**Задание**

1. Выбрать вычислительный процесс и на его примере:
   * построить метамодель «асинхронный процесс» и определить свойства исходного процесса на основе анализа метамодели;
   * выполнить операции над процессом: репозиция, редукция, композиция, и оценить полученные результаты с практической точки зрения;
   * построить предметную интерпретацию метамодели на основе сети Петри и сделать вывод о динамических характеристиках исходного процесса.
2. Оформить отчет.

**Выполнение задания**

1. Выделить компоненты рассматриваемого процесса.
2. Сформировать множество ситуаций рассматриваемого процесса.
3. Описать модель «асинхронный процесс».
4. Определить траектории выполнения процесса и классы эквивалентности ситуаций и сделать вывод о свойствах рассматриваемого процесса (эффективность, управляемость, простота).
5. Определить множество дополнительных ситуаций для возобновления процесса (если они есть) и построить полную или частичную репозицию процесса.
6. Выделить входные или выходные компоненты асинхронного процесса, выбрать требуемые и построить на их основе редукцию процесса.
7. Определить два подпроцесса на базе исследуемого, выбрать удобный вид композиции (последовательную или параллельную) и построить ее.
8. Описать составляющие модели «асинхронный процесс», используя понятия модели «сеть Петри».
9. Провести анализ свойств мест сети Петри на ограниченность и безопасность.
10. Провести анализ свойств переходов сети Петри на живость и устойчивость.

**Постановка задания**

Рассмотреть процесс печати с использованием струйного принтера Hewlett Packard (термоструйная печать). Построить метамодель «асинхронный процесс» и модель «сеть Петри». Исследовать их свойства.

**Описание процесса**

Струйные принтеры Hewlett Packard используют технологию термоструйной печати. В струйных принтерах имеется термоголовка, нижняя часть которой находится на небольшом расстоянии (около 1 мм и меньше) от листа бумаги. В нижней части головки на небольшом расстоянии друг от друга находятся несколько сопел (металлические пластинки, разделенных тончайшими щелями), объединенных в прямоугольную матрицу. Каждое сопло оборудовано одним или двумя нагревательными элементами (микроскопическими тонкопленочными резисторами). Сосуды с краской, сопла и нагревательные резисторы зачастую объединяются в один блок ─ картридж.

Специальные механизмы перемещают бумагу и каретку, в которой в специальных держателях установлены печатающие картриджи.

При подаче напряжения резистор за несколько микросекунд нагревается до температуры около 500°, краска вскипает. В кипящих чернилах постепенно образуется пузырек воздуха, рост которого приводит к выдавливанию чернил из сопла. Спустя приблизительно 3 микросекунды пузырек лопается и происходит отрыв, и последующий выброс уже сформировавшейся капли. После разрушения пузырька и выброса капли силы поверхностного натяжения втягивают новую порцию чернил в камеру.

Т.к. расстояние между соплом и бумагой невелико, то капля краски попадает в строго определенное место на листе бумаги. Затем печатающая головка перемещается на некоторое расстояние и процесс повторяется.

Построение метамодели «асинхронный процесс».

**Компоненты**

1. **K** – устройство управления

K+ - контролирует работу печати и всех элементов принтера

K– - бездействует

1. **M** – память

M+ - содержит задания на печать

M– - свободна

1. **P** – бумага

P+ - содержится в лотке

P– - отсутствует

1. **V** – система валиков для подачи бумаги

V+ - работает (перемещает бумагу)

V– - ожидает (покоится)

1. **C** – каретка с печатающими картриджами

C+ - перемещается

C– - покоится

1. **R** – нагревательный элемент (тонкопленочный резистр)

R+ - нагрет

R– - охлажден

1. **S** – сопло

S+ - выбрасывает каплю чернил

S– - бездействует

1. **H** – камера

H+ - содержит чернила

H– - пуста

1. **B** – пузырь

B+ - есть

B– - отсутствует

**Ситуации, возникшие в процессе печати**

1. Принтер включен. Задание печати.

K+ M + P– V– C– R – S – H + B –

1. В начале печати – проверка на наличие бумаги. Ее подача. При повторении печати – прокрутка бумаги.

K+ M + P+ V+ C– R – S – H + B –

1. Отсутствие бумаги. Вывод сообщения об ошибке.

K+ M + P– V+ C– R – S – H + B –

1. Каретка перемещается.

K+ M + P+ V– C+ R – S – H + B –

1. Пропускается ток. Резистр осуществляет быстрый нагрев чернил, находящихся в небольшой камере, до температуры их кипения.

K+ M + P+ V– C– R + S – H + B –

1. Образуется пузырек воздуха, который постепенно растет. Из выходного отверстия сопла выдавливаются пузырем чернила. Ток отключается. Нагревательный элемент остывает.

K+ M + P+ V– C– R – S – H + B +

1. Пузырек лопается. Происходит отрыв и последующий выброс уже оформившейся капли на бумагу. Силы поверхностного натяжения втягивают новую порцию чернил в камеру.

K+ M + P+ V– C– R – S + H + B –

1. С помощью системы валиков бумага выходит из принтера. Память принтера освобождается.

K+ M – P– V + C– R – S – H + B –

s1 = (1,1,0,0,0,0,0,1,0)

s2 = (1,1,1,1,0,0,0,1,0)

s3 = (1,1,0,1,0,0,0,1,0)

s4 = (1,1,1,0,1,0,0,1,0)

s5 = (1,1,1,0,0,1,0,1,0)

s6 = (1,1,1,0,0,0,0,1,1)

s7 = (1,1,1,0,0,0,1,1,0)

s8 = (1,0,0,1,0,0,0,1,0)

Ситуации: S={s1, s2, s3, s4, s5, s6, s7, s8}

Инициаторы: I= {s1, s2, s4}

Результанты: R={s3, s7, s8}

Ситуация s1 описывает начальный этап процесса, то есть задание печати.

Ситуация s2 описывает ситуацию, когда происходит проверка на наличие бумаги в лотке. Она инициирует два возможных результата – дальнейшее продолжение печати, либо ее прекращение после вывода сообщения об ошибке.

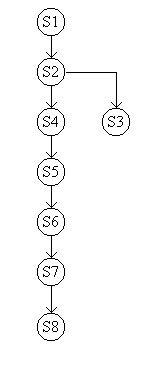
Ситуация s4 инициирует непосредственно начало процесса печати (то есть процесса нанесения чернил на бумагу).

Ситуация s3 описывает возможный результат в случае отсутствия бумаги.

Ситуация s7 описывает непосредственно результат печати.

Ситуация s8 описывает завершение работы принтера после печати.

**Граф, отражающий отношение непосредственного следования**



**Траектории выполнения процесса, классы эквивалентности ситуаций и свойства рассматриваемого процесса**

В данном случае имеем следующие траектории:

S1 → S2 → S4 → S5 → S6 → S7 → S8 – полный процесс, включающий все этапы работы струйного принтера (от задания печати и вплоть до освобождения памяти принтера, при условии, что в лотке содержится бумага).

S4 → S5 → S6 → S7 – процесс, включающий основные этапы работы струйного принтера, а именно сам механизм печати.

S2 → S3 – процесс, осуществляемый в случае отсутствия бумаги в лотке.

Пусть задан асинхронный процесс, у которого:

1. для любой ситуации *s*, не являющейся инициатором, найдется такой инициатор *i*, что (*i M s*),
2. для любой ситуации *s*, не являющейся результантом, найдется такой результант *r*, что (*s M r*),
3. не найдется двух ситуаций *si* и *sj* , таких что: *(si ∉ R) & (sj ∉ R) & (si M sj) & (sj M si)*.

Такой асинхронный процесс называется *эффективным*. То есть все ситуации эффективного процесса ведут из инициаторов в результанты, а также не должно быть ориентированных циклов, за исключением циклов, состоящих только из результантов.

Бинарное *отношение эквивалентности* ситуаций, обозначаемое буквой E означает, что либо si = sj , либо (si F sj) и (sj F si). Отношение эквивалентности позволяет построить разбиение множество ситуаций на непересекающиеся *классы эквивалентности*, такие, что любые две ситуации из одного класса эквивалентны, а любые две ситуации из разных классов не эквивалентны. Для классов эквивалентности определено отношение непосредственного следования F. В допустимых последовательностях классов можно выделить начальные и конечные элементы, которые будем называть соответственно *начальными* и *заключительными классами эквивалентности*. Для эффективного АП начальные классы могут состоять только из инициаторов, заключительные - только из результантов.

Для эффективного АП любой класс эквивалентности ситуаций, не принадлежащий результантам, состоит из одной ситуации.

Если в эффективном асинхронном процессе каждая допустимая последовательность классов эквивалентности ведет из каждого начального класса в один и только один заключительный класс, то такой процесс называется *управляемым*.

В процессе печати струйного принтера все ситуации лежат на пути из инициаторов в результанты, то есть выполняются 1 и 2 свойства; и нет циклов, то есть выполняется свойство 3. Следовательно, можно сделать вывод о том, что данный процесс является эффективным.

В данном процессе начальный класс эквивалентности содержит одну ситуацию s1, а конечных класса два и они содержат соответственно две ситуации s7 и s8 и одну ситуацию s3, все остальные классы эквивалентности содержат по одному элементу.

Так как некоторые допустимые последовательности классов эквивалентности ведут из начальных классов не в один, а в два заключительных класса, то данный процесс не является управляемым.

Пусть в эффективном асинхронном процессе выполнены следующие условия:

1. для ∀ i ∈ I и ∀ s ∈ S: (i F s) ⇒ (s ∉ I);
2. для ∀ r ∈ R и ∀ s ∈ S: (s F r) ⇒ (s ∉ R);

т.е. из инициатора (результанта) нельзя попасть в другой инициатор (результант). Иными словами каждая траектория содержит в точности один инициатор и один результант.

Асинхронный процесс, удовлетворяющий свойствам 1, 2 называется *простым*.

Данный процесс не удовлетворяет первому и второму свойствам, поэтому не является простым.

**Вывод**: рассматриваемый процесс печати струйного принтера является эффективным, но не является ни управляемым, ни простым.

Операции над процессами.

**Репозиция.**

Репозиция - это возобновление процесса, механизм перехода от результантов к инициаторам.

В данном случае множество дополнительных ситуаций репозиции SD вводить не нужно.

Репозицией данного процесса можно считать:

1. **возобновление печати на новом листе.**

Инициатор: s8

Результант: s1

1. **Циклическое повторение нагрева чернил, образования пузыря и выброс капли на бумагу**

Инициатор: s7

Результант: s4

1. **Возобновление печати после вывода сообщения об отсутствии бумаги**

Инициатор: s3

Результант: s1

Таким образом, репозиция данного процесса имеет вид , где



= {s1, s3, s4, s7, s8},



= {s3, s7, s8},

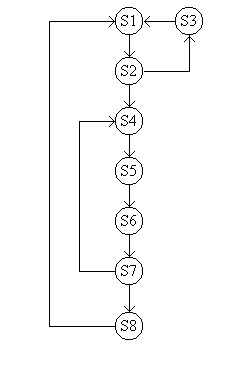


*R' =* {s1, s4},

= {(s8, s1), (s7, s4), (s3, s1)}



Объединение процесса и его репозиции:



**Вывод**: репозиция позволяет повторить процесс после его выполнения. Для данной модели это означает, что печать может происходить не один раз, а столько, сколько необходимо в рамках поставленной задачи.

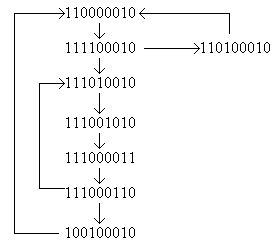
Репозиция рассматриваемого процесса является частичной, так как *I'* совпадает с *R*, но *R'* несовпадает с *I*.

**Редукция**

Редукция процесса состоит в сведении данного асинхронного процесса к более простому.

Составим редукцию репозиции нашего процесса.

Пусть процесс задан диаграммой переходов:



Три первых элемента вектора выберем в качестве входной компоненты.

Образуем p-блочное разбиение множества *S* , *p* = 4:

*X* = {1001, 1100, 1101, 1110, 1111}

Выбираем *r* =2 *(r < p)*:

*X\** = {1110, 1111}

Образуем множество, содержащее ситуации, входящие в те блоки разбиения, которые соответствуют выбранным значениям входной компоненты:

*S\** = {111100010, 111010010, 111001010, 111000011, 111000110}

Для каждого инициатора построим множество ситуаций встречающихся на траекториях процесса , ведущих из указанного инициатора. Образуем множество как объединение тех множеств , для которых справедливо :



1: 110000010→111100010→ 111010010→111001010→111000011→

→111000110→100100010

2: 111100010→110100010

3: 111010010→111001010→111000001→111000110

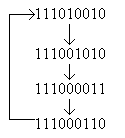
Ситуации из траектории 3:

*S(X\*)* = {111010010, 111001010, 111000011, 111000110}

*I(X\*)* = {111010010}

*R(X\*)* = {111000110}

Построим *F(X\*):*



**Вывод**: редукция позволяет из полного описания процесса выделить некоторую его часть, рассмотрение которой интересно по тем или иным причинам.

В данном случае, в результате редукции была выделена ветвь, которая соответствует механизму печати струйного принтера (перемещение каретки, нагрев чернил, образование пузыря, выброс капли на бумагу и наполнение камеры чернилами).

**Композиция**

Рассмотрим последовательную композицию двух процессов с ситуациями, структурированными по второму способу: в ситуациях *p1* выделена выходная компонента; в ситуациях *p2* выделена входная компонента.

*p1* – подготовки к печати, состоит из двух ситуаций;

*p2* – непосредственно сама печать;

*Компоненты процесса p1:*

1. **K** – устройство управления

K+ - контролирует работу печати и всех элементов принтера

K– - бездействует

1. **P** – бумага

P+ - содержится в лотке

P– - отсутствует

1. **M** – память

M+ - содержит задания на печать

M– - свободна

*Ситуации процесса p1:*

1. Принтер включен. Задание печати.

K+ P– M +

1. Проверка на наличие бумаги.

K+ P+ M +

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | K | P | M |
| s11 = | 1 | 0 | 1 |
| s22 = | 1 | 1 | 1 |

Инициатор: *I = { s11 }*

Результант*: R={ s12 }*

Выделим в процессе первую (контроллер) и вторую (бумага) компоненты в качестве выходных. Выбираем контроллер, так как он является основным показателем работоспособности устройства, и бумагу (вспомогательную компоненту), так как процесс подготовки к печати основывается на подготовку бумаги.

*Y1* ={10,11}

*Компоненты процесса p2:*

1. **K** – устройство управления

K+ - контролирует работу печати и всех элементов принтера

K– - бездействует

1. **P** – бумага

P+ - содержится в лотке

P– - отсутствует

1. **V** – система валиков для подачи бумаги

V+ - работает (перемещает бумагу)

V– - ожидает (покоится)

1. **C** – каретка с печатающими картриджами

C+ - перемещается

C– - покоится

1. **R** – нагревательный элемент (тонкопленочный резистр)

R+ - нагрет

R– - охлажден

1. **S** – сопло

S+ - выбрасывает каплю чернил

S– - бездействует

1. **H** – камера

H+ - содержит чернила

H– - пуста

1. **B** – пузырь

B+ - есть

B– - отсутствует

*Ситуации процесса p2:*

1. Проверка на наличие бумаги. Ее подача.

K+ P+ V+ C– R – S – H + B –

1. Каретка перемещается.

K+ P+ V– C+ R – S – H + B –

1. Пропускается ток. Резистр осуществляет быстрый нагрев чернил, находящихся в небольшой камере, до температуры их кипения.

K+ P+ V– C– R + S – H + B –

1. Образуется пузырек воздуха, который постепенно растет. Из выходного отверстия сопла выдавливаются пузырем чернила. Ток отключается. Нагревательный элемент остывает.

K+ P+ V– C– R – S – H + B +

1. Пузырек лопается. Происходит отрыв и последующий выброс уже оформившейся капли на бумагу. Силы поверхностного натяжения втягивают новую порцию чернил в камеру.

K+ P+ V– C– R – S + H + B –

1. С помощью системы валиков бумага выходит из принтера.

K+ P– V + C– R – S – H + B –

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | K | P | V | C | R | S | H | B |
| s21 = | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| s22 = | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| s23 = | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| s24 = | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| s25 = | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| s26 = | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |

Инициатор: *I= { s21 }*

Результант: *R={ s25 , s26 }*

Выделим в процессе первую (контроллер) и вторую (бумага) компоненты в качестве входных.

*X2* = {10,11}.

Таким образом *Y1* = *X2*

Редуцированные процессы *P1(X\*)* и *P2(X\*)*, где *X\** = {11,10}.

*Процесс p1:*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | K | P | M |
| s11 = | 1 | 0 | 1 |
| s22 = | 1 | 1 | 1 |

*Процесс p1:*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | K | P | V | C | R | S | H | B |
| s21 = | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| s22 = | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| s23 = | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| s24 = | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| s25 = | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| s26 = | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |

Композиция двух процессов выглядит следующим образом:

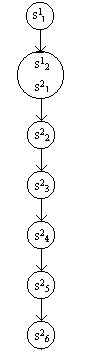


*I3* = {( s1)};

*R3* = {( s26}.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | M | K | P | V | C | R | S | H | B |
| s31 = | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| s32 = | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| s33 = | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| s34 = | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| s35 = | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| s36 = | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| s37 = | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |

Граф композиции:



**Вывод:** композиция необходима для объединения нескольких процессов в один. В данном случае использовалась последовательная композиция, чтобы смоделировать процесс печати в целом, состоящий из полготовки к печати и непосредственно самой печати. Получившийся процесс представляет собой несколько упрощенный исходный процесс.



Предметная интерпретация асинхронного процесса.

**Построение сети Петри.**

Сеть Петри для данного процесса – пятерка *N = <P, T, H, F, M0>,* где

*P* = {*K, M, P, V, C, R, S, H, B*} – множество условий;

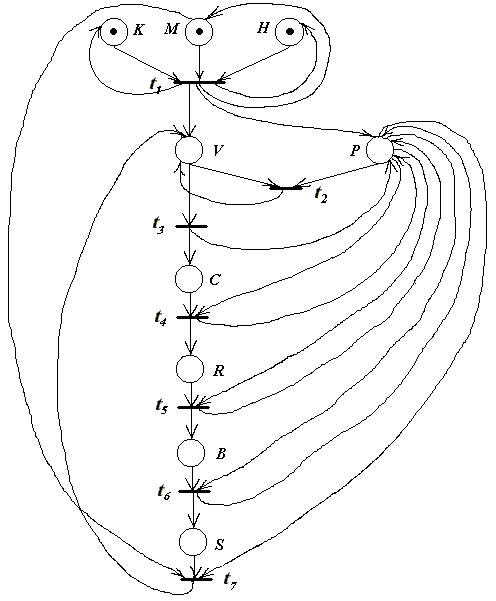
*T* = {t1, t2, t3, t4, t5, t6, t7} – множество событий;

*M0*= (1,1,0,0,0,0,0,1,0) – начальная разметка;

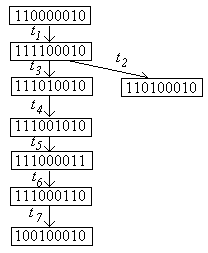
*F* и *H* – функции инцидентности, описывающие наличие дуги

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | K | M | P | V | C | R | S | H | B |
| s1 = | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| s2 = | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| s3 = | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| s4 = | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| s5 = | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| s6 = | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| s7 = | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| s8 = | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |

|  |  |
| --- | --- |
| F(K, t1) = 1 | H(t1, K) = 1 |
| F(M, t1) = 1 | H(t1, M) = 1 |
| F(H, t1) = 1 | H(t1, H) = 1 |
| F(P, t2) = 1 | H(t1, P) = 1 |
| F(V, t2) = 1 | H(t1, V) = 1 |
| F(V, t3) = 1 | H(t2, V) = 1 |
| F(P, t4) = 1 | H(t3, P) = 1 |
| F(C, t4) = 1 | H(t3, C) = 1 |
| F(P, t5) = 1 | H(t4, P) = 1 |
| F(R, t5) = 1 | H(t4, R) = 1 |
| F(P, t6) = 1 | H(t5, P) = 1 |
| F(B, t6) = 1 | H(t5, B) = 1 |
| F(P, t7) = 1 | H(t6, P) = 1 |
| F(S, t7) = 1 | H(t6, S) = 1 |
| F(M, t7) = 1 | H(t7, V) = 1 |



*Граф разметок сети*



Покрывающее дерево выглядит аналогичным образом.

*Свойства построенной сети Петри*

Ограниченность и безопасность:

* сеть ограничена, так как все ее условия ограничены (ни одна вершина покрывающего дерева не содержит символа ω);
* сеть является безопасной, т.к. все ее условия безопасны (любая достижимая в сети разметка представляет собой вектор из 0 и 1).

Живость и устойчивость:

* сеть не является живой, т.к. все её переходы живы при , но не являются живыми при любой другой достижимой в сети разметке;



* сеть не является устойчивой, т.к. переход *t2* не является устойчивым.

**Вывод**: построенная сеть Петри дает представление о функционировании компонент процесса. Она является ограниченной и безопасной, но не является устойчивой и живой.

**Заключение**

В данном РГЗ была построена модель «асинхронный процесс» печати струйного принтера. Полученный асинхронный процесс является эффективным, неуправляемым и непростым.

Над процессом были произведены операции: редукции, репозиции и параллельной композиции.

Репозиция исходного процесса показывает, что нет необходимости использовать дополнительные ситуации для повторного возобновления процесса работы принтера в ситуациях:

* возобновление печати на новом листе;
* циклическое повторение нагрева чернил, образования пузыря и выброс капли на бумагу;
* возобновление печати после вывода сообщения об отсутствии бумаги.

Репозиция является частичной.

Редукция позволяет существенно упростить рассматриваемый процесс, сведя его к механизму печати струйного принтера (перемещение каретки, нагрев чернил, образование пузыря, выброс капли на бумагу и наполнение камеры чернилами).

Композиция необходима для объединения нескольких процессов в один, для дальнейшего рассмотрения поведения этих процессов в системе. В данном случае использовалась параллельная композиция.

Для данного процесса была построена сеть Петри. Она является ограниченной и безопасной, но не является устойчивой и живой.

модель печать струйный принтер

**Литература**

1. Лазарева И.М. Конспект лекции по теории вычислительных процессов.