

Н.В. НУРМАГОМЕДОВА

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИРУЮЩЕЙ СЕТИ БИЗНЕС ПРОЦЕССОВ ПРЕДПРИЯТИЯ

*В статье представлены обеспечивающие бизнес-процессы в виде конечно-автоматных алгоритмов, которые позволяют осуществить интеграцию производственных и хозяйственных процессов, обеспечивая при этом их корректное взаимодействие.*

**Ключевые слова:** бизнес-процессы, конечно-автоматные алгоритмы, граф операций, интеграция, управление предприятием, диаграммы на языке UML, критерии корректности, аппарат сетей Петри, алгоритмы.

*In the article providing business processes in the form of is final-automatic algorithms which allow to carry out integration of industrial and economic processes are presented, providing thus their correct interaction*

**Key words:** business-processes, certainly-automatic algorithms, activity graph, integration, operation of business, diagrams in the language UML, criterion of a correctness, networks Petry, algorithms..

В настоящее время широкое распространение получили CALS-технологии, которые принято понимать как технологии повышения эффективности бизнеса, основанные на эффективном информационном взаимодействии субъектов хозяйственной деятельности и совместном использовании информации в ходе жизненного цикла (ЖЦ) изделия или продукта. В этой технологии учитывается методология параллельного проектирования, интеллектуальная логистическая поддержка, управления конфигурацией и управления документопотоком. Это позволяет интегрировать процессы на всем протяжении жизненного цикла продукции от выражения потребности в продукции до её утилизации. В течение всего производственного цикла изготовления продукта над ними выполняются некоторые функции, связанные с содержанием соответствующих стадий ЖЦ. Функции реализуются путем выполнения процессов (как технологических, так и организационных). Процессы являются одним из наиболее сложных объектов описания и моделирования.

Использование при моделировании понятия «бизнес процессов» позволяет иначе взглянуть на выполняемые работы и позволяет декомпозировать процессы не по принадлежности их к элементам организационной структуры (цехов, отделов) и не по отношению к предметам труда, а по функциональному признаку.

В статье рассматривается класс основных бизнес процессов, не связанных непосредственно с технологией производства, а функционально обеспечивающих технологические бизнес процессы, которые в дальнейшем будут называться обеспечивающими бизнес процессами (ОБП). К ним относятся: снабжение ресурсами, сервис, планирование и т.п. Такая постановка задачи, как правило, выходит за рамки сегодняшних автоматизированных систем управления предприятием и поэтому интеграция организационных и технологических процессов управления на базе бизнес процессов, естественно, позволит существенно улучшить организацию работы предприятия в целом.

Учитывая, что модель локального управления ОБП содержит большое количество атрибутов, не влияющих на корректность, но создающих сложности в построении моделирующих сетей, было предложено анализ корректности модели ОБП осуществлять средствами сетей Петри на основе диаграмм языка UML, которые отражают структуру и логику переходов между операциями, сохраняя при этом их семантику. Были разработаны процедуры, сводящие определенные выше критерии корректности графа операций ОБП к адекватным свойствам сетей Петри («живость», «безопасность» и т.п.), которых существенно меньше и которые в свою очередь проверяются стандартными способами. Кроме того, был применен механизм редукции построенной по графу операций сети Петри, за счет чего

удаляются несущественные для анализа вершины – операции и переходы в исходной сети. Таким образом, снижается алгоритмическая сложность поставленной задачи анализа ОБП на корректность поведения. Исследование свойств корректности должно проводиться на основе анализа выполнения графа операций ОБП, потому что в общем случае признаки некорректности (как это видно из анализа ситуаций в графе операций) могут проявляться только при выполнении алгоритма управления. Вместе с тем понятно, что модификация непосредственно модели алгоритмов управления ни к чему иному, как к потере продуктивности, привести не может. Имеется положительный опыт привлечения для исследования свойств корректности модели алгоритма ОБП. Представляется, что наиболее подходящим для этой цели является аппарат сетей Петри.

Отображение графа операций на сеть Петри. Будем рассматривать для моделирующей сети двухуровневую иерархию объектов ОБП. На верхнем уровне располагаются классы самих процессов, которые используют при своем функционировании значительное количество различных агентов и функций нижнего уровня.

Процедуру сопоставления произвольному графу операций ОБП  $S$  моделирующей его сети Петри  $N(S)$  будем рассматривать в виде последовательности из трех шагов. Каждый шаг этого отображения соответствует какому-либо элементу алгоритма управления. Сначала строятся сети, соответствующие агентам, входящим в ОБП, затем – переменным для функций условий перехода по состояниям процесса и наконец, скелету ОБП. Эти сети не связаны друг с другом, поэтому очередность их построения произвольна. Связывание этих сетей производится на этапах построения выходных  $Z$ , входных  $X$  наборов переменных и дополнительных функций  $F$ . Очередность выполнения этих шагов между собой также безразлична, однако для удобства рассматривается их определение в приведенном порядке.

Пример простейшей сети, моделирующей поведение агента в составе ОБП, представлено на рисунке 1, где в качестве агента выступал оператор, обслуживающий заявку клиента. Метка в той или иной позиции соответствовала состоянию агента и условиям его перехода к выполнению следующей операции. Сетью такого вида можно описать ЛС любого агента процесса с конечным числом состояний. Для простоты моделирования будем считать, что все они на нижнем уровне управления работают штатно и не попадают в аварийные ситуации. Рассмотрим представление функций в условиях переходов ЛС процесса на сетевой модели. Будем сопоставлять каждой переменной позицию сети, а изменение значения переменной интерпретировать, как изменение маркировки в этой позиции. Если переменная – внешняя (независимая), то будем считать, что смена маркировки в ее позиции происходит случайным образом (метка появляется и исчезает в произвольные моменты времени). Соответственно значению «1» переменной сопоставим непустую маркировку, а значению «0» – пустую. Тогда всю функцию можно представить подсетью, в которой отдельная позиция соответствует значению самой функции (значение равно 1, если маркировка позиции не пустая). Двойными стрелками обозначены условия переходов в обе стороны, а кружком – сдерживающие дуги.

Сдерживающая дуга является одним из расширений классических сетей Петри. Она соединяет переход с отдельной позицией – сдерживающей. Вместо стрелки на конце сдерживающая дуга имеет маленький кружок. Выполнение перехода происходит, когда метки присутствуют во всех обычных его входных позициях и отсутствуют в сдерживающих. Допустим, условие перехода выражено функцией:  $f = x_1 \bar{x}_2 \vee x_3$ , тогда ее сеть будет выглядеть следующим образом (рисунок 2).

Сдерживающие дуги из позиции  $f$  препятствуют накоплению в ней меток. В свою очередь позиция  $f$  уже непосредственно связана с переходом, где находится данное условие. Таким образом, все внешние переменные объекта связаны переходами с функциями, в которые они входят в качестве аргументов и образуют сеть. Для анализа конкретной функции из сети необходимо выделить подсеть с используемыми переменными и запустить ее.

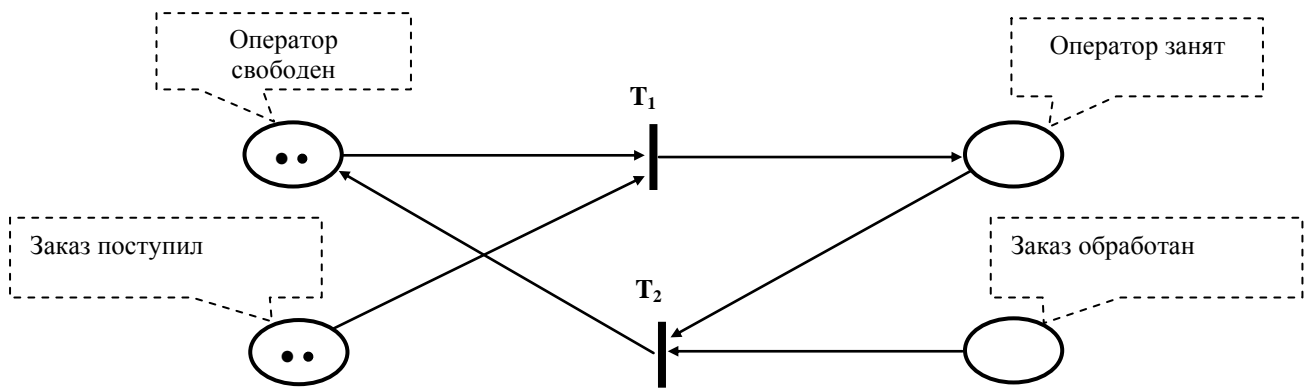


Рисунок 1 - Пример простейшей сети, моделирующей поведение агента в составе ОБП

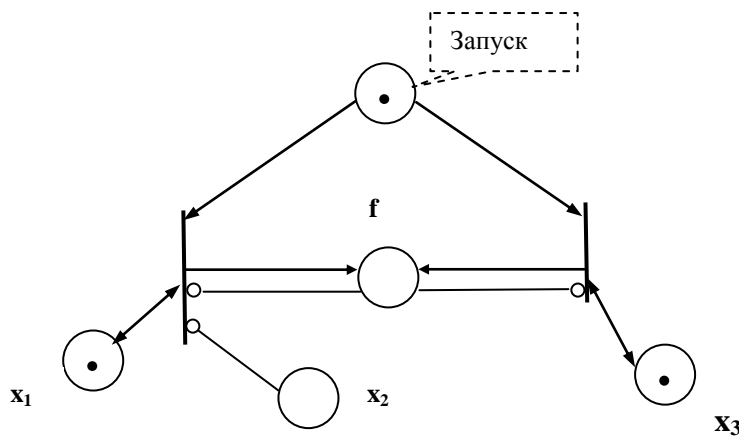


Рисунок 2 - Условный переход, описанный логической функцией

Для этого необходимо ввести для каждой функции еще одну позицию – запускающую, связанную с завершением операции в ЛС на предыдущем шаге и разрешающую все переходы для данной функции. В общем случае, если представлять

функцию, в виде ее дизъюнктивной нормальной формы:  $f = \bigvee_{k=1}^l (x_1, \dots, x_l)$ , то число

позиций будет соответствовать общему числу переменных, а количество переходов – числу конъюнкций в выражении. Если переменная входит в какую-либо конъюнкцию с инверсией, то соответствующая ей позиция должна соединяться с необходимым переходом через обратную дугу. Позиция, соответствующая значению самой функции должна соединяться со всеми переходами через выходящие обратные дуги. Рассмотрим поведение на верхнем уровне модели, т.е. ЛС всего процесса. Представим его также в виде маркированной сети, в которой позициям будем сопоставлять признаки «активности» агентов, т.е. их состояния, сразу после выполнения над ними какой-либо операции. На следующем шаге операции могут быть выполнены уже с другими агентами и первые перестают быть «активными». Переходам соответствуют выполняемые агентами операции ОБП. Внешним условиям (независимым от состояния агентов) также могут быть сопоставлены дополнительные позиции. Непустая маркировка позиции указывает на ее «активность».

Состояние сети определяется ее маркировкой и соответствует состоянию отображаемого процесса. Пусть  $C = (W, T, I, O, \mu)$  – сеть. Тогда  $\rho(\mu, t_i) = \mu'$  – есть следующая маркировка или состояние сети. Если в моделируемом процессе  $P$  состояние в момент времени  $t$  обозначим как  $s_t$  и  $\mu \rightarrow s_{t+1}$  то

$$\rho(\mu, t_i) = \mu' \rightarrow \gamma(s_t, u) = s_{t+1}$$

Отображение строит сеть Петри на основании информации об операциях  $V$  и переходах  $\rho$  между ними, т.е. определено для скелета графа операций. Множество позиций

сети совпадает с множеством операций, а переходы и дуги сети определяются следующим образом. Каждой паре подмножеств операций ( $V'$ ,  $V''$ ) сопоставлен переход, если пара связана соотношением  $V'' = \delta(V', \Psi_r)$ , где  $\Psi_r$  - какая-либо дополнительная функция, дуги проводятся из всех позиций  $V'$  в данный переход и из него - во все позиции  $V''$ . Первоначально маркируются позиции сети, соответствующие начальным операциям.

Рассмотрим описание модели на верхнем уровне на примере взаимодействия трех объектов (агентов процесса) при альтернативном и параллельном совмещении фрагментов их ЛС. Допустим, имеются три обрабатывающих поток событий агента: **A**, **B**, **D** (с двумя состояниями каждый). Фрагмент графа ГФ, описывающий их поведение будет выглядеть следующим образом (рисунок 3а). Через  $u$  обозначено условие выполнения альтернативы. Для отображения данного фрагмента в сетевую модель сопоставим вершинам графа сетевые переходы, а его дугам – позиции. Отдельную позицию со сдерживающей дугой необходимо отвести для условия перехода –  $u^*$ . На диаграмме сетевой модели каждая позиция – состояние «активности» какого-либо агента отображается во множество позиций – состояний, сменяющих друг друга в ходе выполнения процесса. В таком виде модель удобнее сопоставлять протекающему во времени процессу. Позиции, соответствующие одинаковым состояниям агентов (выполняющих одну и ту же операцию) имеют одинаковый цвет. Тогда, перечисляя по вертикали всех участвующих в ОБП агентов, а по горизонтали – последовательно выполняемые переходы, получаем следующую диаграмму сетевой модели, выполняемую слева направо (рисунок 3б). На диаграмме с левого края находятся начальные состояния перечисленных объектов и соответственно – начальная маркировка сети. Входные условия для переходов, отображающих альтернативное выполнение, показаны стрелками с формулами условий над ними. В позиции условия перехода для альтернативы (для упрощения вместо подсети функции изображена одна позиция - заштрихована) появление метки соответствует выполнению условия  $u$ . Из диаграммы видно, что окончание всякой альтернативы отображается двумя одновременными переходами, из которых срабатывает только один:  $t_3(1)$  или  $t_3(2)$ . Другим условиям переходов на графе (если бы они были в явном виде) также необходимо было бы сопоставить свои позиции, связанные с соответствующими переходами.

Обобщенная моделирующая сеть графа операций ОБП строится путем развертывания позиции скелетной сети, представляющей операцию, в цепочку вершин и последующего связывания переходов из этой цепочки с сетями, моделирующими переменные в условиях переходов. Рассмотрим процесс такого объединения на примере (рисунок 4).

Пусть задан фрагмент скелетной сети ОБП процесса  $C = (W, T, I, O, \mu)$ , где  $W = \{w_1, w_2\}$ ,  $T = \{t\}$ ,  $I(t) = \{w_1\}$ ,  $O(t) = \{w_2\}$ ,  $\mu = \{1, 0\}$ . Переход  $t$  соответствует выполнению операции «начать обработку заказа» агентом **B**. Кроме того задана подсеть поведения самого агента **B**:  $C' = (W', T', I', O', \mu')$ , где  $W' = \{w_3, w_4, w_5, w_6\}$ ,  $T' = \{t_1, t_2\}$ ,  $I(t_1) = \{w_3, w_5\}$ ,  $I(t_2) = \{w_4, w_6\}$ ,  $O(t_1) = \{w_6\}$ ,  $O(t_2) = \{w_5\}$ . Для описания условия перехода  $t$  ( $f = /b$ ) задана подсеть:  $C'' = (W'', T'', I'', O'', \mu'')$ , где  $W'' = \{w_7, w_8\}$ ,  $T'' = \{t_3\}$ ,  $I(t_3) = \{w_1\}$ ,  $I(t_4) = \{w_5, w_7, w_8\}$ ,  $O(t_3) = \{w_7\}$ ,  $O(t_4) = \{w_8\}$ .

Для соединения сетей  $C'$  и  $C''$  к сети  $C$  в месте перехода  $t$  необходимо изменить входные и выходные функции для перехода  $t$ :  $I(t) = \{w_8\}$ ,  $O(t) = \{w_3\}$ ,  $O(t_1) = \{w_6, w_2\}$ . В данном случае для условия перехода  $t$  использовано (для упрощения) состояние того же агента, с которым выполняется операция. Тогда при запуске подсети  $C''$  переход  $t$  срабатывает, запускающая позиция подсети ( $w_3$ ) станет «активной» и подсеть  $C'$  заработает. В результате агент **B** перейдет в другое состояние, а в основной сети станет «активной» позиция  $w_2$ . Любое внутреннее условие, заданное в явном виде на дугах графа операций будет отображаться в сети как дополнительные входные и выходные условия для данного перехода.

Рассмотрим основные свойства маркированной сети, с помощью которых можно проанализировать введенные ранее критерии корректности. Последовательность непосредственно достижимых состояний будем называть вариантом выполнения графа

операций, представленного сетью Петри, а множество вариантов выполнения - его поведением.

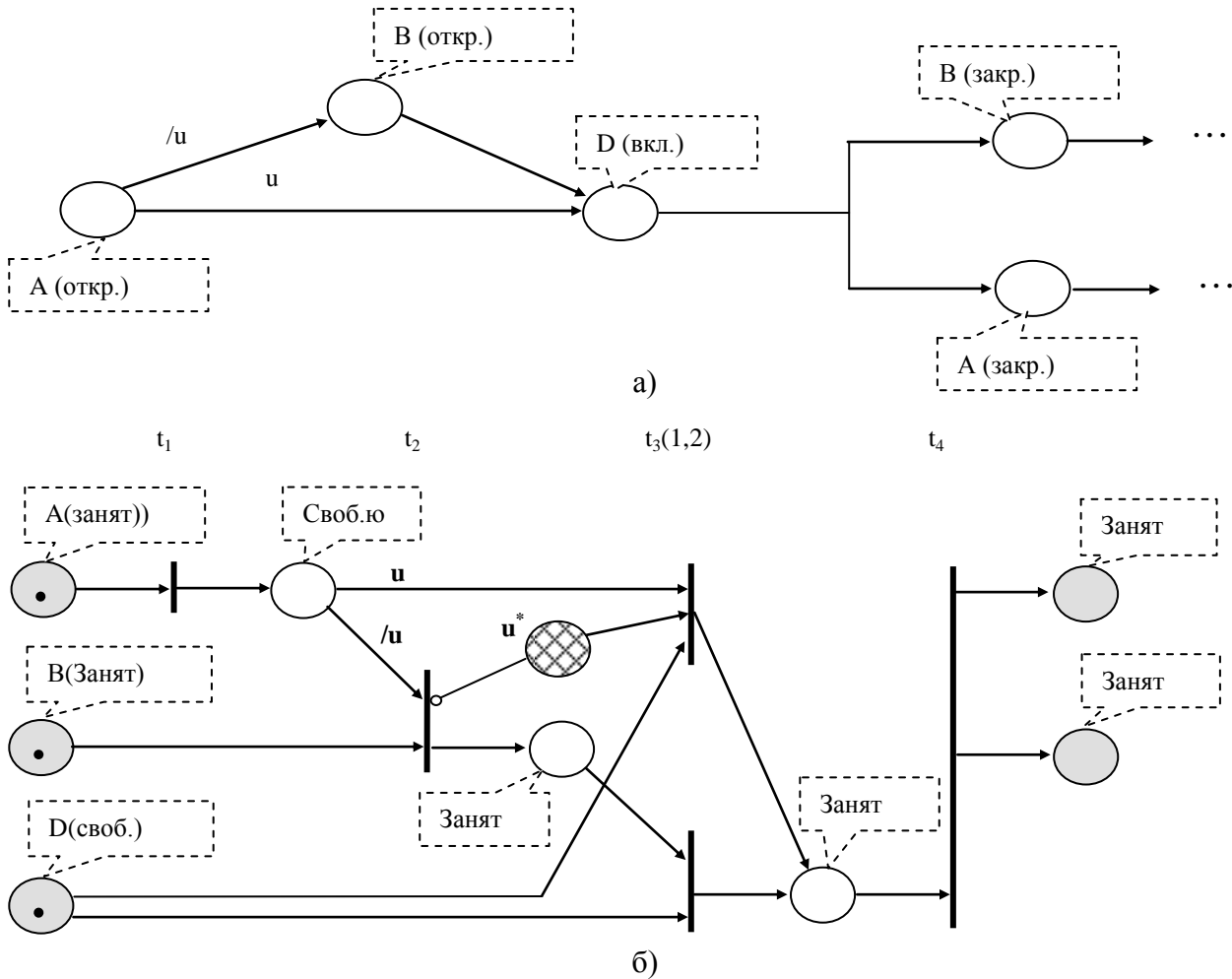


Рисунок 3 - Фрагмент графа ГФ

Одним из основных свойств маркированной сети является активность ее переходов. Переход  $t_i$  обладает нулевой активностью или пассивен, если он никогда не может быть запущен. Следующим важным свойством маркированной сети является ее ограниченность. Каждая позиция сети является к-ограниченной, если число меток в ней никогда не превышает  $k$ . Сеть считается к-ограниченной, если у нее  $k$ -ограниченны все позиции. Частным случаем свойства ограниченности сети является свойство ее безопасности. Если число меток в позиции не превышает единицы, то позиция считается безопасной, а если все позиции безопасны, то и вся сеть считается безопасной.

**Определение 2.7.** Моделирующая граф операций  $S$  сеть  $N(S)$  называется работоспособной, если все переходы ее скелетной сети не пассивны.

**Теорема 2.1.** Модель графа операций  $S$  корректна, когда моделирующая его сеть Петри  $N(S)$  работоспособна и безопасна.

Для доказательства необходимо проверить соответствие критериев реализуемости, безостановочности и согласованности с активностью переходов моделирующей сети, а также связь ее свойства безопасности с критерием неповторности. Необходимость наличия активных переходов непосредственно вытекает из определений первых двух критериев. Следовательно, критерии реализуемости и безостановочности можно проверить путем построения моделирующей сети на предмет выявления в ней пассивных переходов. Если таковые существуют в моделирующей сети, то алгоритм выполнения БП в соответствующем месте остановится. Выявление переходов в сети с активностью уровня 1 непосредственно связано с проверкой критерия согласованности в модели ОБП. На примере (рисунок 3а)

после окончания выполнения операции **A** и выполнения условия **u** начинает выполняться операция для **D** и возможна подача команды на освобождение **A** и **B**, но агент, выполняющий операцию **B** уже мог находиться в свободном состоянии (ему не подавалась команда «освободиться»).

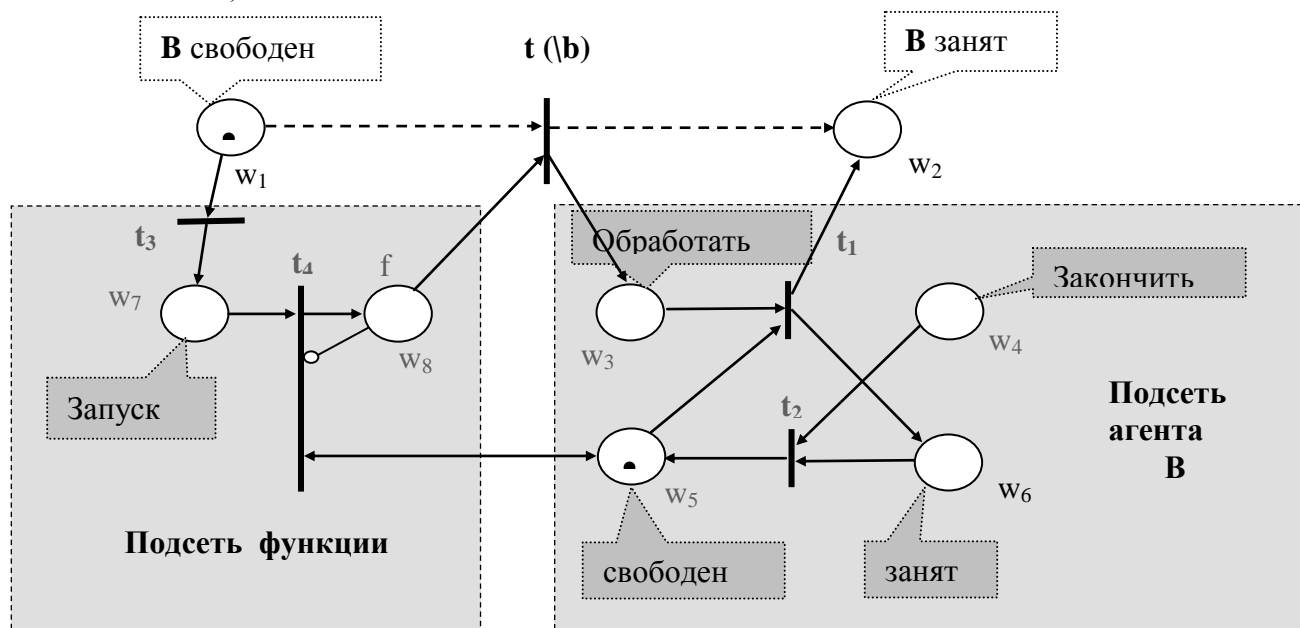


Рисунок 4 - Процесс объединения

Таким образом, критерий согласованности управления не соблюдается. Для проверки этого условия достаточно запустить динамическую модель данного примера (рисунок 3б). После срабатывания перехода  $t_1$  и появления метки в позиции «и» срабатывает переход  $t_3(1)$  и затем – переход  $t_4$ , который запустит подсеть в том числе и для агента **B**. Соответственно переход в подсети по «освобождению» агента не сработает, т.к. последний уже «свободен». Значит метка в позиции «В свободен» для подсети **B** не появится. Заметим, что в данном случае не сработавший переход не пассивен, а обладает активностью уровня 1, т.е. он потенциально запустим или существует такая маркировка  $\mu'$ , при которой он срабатывает. В данном случае если бы вместо условия **u** в альтернативе выполнилось бы противоположное условие ( $/u$ ), то агент **B** стал бы «занятым» и далее. Критерий неповторности связан безопасностью моделирующей сети. Если число меток в позиции не превышает единицы, то позиция считается безопасной, а если все позиции безопасны, то и вся сеть считается безопасной. Накопление меток в позиции, соответствующей какому-либо состоянию агента означает подаче на него для отработки операции одного и того же управляющего воздействия, что противоречит принципам управления данным классом объектов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Андерсен, Б Бизнес-процессы. Инструменты совершенствования [Текст] / Б. Андерсен. - Стандарты и качество, 2007 г. - 272 стр.
2. Елиферов, В. Г. Бизнес-процессы. Регламентация и управление [Текст] / В.Г. Елиферов, В.В. Репин–Инфра – М, 2009 – 320с.

**Нурмагомедова Наталья Викторовна**

Московского государственного университета технологии и управления

105064, г. Москва, ул. Земляной вал, 73.

Аспирант

Тел.: (495) 235-27-71

E-mail: ross@pvti.ru