

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования «Кузбасский государственный  
технический университет имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра информационных и автоматизированных  
производственных систем

Составители

В. В. Зиновьев, А. Н. Стародубов,  
П. И. Николаев, И. С. Кузнецов

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ НА СЕТЯХ ПЕТРИ**

### **Методические указания к лабораторной работе**

Рекомендовано учебно-методической комиссией направления подготовки  
15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств  
в качестве электронного издания для использования в образовательном  
процессе

Кемерово 2022

**Рецензенты:**

**Чичерин И. В.** – к.т.н., доцент кафедры информационных и автоматизированных производственных систем

**Зиновьев Василий Валентинович**

**Стародубов Алексей Николаевич**

**Николаев Петр Игоревич**

**Кузнецов Игорь Сергеевич**

**Моделирование на сетях Петри:** методические указания к лабораторной работе для обучающихся направления подготовки 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств, всех форм обучения / сост. В. В. Зиновьев, А. Н. Стародубов, П. И. Николаев, И. С. Кузнецов; Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева. – Кемерово, 2022. – Текст : электронный.

В данных методических указаниях разработанных по дисциплине «Математическое моделирование» приведены : цель и задача, общие сведения об изучаемом материале, задания для выполнения, вопросы для самопроверки. Рекомендуемая литература для самостоятельной подготовки приведена в рабочей программе дисциплины.

© Кузбасский государственный  
технический университет имени  
Т. Ф. Горбачева, 2022

© В.В. Зиновьев, А.Н. Стародубов,  
П.И. Николаев, И.С. Кузнецов,  
составление, 2022

## Содержание

1	Основные теоретические положения.....	4
1.1	Математический аппарат сетей Петри .....	4
1.2	Проблемно – ориентированный имитатор NETSTAR.....	5
1.3	Модуль «Граф сети».....	6
1.4	Модуль «Результаты экспериментов».....	8
1.5	Модуль «Режим отладки».....	9
2	Пример выполнения лабораторной работы .....	9
3	Задание к лабораторной работе .....	20
4	Требования к отчету .....	21
5	Контрольные вопросы .....	21
6	Список рекомендуемой литературы .....	21

*Цель работы* – приобретение практических навыков у магистров по разработке имитационных моделей с помощью математического аппарата сетей Петри, с использованием проблемно-ориентированного имитатора NETSTAR.

## 1 Основные теоретические положения

### 1.1 Математический аппарат сетей Петри

Сеть Петри состоит из следующих элементов (табл.1).

Таблица 1

Основные элементы сети Петри

Графическое обозначение	Элемент сети Петри
	<b>Маркер</b> – динамический элемент сети. Отображает заготовки, детали, транспортные средства и т. д.)
	<b>Позиция (P)</b> –вершина графа сети. Задерживает маркеры на время выполнения операций и процессов (погрузка, обработка, транспортировка и т. д.)
	<b>Переход (T)</b> – вершина графа сети. Задаёт логику движения маркеров по сети.
	<b>Дуга</b> – определяет направление движения маркеров
	<b>Ингибиторная дуга</b> – запрещает срабатывание перехода, если в позиции, из которой она выходит, находится маркер.

*Сеть Петри* – двудольный ориентированный граф с вершинами двух типов: позициями  $P_i$  и переходами  $T_j$ . Динамика системы отображается движением маркеров через переходы от начальной к конечным позициям. Маркеры задерживаются в промежуточных позициях на время выполнения технологических операций. Логика работы технологической системы задается правилами движения маркеров через переходы  $T_j$ :

1. Если к переходу  $T_j$  подходит более одной дуги, то он открывается после выполнения последней операции в позициях, из которых к нему подходят дуги;

2. Дуга может иметь кратность, соответствующую числу проходящих через нее маркеров. Переход разрешен, если число

маркеров во входной позиции не меньше кратности дуги из этой позиции;

3. Если к переходу подходит несколько дуг, а выходит одна дуга, то несколько маркеров сливаются в один. Если к переходу подходит одна дуга, а выходят несколько дуг, то после перехода один маркер делится на несколько по числу дуг;

4. Переходы могут иметь разные приоритеты. В этом случае маркер сначала движется через переход с более высоким приоритетом;

5. Ингибиторная дуга, запрещает открывание перехода  $T_j$ , если в позиции, откуда она выходит, имеется маркер.

## 1.2 Проблемно – ориентированный имитатор NETSTAR

Имитатор NETSTAR разработан для компьютерной имитации дискретных процессов, представленных сетями Петри. На рис. 1.1 представлено основное рабочее поле имитатора с модулями: «Граф сети», «Структура сети», «Результаты имитационного эксперимента», «Режим отладки».

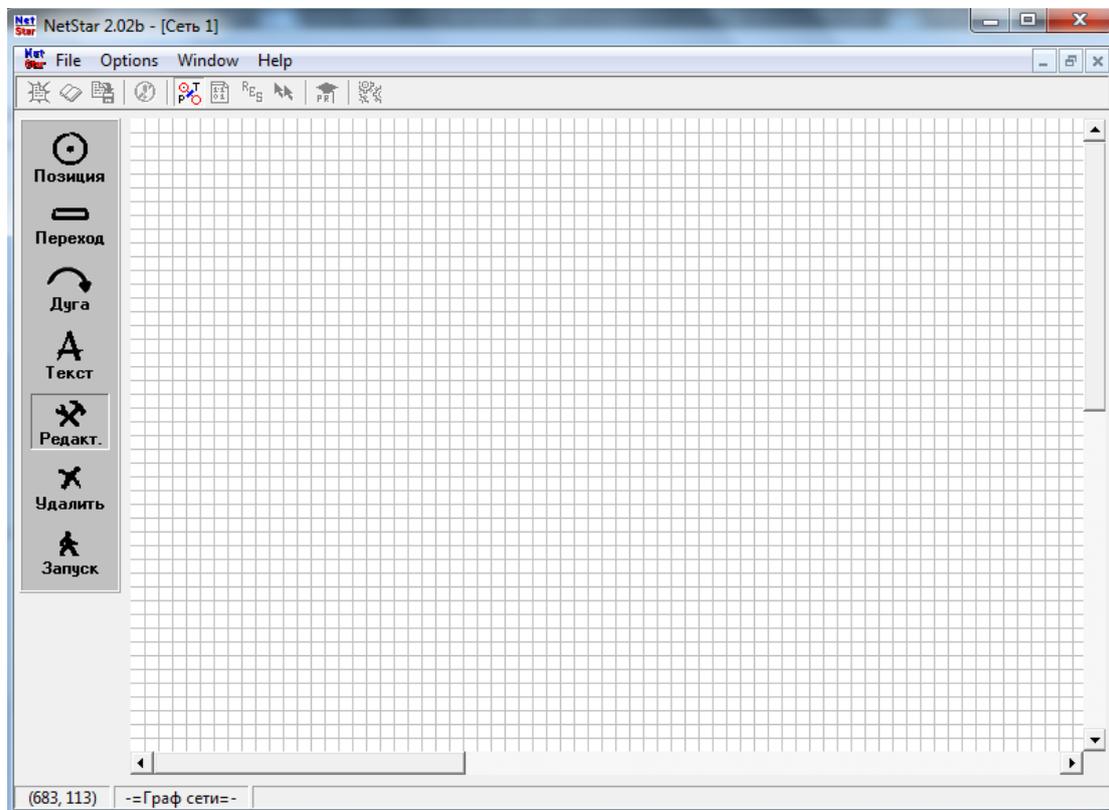
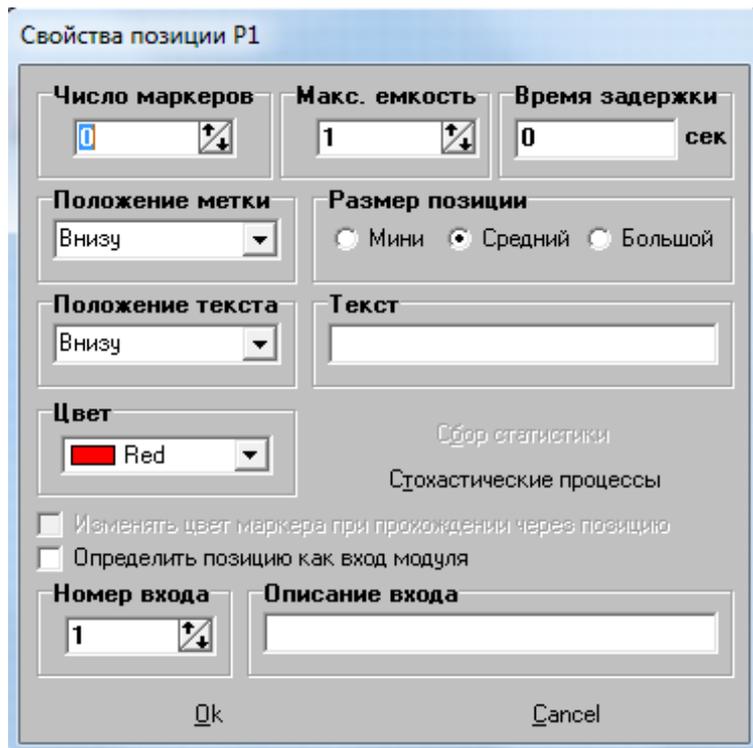


Рис. 1.1 Рабочее поле имитатора NETSTAR

### 1.3 Модуль «Граф сети»

Модуль открывают нажатием кнопки (  ). Модель собирают путем фиксации элементов сети на рабочем поле. Параметры элементов сети Петри (времена задержек, приоритеты переходов, кратности дуг) задают нажатием кнопки «Редактирование» (  ) и выбором соответствующего элемента сети (рис.1.2,1.3,1.4).

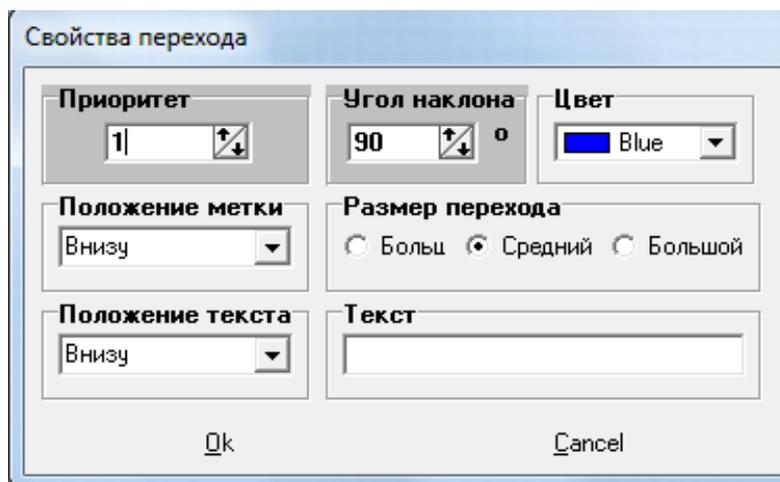


Свойства позиции P1

Число маркеров 0	Макс. емкость 1	Время задержки 0 сек
Положение метки Внизу	Размер позиции <input type="radio"/> Мини <input checked="" type="radio"/> Средний <input type="radio"/> Большой	
Положение текста Внизу	Текст	
Цвет Red	Сбор статистики Стохастические процессы	
<input type="checkbox"/> Изменять цвет маркера при прохождении через позицию	<input type="checkbox"/> Определить позицию как вход модуля	
Номер входа 1	Описание входа	

Ok Cancel

Рис.1.2. Задание свойств позиции



Свойства перехода

Приоритет 1	Угол наклона 90 °	Цвет Blue
Положение метки Внизу	Размер перехода <input type="radio"/> Большой <input checked="" type="radio"/> Средний <input type="radio"/> Большой	
Положение текста Внизу	Текст	

Ok Cancel

Рис.1.3. Задание свойств перехода

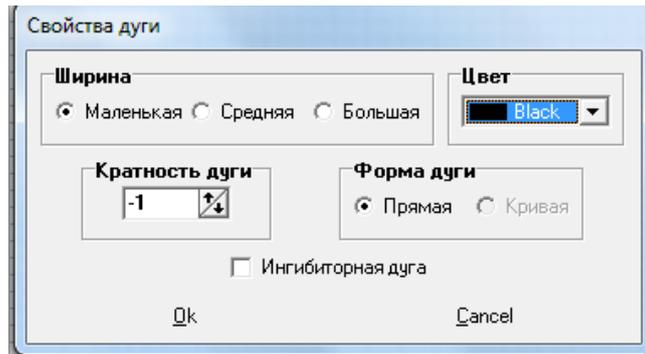


Рис.1.4. Задание свойств дуги

В позиции можно ввести случайное время задержки маркеров, выбрав заданный закон распределения случайной величины и задав соответствующие параметры (рис.1.5).

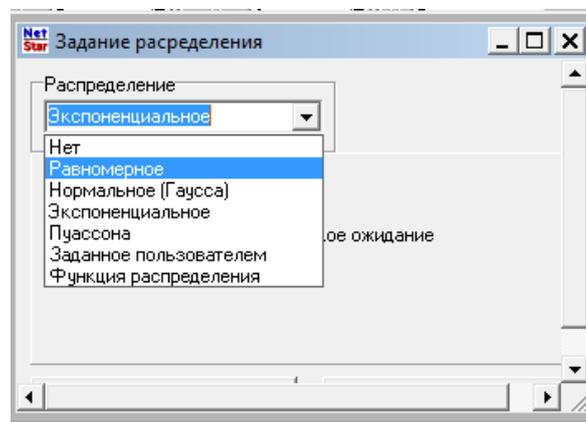


Рис.1.5. Выбор закона распределения

Комментарии к сети Петри можно ввести нажатием кнопки «Текст» (  )(рис.1.6).

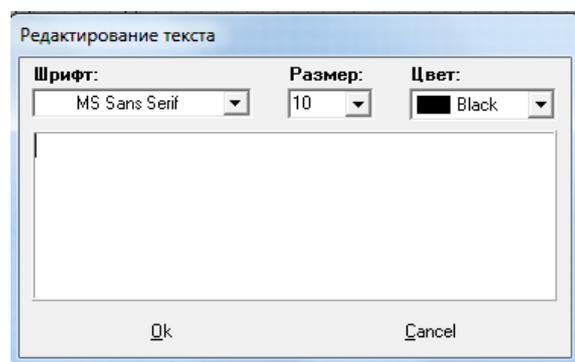


Рис.1.6. Ввод комментариев к позициям сети Петри  
Имитационный эксперимент запускается нажатием кнопки

«Запуск» (  ). После ее нажатия можно задать (рис.1.7):

- Время имитационного эксперимента;
- Шаг имитации (если выбран пункт Options | Фиксировать шаг времени);
- Число проходов (повторений имитационного эксперимента);
- Начальную и конечную позиции, между которыми проводится эксперимент.

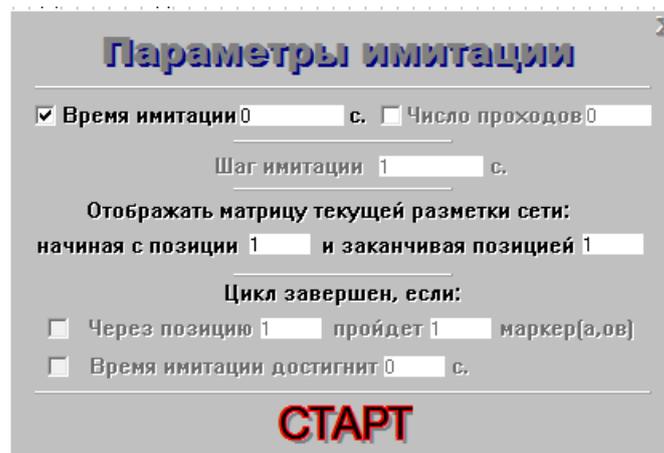


Рис.1.7. Задание параметров имитации

#### 1.4 Модуль «Результаты экспериментов»

Модуль открывается нажатием кнопки (  ), после чего появляется матрица текущей маркировки (рис.1.8), которая показывает размещение маркеров в позициях сети Петри на каждом шаге модельного времени. Оценивая движение маркеров между заданными позициями, пользователь может определить время рабочего цикла или загрузку оборудования.

File Options Window Help

Время цикла: 100000 сек. Статистика

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	
0,00	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	
10,00	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	T1 T2 T3
20,00	1,0	0,0	0,1	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	T1 T2
21,25	1,0	0,0	0,1	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	T4
30,00	1,0	0,0	0,2	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	T1 T2
40,00	1,0	0,0	0,3	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	T1 T2
50,00	1,0	0,0	0,4	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	T1 T2
60,00	1,0	0,0	0,5	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	T1 T2
70,00	1,0	0,0	0,6	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	T1 T2
80,00	1,0	0,0	0,7	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	T1 T2
90,00	1,0	0,0	0,8	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	T1 T2
100,00	1,0	0,0	0,9	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	T1 T2
110,00	1,0	0,0	0,10	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	T1 T2
120,00	1,0	0,0	0,10	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	T1 T2
121,25	1,0	0,0	0,10	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	T5
130,00	1,0	0,0	0,10	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	T1 T2
136,75	1,0	0,0	0,10	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	T6
140,00	1,0	0,0	0,10	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	T1 T2
150,00	1,0	0,0	0,10	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	T1 T2

--Результаты--

Рис.1.8. Матрица текущей маркировки

## 1.5 Модуль «Режим отладки»

Режим отладки помогает при проверке адекватности модели. Вход в режим отладки осуществляется путем нажатия на кнопку (  ). После этого необходимо нажать кнопку «Запуск» в левом меню. Затем в меню «Параметры имитации» задать время имитации и нажать кнопку «СТАРТ». После этого рядом с кнопкой режима отладки появятся кнопки – «Запустить отладку» (  ), при помощи которой можно последовательно проследить движение маркеров по сети Петри и «Закончить отладку» (  ).

## 2 Пример выполнения лабораторной работы

### Описание объекта моделирования

Обрабатывающий центр содержит два независимо функционирующих станка с ЧПУ. В центр на обработку поступает равномерный поток заготовок. Для обработки одних заготовок требуется полуавтомат центровально-подрезной 2А931, для выполнения других – координатно-расточной станок 2А470. Выбор станков происходит случайным образом: с вероятностью, равной, 35,1 %, заготовки направляются на станок 2А931, и с вероятностью 64,9 % – на станок 2А470. Интервалы между поступлениями заготовок в центр распределены равномерно и равны  $1000 \pm 400$  мин. Времена работы станков по выполнению обработки также равномерно распределены со значениями равными соответственно  $800 \pm 500$  мин и  $1200 \pm 200$  мин. В обрабатывающем центре установлены три накопителя. Если во время прихода заготовки станок занят, она попадает в накопитель.

### Задание

1. Разработайте имитационную модель обрабатывающего центра, используя проблемно-ориентированный имитатор сетей Петри NETSTAR.

2. На разработанной модели проведите эксперименты и определите:

- Количество обработанных деталей за 30 суток непрерывной работы;
- Коэффициент загрузки станков с ЧПУ.

## Ход выполнения работы

Отообразим работу обрабатывающего центра в виде сети Петри, используя имитатор NETSTAR (рис. 2.1).

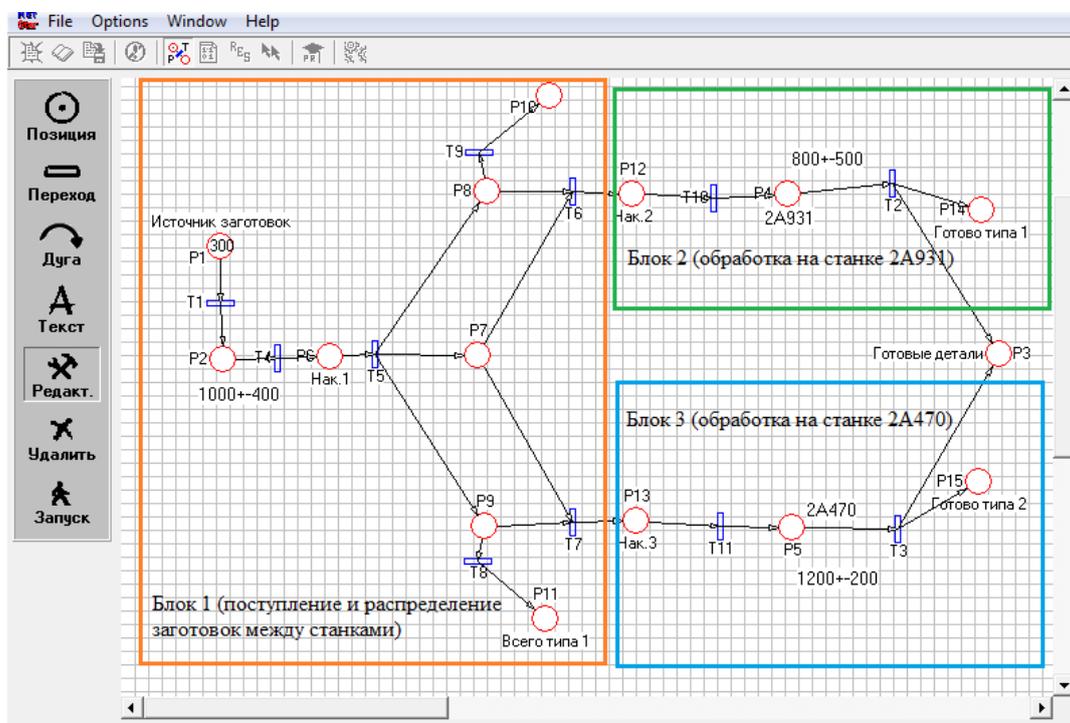


Рис. 2.1 Модель обрабатывающего центра в виде сети Петри

Условно, модель состоит из трех модулей:

- Поступление и распределение заготовок;
- Работа станка 2A931;
- Работа станка 2A470.

Маркеры представляют собой заготовки, которые по мере прохождения по позициям преобразуются в готовые детали. Нахождение маркера в каждой позиции имитирует событие или процесс, происходящий в реальной системе:

**P1** – количество поступающих заготовок.

**P2** – поступление заготовок.

**P6** – нахождение заготовок в накопителе.

**P7, P8, P9** – случайный выбор станков.

**P10, P11** – счетчики количества заготовок 1 и 2 типа.

**P12, P13** – нахождение заготовок в промежуточных накопителях.

**P4, P5** – обработка заготовок на станках с ЧПУ.

**P14, P15** – счетчики количества обработанных заготовок 1 и 2 типа.

**P3** – попадание готовой детали в накопитель.

Поступление заготовок в систему в соответствии с описанием объекта моделирования отображено путем задания в позиции P2 равномерно распределенного интервала от 600 до 1400 мин (рис.2.2).

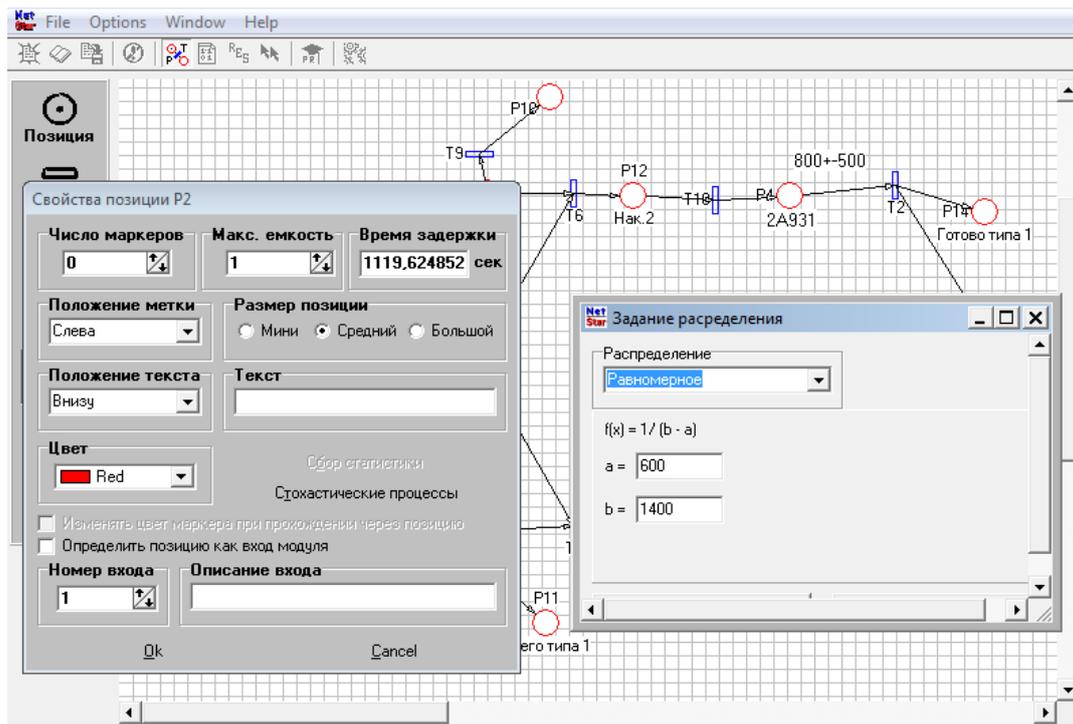


Рис. 2.2 Задание параметров в позиции P2 (поступление заготовок)

Для реализации вероятностного распределения заготовок между станками использованы позиции P7 – P11. После того, как маркер проходит через переход T5, что соответствует поступлению заготовки на обработку, маркер разделяется на 3 части и попадает в позиции P7, P8 и P9. Для задания вероятностного перераспределения маркеров, в позиции P9 установлена фиксированная задержка, равная вероятности 0.351, т. е. вероятности направления заготовки на станок 2A931 (рис.2.3).

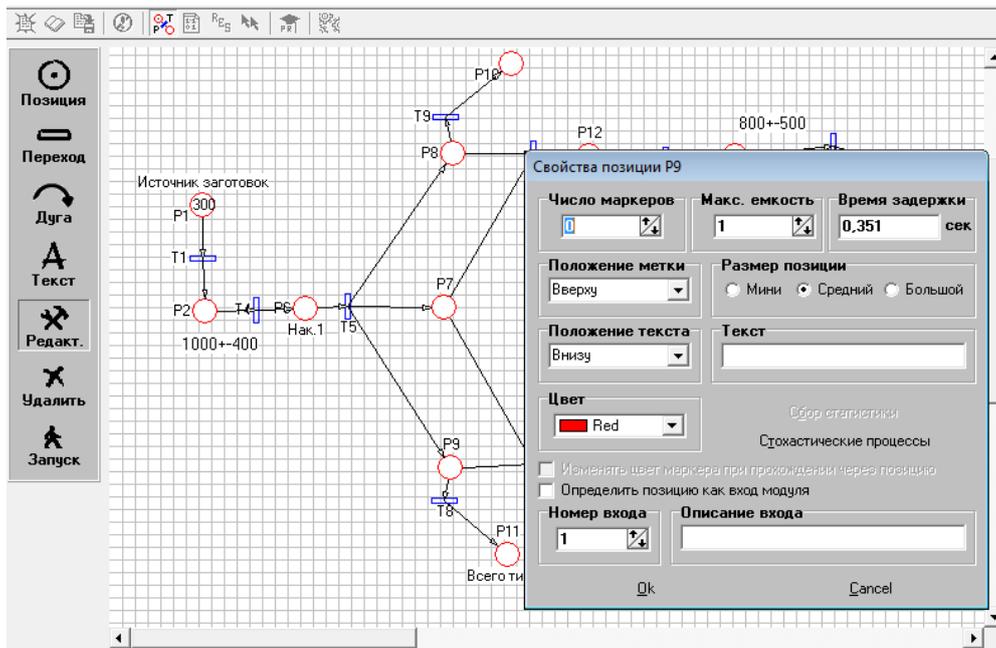


Рис. 2.3 Задание параметров в позиции P9

В позиции P8 установлено равномерное распределение в интервале от 0 до 1(рис.2.4).

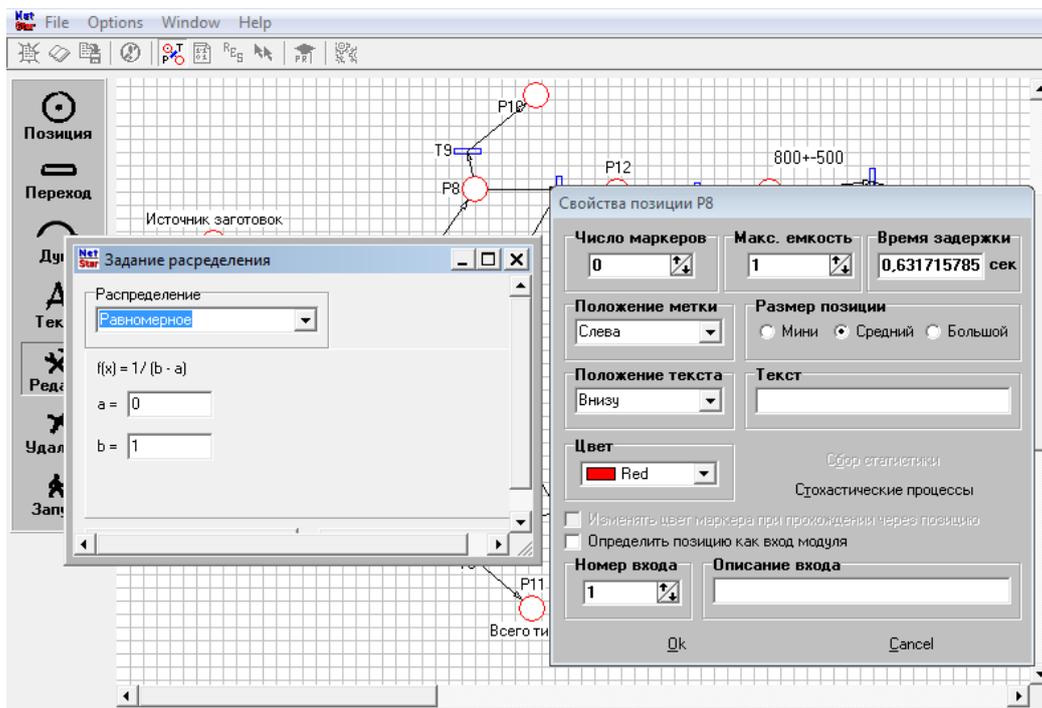


Рис. 2.4 Задание параметров в позиции P8

Таким образом, при розыгрыше случайных чисел вероятность выпадения в позиции P8 числа большего, чем в позиции P9



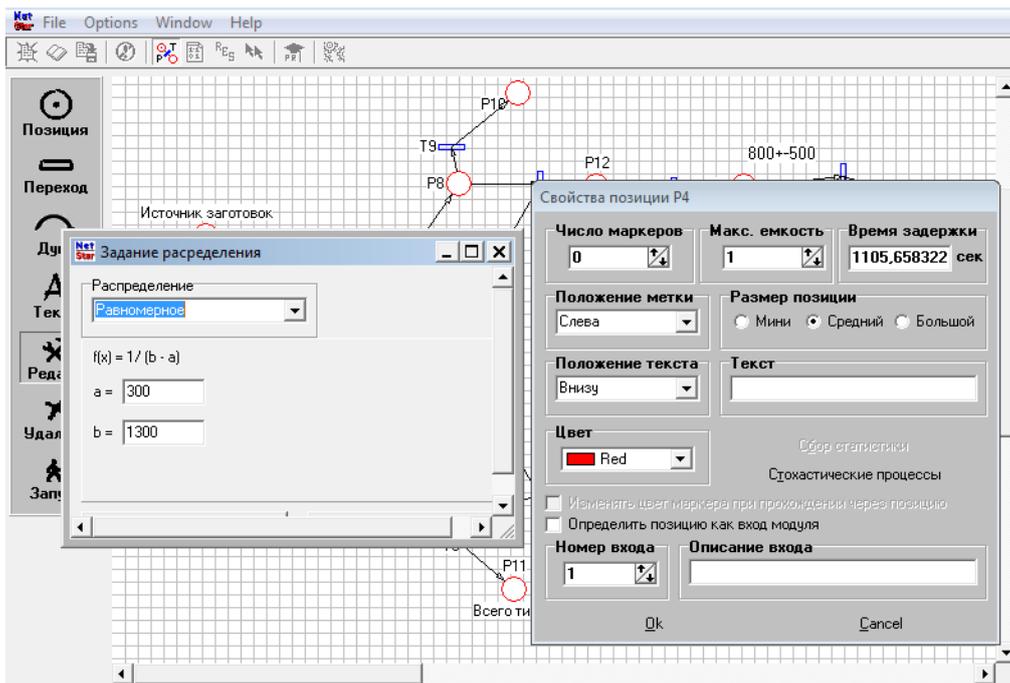


Рис. 2.6 Задание параметров в позиции P4 (обработка на станке 2A931)

После выхода маркера из позиции P4, он через переход T2 раздваивается и попадает в позицию P14, где происходит подсчет готовых деталей типа 1 (рис. 2.7) и в позицию P3, где идет подсчет готовых деталей всех типов (рис. 2.8).

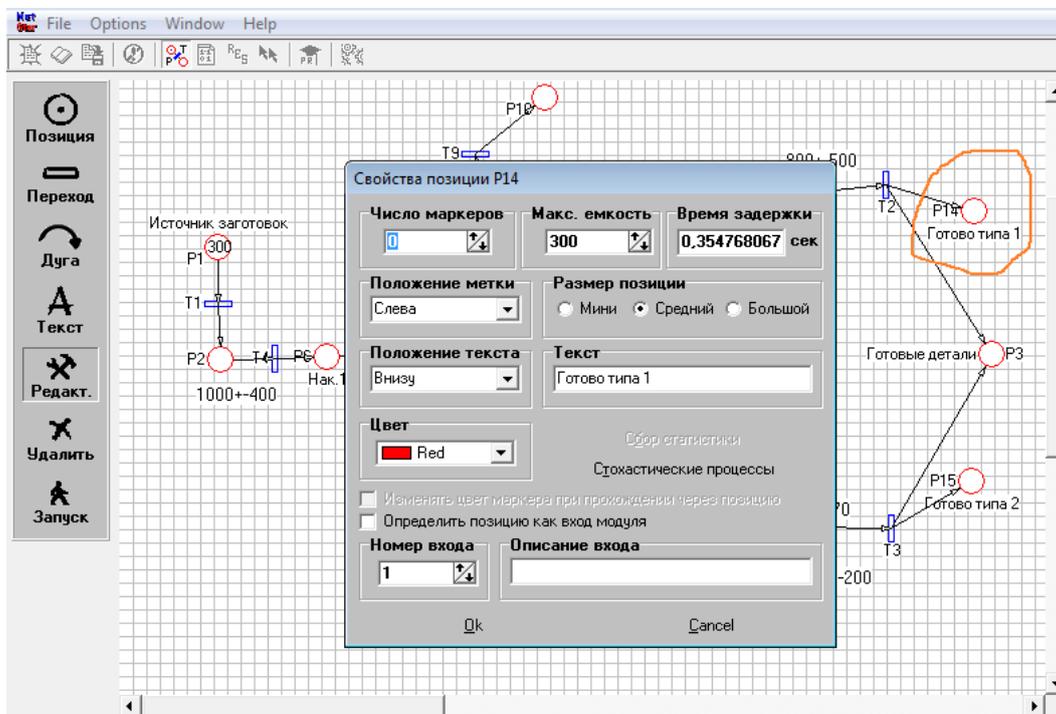


Рис. 2.7 Задание параметров в позиции P14 (счетчик готовых деталей типа 1)

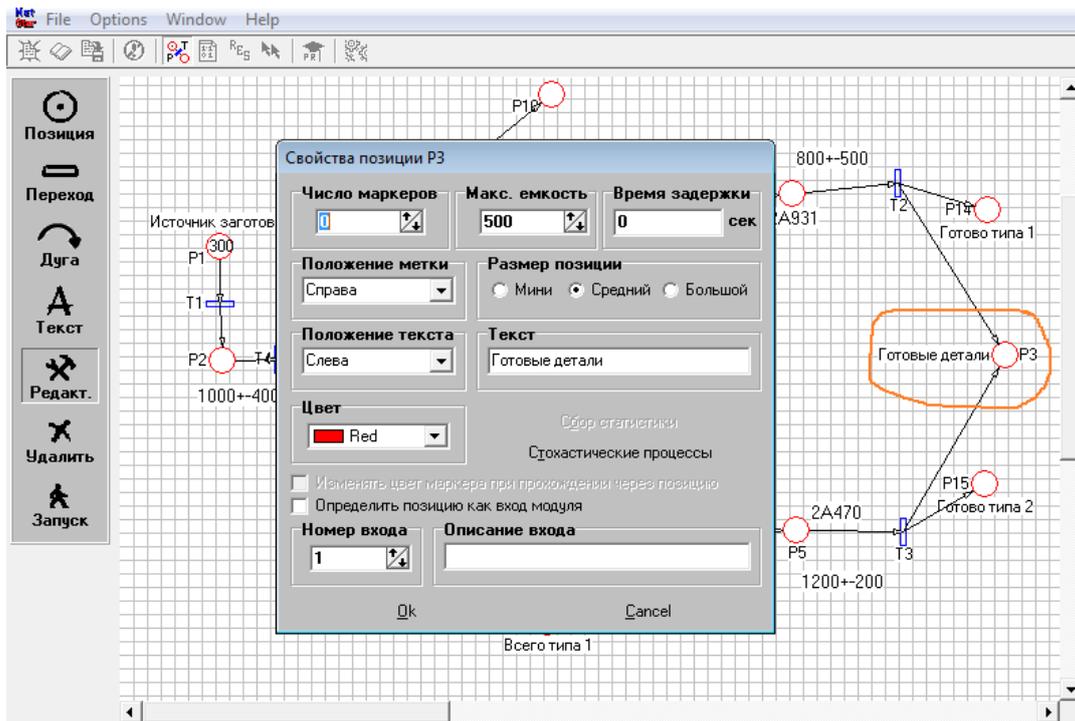


Рис. 2.8 Задание параметров в позиции P3  
(общий счетчик готовых деталей)

По такому же принципу смоделирована работа станка 2A470. Перед обработкой заготовка попадает в накопитель перед станком (позиция P13) рис.2.9 затем из накопителя – на обработку в станок (позиция P5) (рис.2.10).

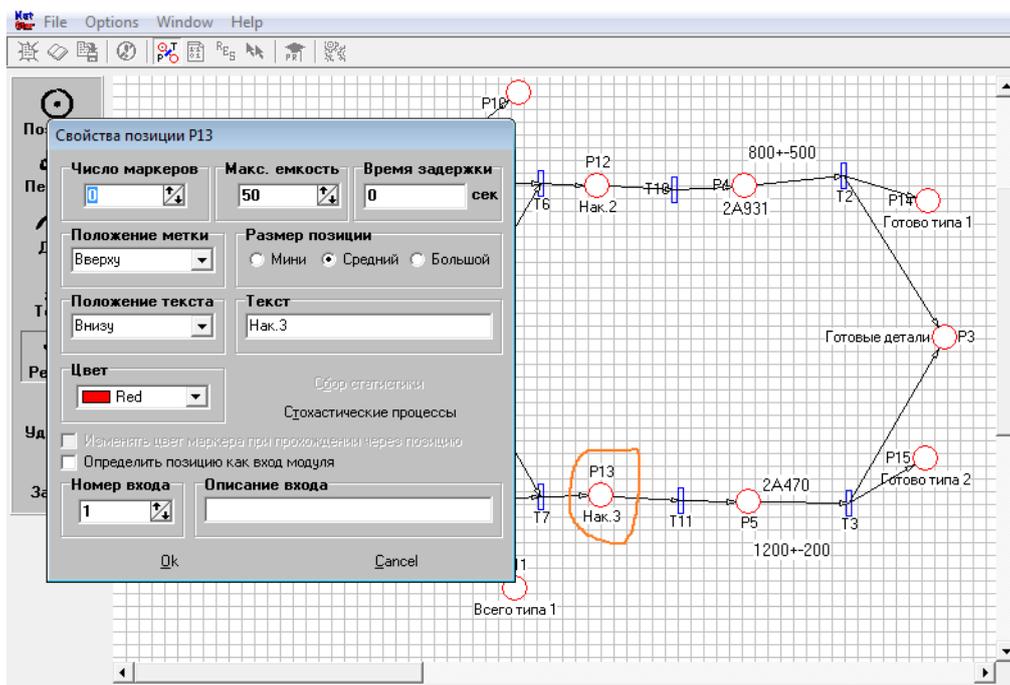


Рис. 2.9 Накопитель заготовок перед станком 2A470

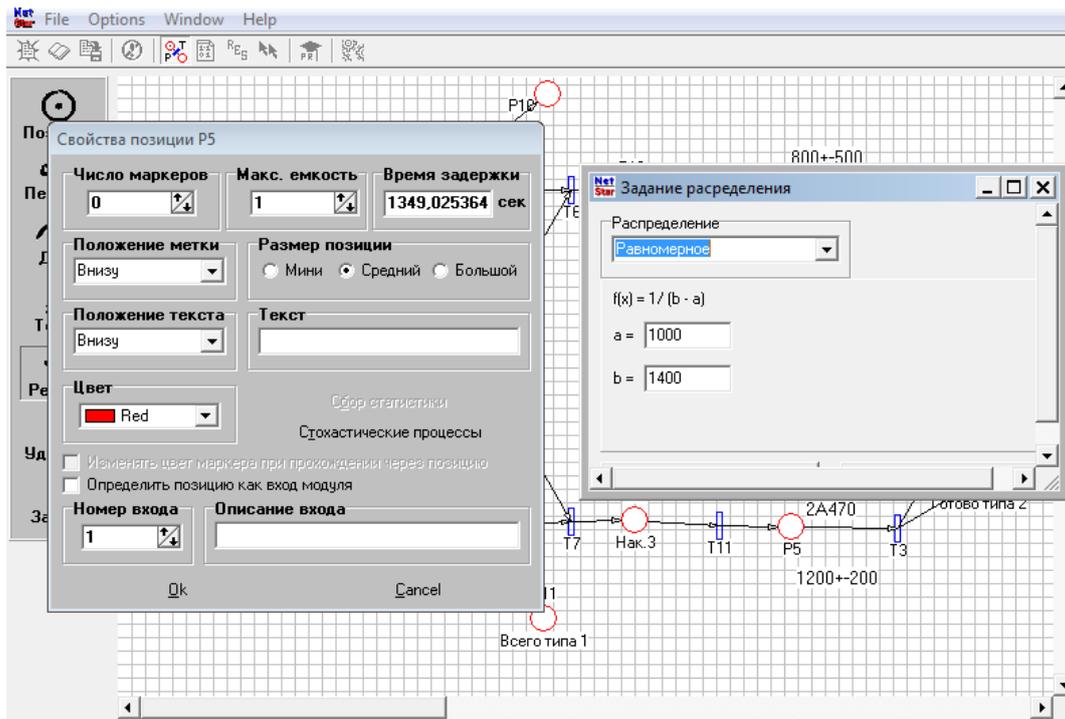


Рис. 2.10 Задание параметров в позиции P5  
(обработка заготовки на станке 2A470)

После прохода позиции P5, маркер через переход T3 разделяется и попадает в счетчик готовых деталей типа 2 (P15) рис.2.11 и подсчет готовых деталей всех типов (P3) рис.2.8.

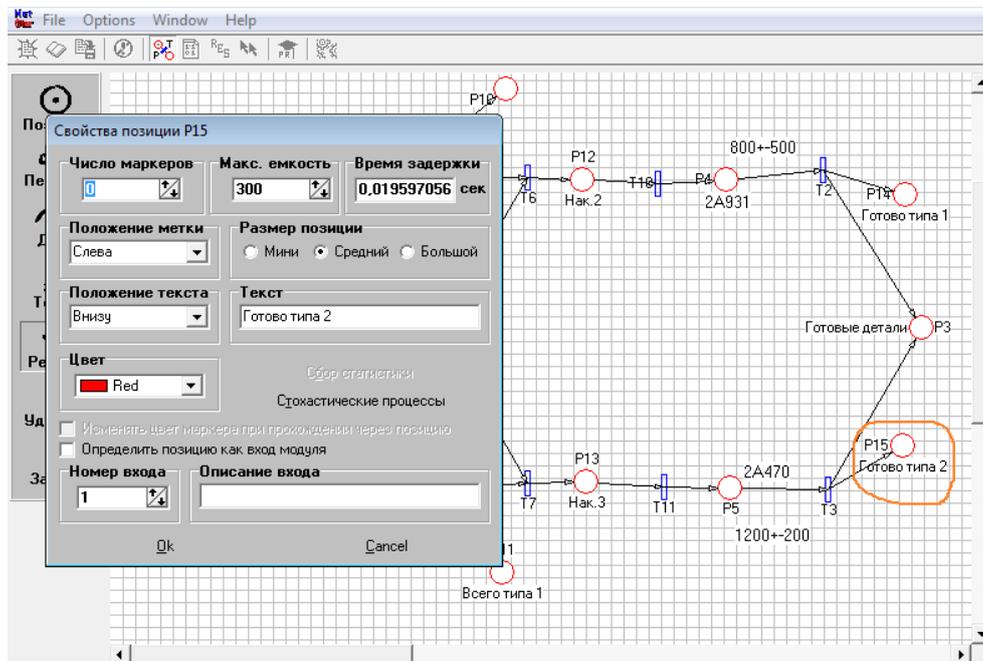


Рис. 2.11 Задание параметров в позиции P15  
(счетчик готовых деталей типа 2)

## Проведение имитационных экспериментов

При запуске имитатора NETSTAR в поле «Время имитации» устанавливаем в соответствии с заданием 30 суток работы системы в минутах, т. е. 43200 мин. и нажимаем «СТАРТ» (рис. 2.12).

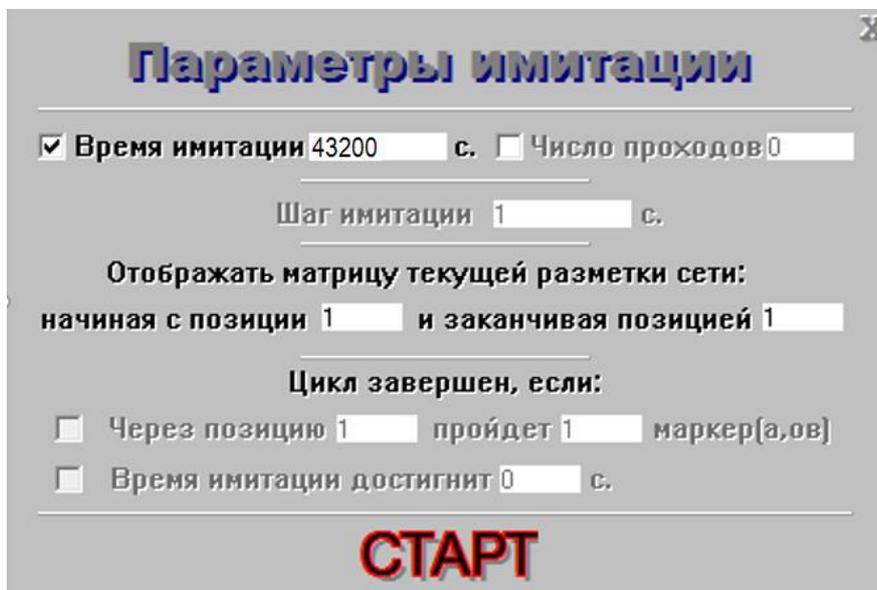


Рис.2.12. Задание 30 суток работы системы

После прогона модели результаты отображаются в матрице текущей разметки рис.2.13.

File Options Window Help																
Время цикла: 42486,9 сек. <span style="float: right;">Статус</span>																
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	
39670,3	0:258	1:0	0:38	0:0	1:0	0:0	0:1	1:0	1:0	0:25	0:15	0:0	0:1	0:15	0:23	T4 T1 T5
39670,6	0:258	1:0	0:38	0:0	1:0	0:0	0:0	1:0	0:0	0:25	0:15	0:0	0:2	0:15	0:23	T7 T8
39670,9	0:258	1:0	0:38	0:0	1:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:26	0:15	0:0	0:2	0:15	0:23	T9
39845,6	0:258	1:0	0:39	0:0	1:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:26	0:15	0:0	0:1	0:15	1:23	T3 T11
39845,7	0:258	1:0	0:39	0:0	1:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:26	0:15	0:0	0:1	0:15	0:24	
40676,9	0:257	1:0	0:39	0:0	1:0	0:0	0:1	1:0	1:0	0:26	0:15	0:0	0:1	0:15	0:24	T4 T1 T5
40676,9	0:257	1:0	0:39	0:0	1:0	0:0	0:0	1:0	0:0	0:26	0:15	0:0	0:2	0:15	0:24	T7 T8
40677,2	0:257	1:0	0:39	0:0	1:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:27	0:15	0:0	0:2	0:15	0:24	T9
41068,7	0:257	1:0	0:40	0:0	1:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:27	0:15	0:0	0:1	0:15	1:24	T3 T11
41069,2	0:257	1:0	0:40	0:0	1:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:27	0:15	0:0	0:1	0:15	0:25	
41386,2	0:256	1:0	0:40	0:0	1:0	0:0	0:1	1:0	1:0	0:27	0:15	0:0	0:1	0:15	0:25	T4 T1 T5
41386,6	0:256	1:0	0:40	0:0	1:0	0:0	0:0	1:0	0:0	0:27	0:15	0:0	0:2	0:15	0:25	T7 T8
41387,1	0:256	1:0	0:40	0:0	1:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:28	0:15	0:0	0:2	0:15	0:25	T9
42101,4	0:256	1:0	0:41	0:0	1:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:28	0:15	0:0	0:1	0:15	1:25	T3 T11
42102,3	0:256	1:0	0:41	0:0	1:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:28	0:15	0:0	0:1	0:15	0:26	
42486,4	0:255	1:0	0:41	0:0	1:0	0:0	0:1	1:0	1:0	0:28	0:15	0:0	0:1	0:15	0:26	T4 T1 T5
42486,8	0:255	1:0	0:41	0:0	1:0	0:0	0:0	1:0	0:0	0:28	0:15	0:0	0:2	0:15	0:26	T7 T8
42486,9	0:255	1:0	0:41	0:0	1:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:29	0:15	0:0	0:2	0:15	0:26	T9
43200,0	0:255	1:0	0:41	0:0	1:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:29	0:15	0:0	0:2	0:15	0:26	

Рис. 2.13 Результаты моделирования

Для проверки правильности задания вероятностного распределения заготовок между станками можно использовать величину количества маркеров, проходящих через позиции P10 и P11, которые являются счетчиками для сбора информации о количестве прошедших заготовок на соответствующий станок. Видно, что для станка 2А931 это значение составляет 15, а для станка 2А470 – 29. Т. е. из 44 прошедших через обе эти позиции маркеров  $15/44 \cdot 100 = 34,09\%$  попало в позицию P11 (станок 2А931), а  $29/44 \cdot 100 = 65,91\%$  – в позицию P10 (станок 2А470), что соответствует заданию.

Количество маркеров в позиции P3 напротив значения модельного времени 43200 соответствует количеству обработанных деталей за 30 суток работы обрабатывающего центра. Это значение равно – 41 шт.

Для определения загрузки станков воспользуемся опцией NETSTAR «Сбор статистики «выставив галочки в полях «Число маркеров» и «Загруженность» (рис.2.14).

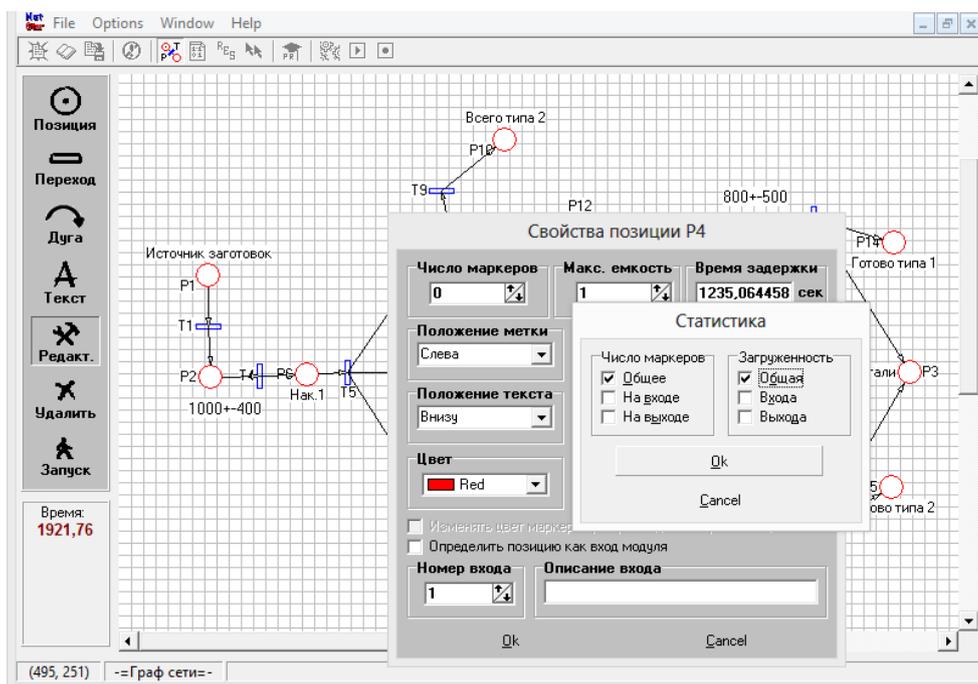


Рис. 2.14 Использование опции «Сбор статистики»

При запуске модели получим матрицу текущей разметки с активированной опцией «Статистика» рис. 2.15.

Net File Options Window Help

Время цикла: 149980, сек. Статистика

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	
0,00	0,299	1:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:0	T1
1029,33	0,298	1:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:1	1:0	1:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:0	T4 T1 T5
1029,40	0,298	1:0	0:0	1:0	0:0	0:0	0:0	0:0	1:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:0	T6 T9 T10
1029,68	0,298	1:0	0:0	1:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:1	0:0	0:0	0:0	0:0	T8
1529,74	0,298	1:0	0:1	0:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:1	0:0	0:0	1:0	0:0	T2
1530,22	0,298	1:0	0:1	0:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:1	0:0	0:0	0:1	0:0	
2309,44	0,297	1:0	0:1	0:0	0:0	0:0	0:1	1:0	1:0	0:0	0:1	0:0	0:0	0:1	0:0	T4 T1 T5
2309,63	0,297	1:0	0:1	1:0	0:0	0:0	0:0	0:0	1:0	0:0	0:1	0:0	0:0	0:1	0:0	T6 T9 T10
2309,79	0,297	1:0	0:1	1:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:2	0:0	0:0	0:1	0:0	T8
3367,79	0,297	1:0	0:2	0:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:2	0:0	0:0	1:1	0:0	T2
3368,56	0,297	1:0	0:2	0:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:2	0:0	0:0	0:2	0:0	
3514,36	0,296	1:0	0:2	0:0	0:0	0:0	0:1	1:0	1:0	0:0	0:2	0:0	0:0	0:2	0:0	T4 T1 T5
3514,71	0,296	1:0	0:2	0:0	1:0	0:0	0:0	1:0	0:0	0:0	0:2	0:0	0:0	0:2	0:0	T7 T8 T11
3515,09	0,296	1:0	0:2	0:0	1:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:1	0:2	0:0	0:0	0:2	0:0	T9
4733,41	0,295	1:0	0:2	0:0	1:0	0:0	0:1	1:0	1:0	0:1	0:2	0:0	0:0	0:2	0:0	T4 T1 T5
4733,69	0,295	1:0	0:2	1:0	1:0	0:0	0:0	0:0	1:0	0:1	0:2	0:0	0:0	0:2	0:0	T6 T9 T10
4733,76	0,295	1:0	0:2	1:0	1:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:1	0:3	0:0	0:0	0:2	0:0	T8
4784,68	0,295	1:0	0:3	1:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:1	0:3	0:0	0:0	0:2	1:0	T3
4784,92	0,295	1:0	0:3	1:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:1	0:3	0:0	0:0	0:2	0:1	
5365,35	0,295	1:0	0:4	0:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:1	0:3	0:0	0:0	1:2	0:1	T2

--Результаты--

Рис. 2.15 Активированная опция «Статистика»

Нажав на эту опцию в графе «Утилизация» отображается загрузка станка 2А931 (позиция Р4) – 25,452 % (рис.2.16), и станка 2А470 (позиция Р5) – 77,046 % (рис.2.17).



Рис. 2.16 Загруженность станка 2А931

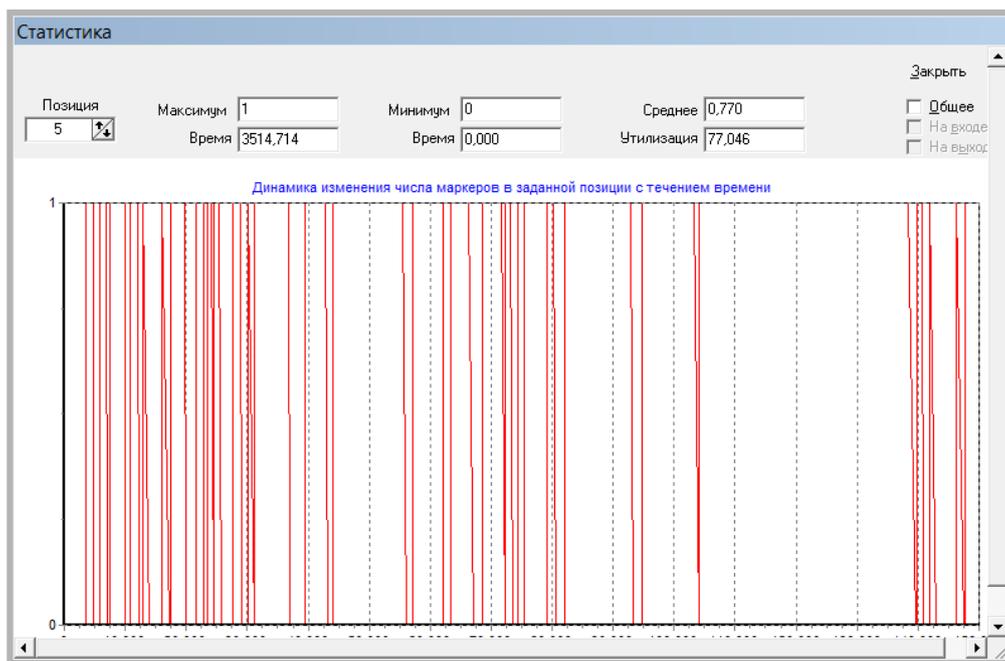


Рис. 2.17 Загруженность станка 2А470

Таким образом, количество изготовленных деталей за 30 суток непрерывной работы обрабатывающего центра равно 41 шт. Коэффициенты загрузки станков с ЧПУ: 2А931 – 26 %; 2А470 – 77 %.

### 3 Задание к лабораторной работе

#### Описание объекта моделирования

Изделия после сборки проходят серию испытаний на станции технического контроля. На последней из этих станций проверяют общее функционирование изделия. Если изделие не исправно, то его отправляют в цех наладки, где устраняют неисправность. После ремонта изделие возвращают на последнюю станцию контроля и снова проверяют. Изделия уходят с последней станции после одной или нескольких проверок в цех упаковки.

Изделия попадают на последнюю станцию с предыдущей каждые  $5 \pm 2$  мин. На станции находятся два контролера. Каждому контролеру требуется на проверку  $9 \pm 3$  мин. Примерно 85 % изделий проходят проверку успешно и попадают в цех упаковки. Остальные 15 % попадают в цех наладки, в котором находится 1 рабочий наладчик. Наладка изделия занимает  $30 \pm 10$  мин.

Все временные интервалы операций распределены равномерно.

### Задание

1. Разработайте имитационную модель станции технического контроля, используя проблемно-ориентированный имитатор сетей Петри NETSTAR.

2. Смоделируйте работу станции технического контроля в течение 4800 минут и оцените, сколько мест на стеллажах необходимо предусмотреть на входе контроля и на наладке.

## **4 Требования к отчету**

Отчет о работе должен содержать:

1. Модель станции технического контроля в виде сети Петри.
2. Результаты имитационных экспериментов в виде матрицы текущей маркировки с их интерпретацией.

## **5 Контрольные вопросы**

1. Что такое сеть Петри?
2. Какие правила срабатывания переходов используются при моделировании на сетях Петри?
3. Какова последовательность действий при вводе сети Петри в компьютер при помощи имитатора NETSTAR?
4. Для чего можно использовать ингибиторную дугу?
5. Каким образом отображаются результаты моделирования при использовании имитатора NETSTAR?

## **6 Список рекомендуемой литературы**

1. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. – Москва : Мир, 1984. – 264 с.
2. Мурата Т. Сети Петри: Свойства, анализ, приложения//ТИИЭР. – 1989. - №77. – С. 41-85.
3. Кельтон В., Лоу А. Имитационное моделирование. Классика CS. – 3-е изд. – СПб.: Питер; Киев: Издательская группа BHV, 2004. – 847 с.
4. Введение в математическое моделирование: Учеб. пособие / Под ред. П. В Труслова. – Москва : Логос, 2004. – 440 с.
5. Советов Б. Я. Моделирование систем: Учеб. для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. – Москва : Высш. шк., 2001.