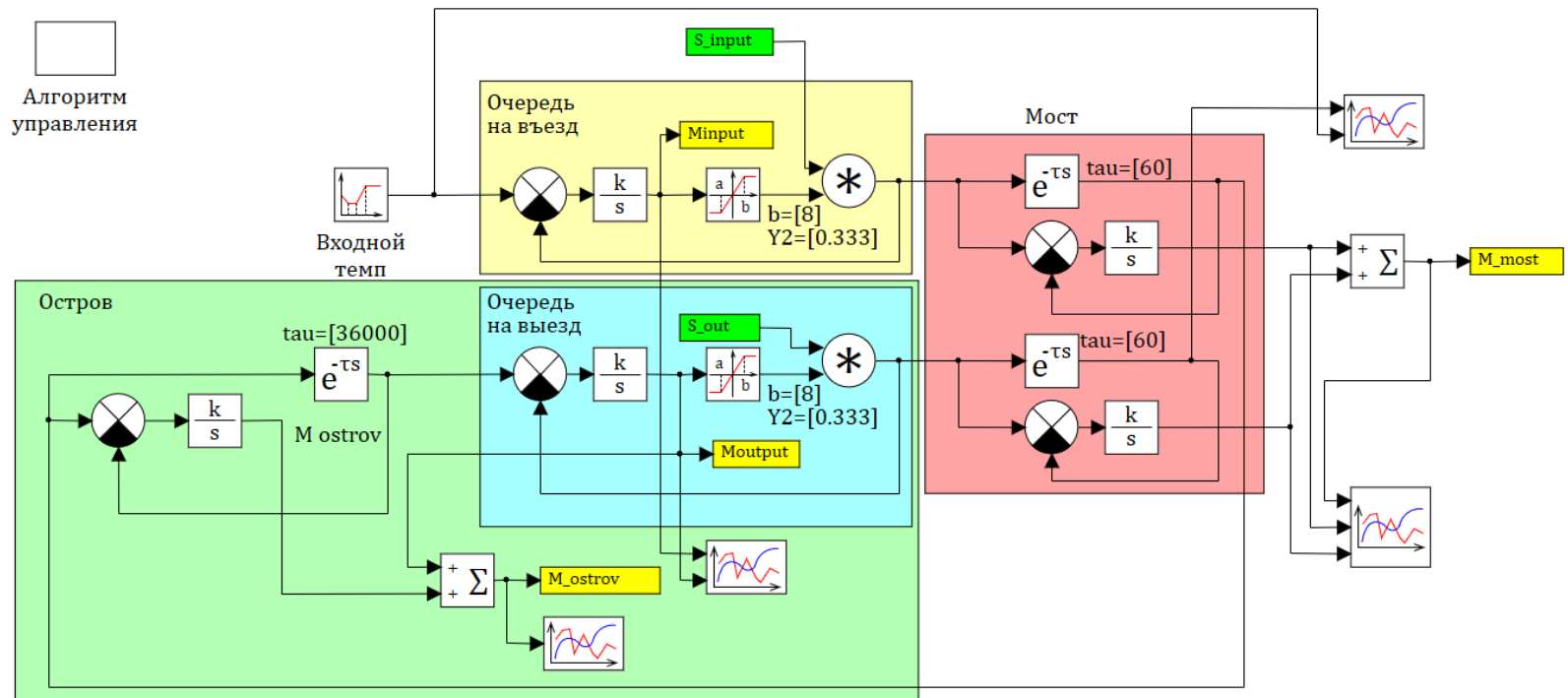


Состояния светофоров

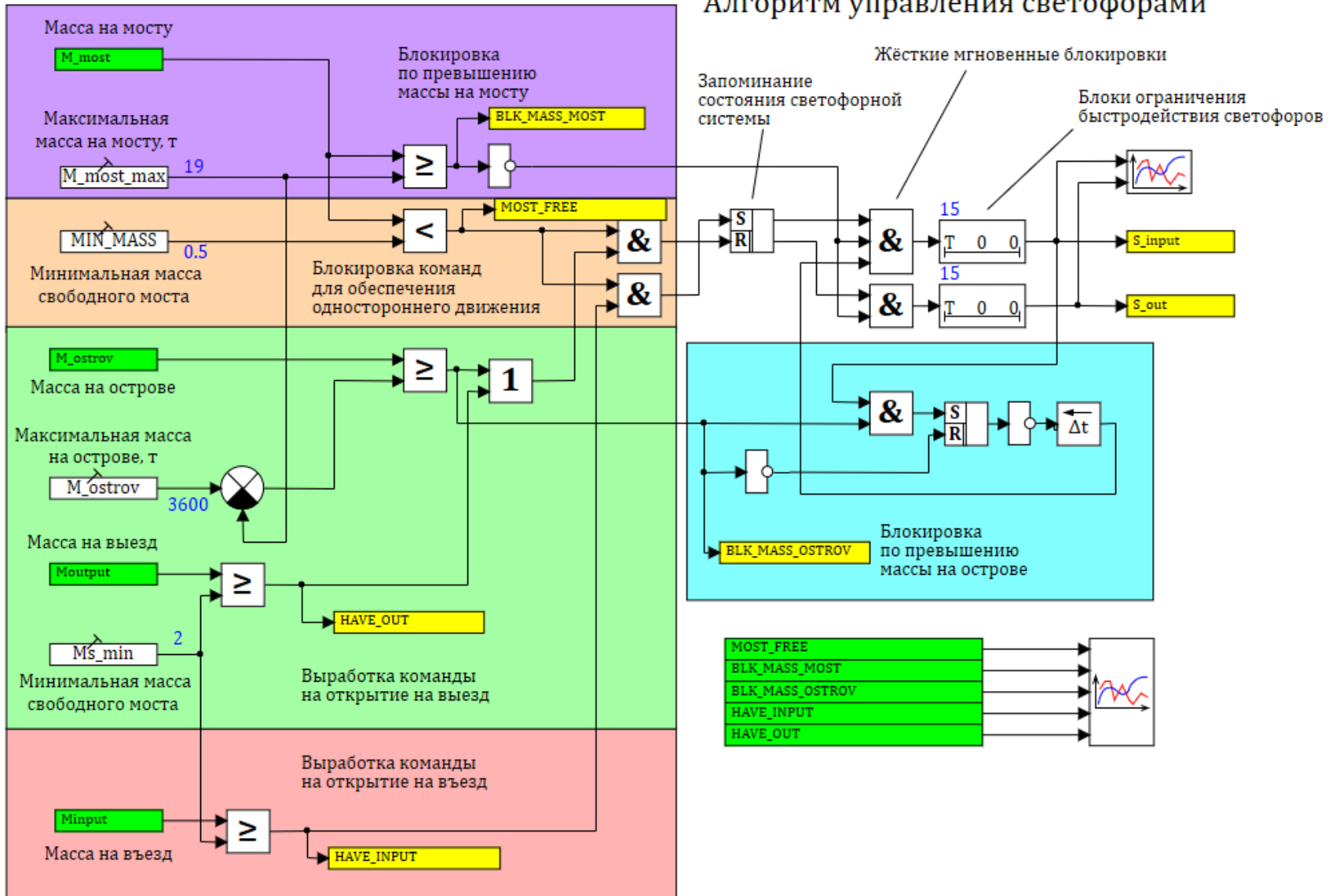


Модель в приближении системной динамики

Модель грузопотока на остров с регулированием по ограничениям массы на мосту и острове и односторонним движением по мосту



Алгоритм управления светофорами



Параметры модели

Скрипт страницы : Главная страница: C:\WORK\Disse\Статьи мои\Модель транспортного потока\Модель\Модель моста системная динамика-с задержкой на острове.prt

Файл Правка Поиск Расчёт Справка Инструменты

```
1 //Скорость движения потока
- V = 60/3.6; // м/с
- // Среднее расстояние между машинами, метров
- Lone = 60;
- // Средний тоннаж единичной машины, тонн
- Mone = 1.2;
- // Максимальный темп, тонн/с
- MAX_TEMP = V*Mone/Lone;
- // Длины светофорных участков, метров
10 Ls = 100;
- // Минимальное расстояние между машинами на светофорном участке, м
- Lone_min = 15;
- // Максимальная масса машин на светофорном участке (накопление)
- Ms_max = Mone*Ls/Lone_min;
- // Длина моста, метров
- Lm = 1000;
- //Время проводимое машинами на мосту
- Tm = Lm/V;
- // Максимальное количество машин на острове
20 N_ost_max = 3000;
- // Максимальная масса на острове, т
- M_ostrov = N_ost_max*Mone;
- //Время проводимое машинами на острове, сек
- T_ostrov = 10*3600;
- //Ограничение массы на мосту, тонн
- M_most_max = 19;
- //Минимальная масса при которой дорога считается пустой
- MIN_MASS = 0.5;
- //Минимальная масса при которой фиксируется наличие машины перед светофором
30 Ms_min = 2;
- //Задержка включения светофора, сек
- Ts_on = 15;
```

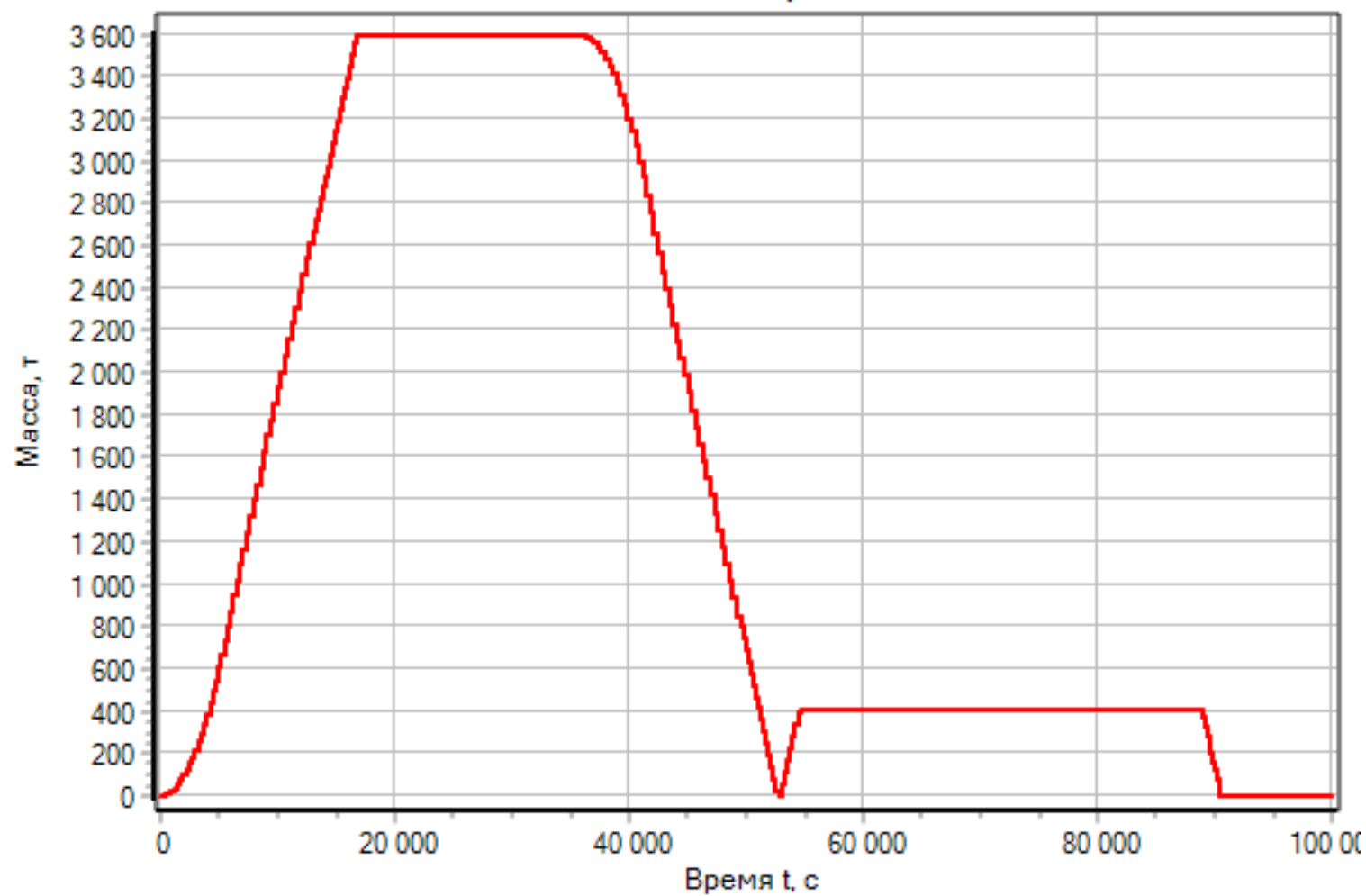
Просмотр значений переменных

Имя переменной	Тип	Значение	Флаги
Локальные переменные			
v	Вещественное	16.666667	const;
lone	Вещественное	60	const;
mone	Вещественное	1.2	const;
max_temp	Вещественное	0.33333333	const;
ls	Вещественное	100	const;
lone_min	Вещественное	15	const;
ms_max	Вещественное	8	const;
lm	Вещественное	1000	const;
tm	Вещественное	60	const;
n_ost_max	Вещественное	3000	const;
m_ostrov	Вещественное	3600	const;
t_ostrov	Вещественное	36000	const;
m_most_max	Вещественное	19	const;
min_mass	Вещественное	0.5	const;
ms_min	Вещественное	2	const;
ts_on	Вещественное	15	const;
Основная секция кода			
Секция инициализации			
Секция финализации			
Интерпретируемые свойства			
Функции			

Расчёт закончен

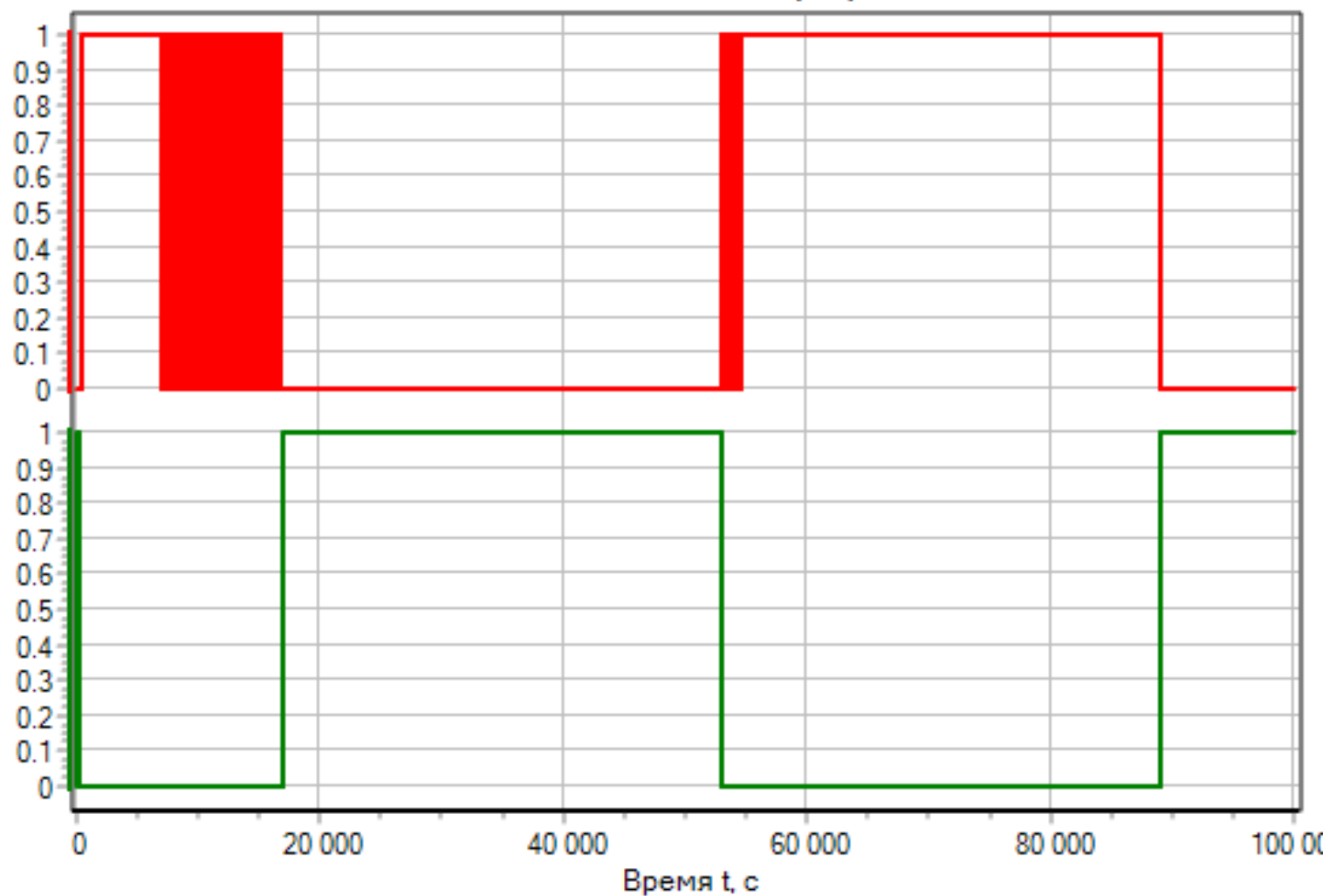
30: 12 Изменено

Масса на острове



— Масса на острове

Состояния светофоров



Команды и блокировки

