

И. А. Седых, доктор технических наук, доцент
А. А. Тамбовцев, аспирант

ПРИМЕНЕНИЕ РАСКРАШЕННЫХ ВЛОЖЕННЫХ СЕТЕЙ ПЕТРИ ДЛЯ ПОДБОРА МЕСТ ХРАНЕНИЯ И ОТПУСКА ПРОДУКТОВ

THE USE OF COLORED NESTED PETRI NETS FOR THE SELECTION OF PLACES OF STORAGE AND RELEASE OF PRODUCTS

В данной работе рассмотрен процесс автоматического подбора подходящих свободных мест для размещения и хранения товара, а также подбор продуктов из мест хранения для отгрузки со склада с использованием вложенных раскрашенных сетей Петри. Приведены модели используемых сетей Петри для моделирования данных процессов и подробно описан принцип их работы. Показано преимущество использования данной модели в оптимизации процесса подбора и отгрузки продуктов.

In this paper, we consider the process of automatic selection of suitable vacant places for the placement and storage of goods, as well as the selection of products from storage locations for shipment from a warehouse using nested colored Petri nets. The models of Petri nets used for modeling these processes are presented and the principle of their operation is described in detail. The advantage of using this model in optimizing the process of selecting and shipping products is shown.

Введение. Существуют две основные системы: 1С и SAP EWM, позволяющие управлять складскими процессами, в том числе подбором мест хранения и отпускаемых продуктов. Процесс подбора мест хранения и продуктов для отгрузки в них — это два разных процесса в системе, работающие независимо друг от друга. Такое разделение имеет свои преимущества, например, в случае ошибки в одном процессе это не сильно скажется на другом. Но есть и недостатки, например, системе необходимо делать дополнительную проверку мест хранения на наличие на складе свободного места. В работе для устранения данного недостатка предлагается применение сетей Петри для моделирования процесса подбора мест хранения и отпуска продуктов.

Сети Петри удобно использовать для моделирования сложных распределенных объектов или распределенных систем. Применение сетей Петри обусловлено тем, что их графическое представление позволяет упростить описание процессов, сделать разрабатываемую модель более наглядной. Например, в [1] предлагается инструмент для принятия решений по управлению гибкими системами мануфактурирования на основе имитационной модели с использованием иерархических раскрашенных сетей Петри.

Помимо этого раскрашенные сети Петри применяются для моделирования и проверки систем управления железнодорожным транспортом [2], для модели сложных распределенных объектов, например таких, как цементное производство [3], и для анализа и верификации UCM (Use Case Maps) моделей [4].

Вложенные сети Петри применяются в моделировании распределенных систем, например агентства по прокату автомобилей [5], для проверки алгоритмов программного обеспечения на наличие взаимоблокировок, невыполнимых операций и заикливания [6, 7].

В данной работе было принято решение использования вложенных раскрашенных сетей Петри для моделирования подбора свободных мест для хранения продуктов и дальнейшей их отгрузки со склада.

Выбранные вариации сетей Петри. Вложенные сети Петри являются мощным инструментом для моделирования и анализа распределенных систем, так как позволяют описывать сложные взаимодействия между компонентами системы и анализировать их поведение. В отличие от классических сетей Петри, они могут иметь вложенные структуры, то есть одна сеть может быть вложена в другую.

Такие сети Петри имеют несколько полезных свойств [8—10]:

- Вложенность — это особенность, благодаря которой одна сеть может быть частью другой сети, что позволяет моделировать иерархическую структуру системы.
- Параллельность — свойство, благодаря которому несколько переходов могут происходить одновременно, если нет конфликтов между ними.
- Синхронизация — это свойство означает, что выполнение одной подсистемы может зависеть от выполнения другой. Синхронизация позволяет учитывать взаимодействие и зависимости между различными частями системы.
- Переиспользование — одна и та же модель подсистемы может быть использована в разных системах или в разных частях одной системы. Это позволяет экономить время и ресурсы при моделировании сложных систем.
- Анализ и верификация — с помощью сетей Петри можно анализировать поведение и производительность системы, а также проверять ее соответствие заданным требованиям. Данная особенность позволяет выявлять потенциальные проблемы и улучшать производительность системы.

Раскрашенные сети Петри позволяют представить более удобную визуализацию создаваемой модели по сравнению с классическими сетями Петри. В таком виде сетей Петри фишкам приписаны некоторые признаки, например различные цвета, а условия срабатывания переходов и правила изменения разметки сети задаются специальной таблицей, учитывающей цвета меток [11, 12].

Разработка модели сортировки и подбора продукта. Целью данной работы является создание модели на основе раскрашенной вложенной сети Петри для оптимизации подбора мест хранения на складе и продуктов для отгрузки со склада. Основные задачи для разрабатываемой модели — это сортировка поступающего продукта по наиболее подходящим местам хранения на складе с предварительной проверкой на брак и подбор продуктов из мест хранения для отгрузки со склада.

На рисунке 1 представлена исходная сеть Петри первого уровня, моделирующая общий процесс подбора места хранения и продукта, а на рисунках 2 и 3 — вложенные раскрашенные сети Петри, моделирующие сами процессы подбора мест хранения и подбора продукта для отгрузки. В первой вложенной сети по подбору мест хранения имеются 2 вида четырехцветных меток (рис. 2). Это метки, отображающие параметры продукта: срок годности, цену, размер, номер продукта в системе, и метки, отображающие параметры места: срок хранения, габариты, цену и номер места. На подбор места влияют 3 показателя:

- срок годности продукта (скоропортящийся и скоропортящийся), проверяется на первом этапе, так как является важным критерием для выбора места;

- размер продукта (большой/негабаритный, маленький), проверяется на втором этапе;
- цена (дорогой, дешёвый), проверяется на последнем и заключительном этапе для подбора места.

Во второй вложенной сети Петри по подбору продуктов для отгрузки (рис. 3) имеется одноцветная метка (номер продукта) и шестицветная метка: срок годности, цена, размер, номер продукта, срок хранения и номер продукта.

Опишем принцип работы сети Петри первого уровня, представленной на рисунке 1:

1. На первом этапе продукт прибывает на склад и проверяется на брак $T_1 - P_1$. Если брак обнаружен, продукт идёт в место хранения брака $T_2 - P_2$. Если нет — продолжает движение по сети.

2. Следующий этап — сортировка продукта и подбор места хранения $T_3 - P_3$. В позицию P_3 вложена сеть Петри по подбору места хранения для продукта.

3. После продукт уходит в подобранное для него место $T_4 - P_4$. В P_4 вложена сеть Петри по подбору продукта для отгрузки. В данной вложенной сети метки находятся до начала этапа подбора продукта для отгрузки.

4. В переходе T_8 происходит преобразование метки из шестицветной в четырёхцветную. Данный процесс необходим для того, чтобы метка, совершив переход во вложенную в P_3 сеть Петри, смогла вернуться в своё изначальное место и участвовать в будущих подборах мест хранения.

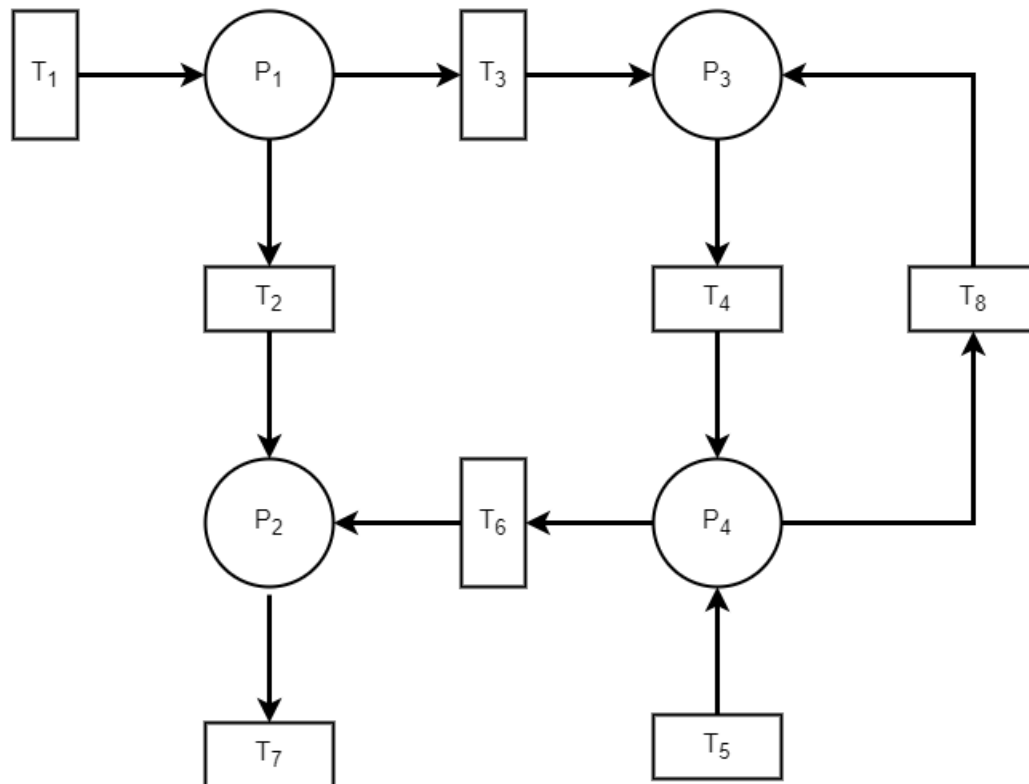


Рис. 1. Схема сети Петри первого уровня

Вложенная сеть Петри, находящаяся в позиции P_3 (рис. 2), имеет следующие обозначения: P_i^3 — позиция, T_j^3 — переход, где 3 — это номер позиции, в которую вложена рассматриваемая сеть Петри, i — это номер позиции, j — номер перехода во вложенной сети.

Принцип её работы следующий:

1. Имеется несколько исходных признаков у продукта:

- срок годности;
- размер;
- цена;
- номер продукта в системе.

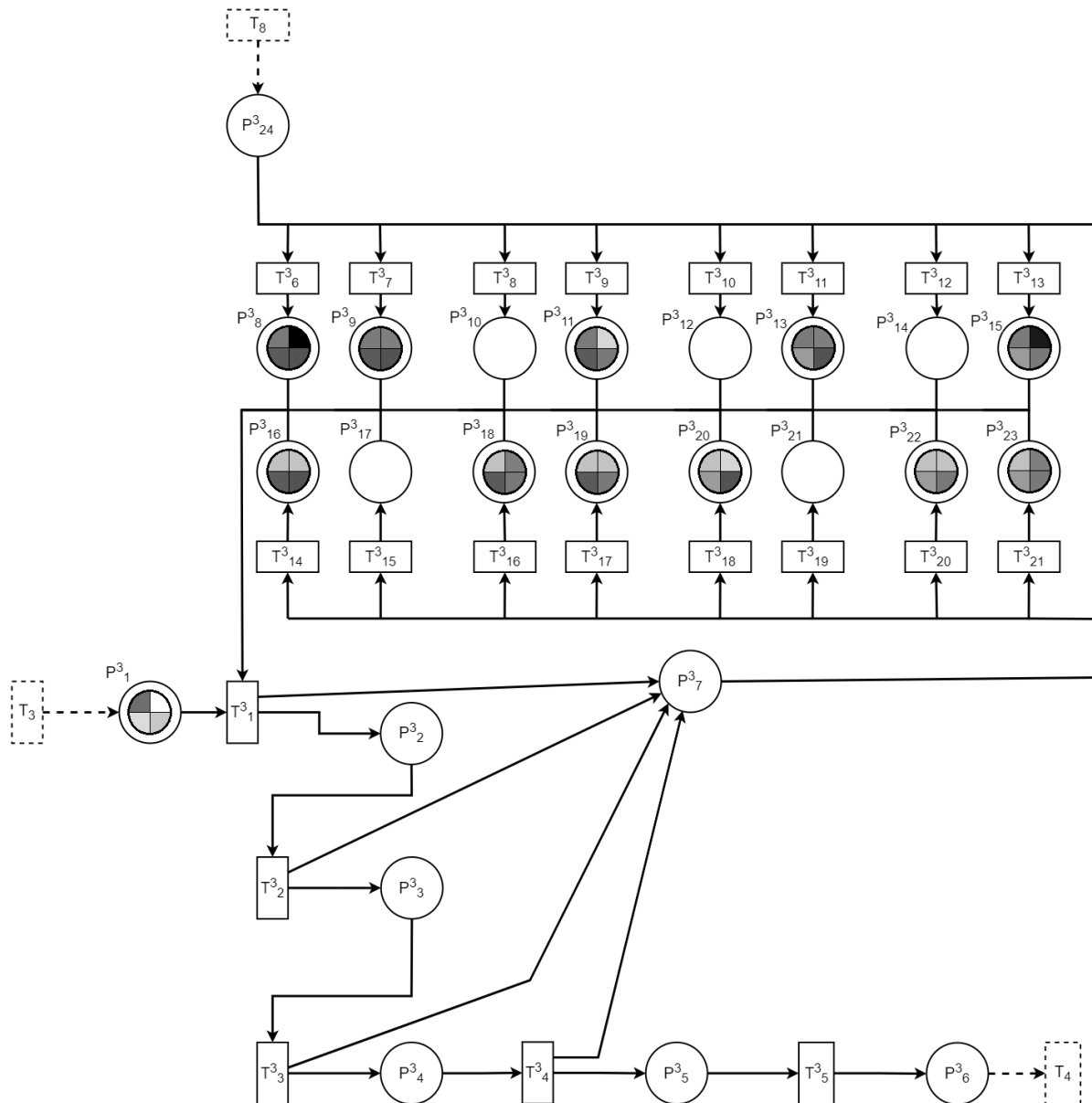


Рис. 2. Вложенная раскрашенная сеть Петри по подбору места хранения

2. У продукта есть изначально заданные параметры по вышеописанным критериям, то есть у поступающего продукта метки будут иметь свои значения (свои цвета). Продукт проверяется по каждому признаку на соответствие критериям.

3. Места хранения ($P_8^3 - P_{23}^3$) также имеют свои, уже заданные, цвета/признаки:

- a) скоропортящийся продукт или нет;
- b) габаритный продукт или нет;
- c) дорогой продукт или нет;
- d) номер места в системе.

4. Процесс отбора места проходит в три этапа по каждому критерию продукта.

5. Первый этап — отбор по срокам годности начинается с перехода T_1^3 ($P_8^3 - P_{15}^3$ — скоропортящийся продукт, $P_{16}^3 - P_{23}^3$ — нескоропортящийся продукт). На этом этапе идет проверка соответствия по одному цвету. Метки мест, совпавшие с цветом метки продукта, проходят на следующий этап. Остальные возвращаются обратно.

6. Второй этап — проверка размера продукта начинается с перехода T_2^3 ($P_8^3 - P_{11}^3$, $P_{16}^3 - P_{19}^3$ — большой, $P_{12}^3 - P_{15}^3$, $P_{20}^3 - P_{23}^3$ — маленький). Проверка повторяет процесс на первом этапе.

7. Третий этап — проверка цены продукта начинается с перехода T_3^3 (P_8^3 , P_9^3 , P_{12}^3 , P_{13}^3 , P_{16}^3 , P_{17}^3 , P_{20}^3 , P_{21}^3 — дорогой, P_{10}^3 , P_{11}^3 , P_{14}^3 , P_{15}^3 , P_{18}^3 , P_{19}^3 , P_{22}^3 , P_{23}^3 — дешёвый). Это финальный этап подбора места хранения. На данном этапе после проверки на соответствие цвету в позиции P_4^3 останутся только места, подходящие для данного продукта. Однако в позицию P_5^3 перейдёт лишь одна метка места хранения, остальные вернутся обратно.

8. Последним этапом данной сети будет создание новой метки путём объединения метки продукта и метки места хранения в одну. Это происходит в переходе T_5^3 . На этом этапе появится новая шестицветная метка:

- a) срок годности;
- b) номер продукта в системе;
- c) номер места в системе;
- d) скоропортящийся продукт или нет;
- e) габаритный продукт или нет;
- f) дорогой продукт или нет.

9. Новая шестицветная метка выходит из вложенной сети Петри и переходит в позицию P_4 через переход T_4 сети Петри первого уровня.

В данном подборе отсутствует проверка на занятость места. Если место уже занято, то у него будет отсутствовать метка и оно не будет участвовать в подборе. На своё место метка вернётся в процессе отгрузки продукта со склада. Это будет означать свободу данного складского места. Метки будут возвращаться обратно в процесс подбора продукта для отгрузки через позицию P_{24}^3 .

Таким образом, на схеме, изображённой на рисунке 2, представлена модель подбора свободных мест для хранения продуктов, основанная на вложенной раскрашенной сети Петри.

Вложенная сеть Петри, находящаяся в позиции P_4 и показанная на рисунке 3, имеет следующие обозначения: P_i^4 — позиция, T_j^4 — переход, где 4 — это номер позиции, в которую вложена рассматриваемая сеть Петри, i — это номер позиции, j — номер перехода во вложенной сети.

Принцип её работы следующий:

1. В P_1^4 создаётся метка с номером продукта, который требуется подобрать из мест хранения для отгрузки со склада.
2. Места хранения ($P_7^4 - P_{22}^4$) имеют свои, уже заданные, цвета/признаки:
 - а) срок годности;
 - б) номер продукта в системе;
 - с) номер места в системе;
 - д) скоропортящийся продукт или нет;
 - е) габаритный продукт или нет;
 - ф) дорогой продукт или нет.
3. В переходе T_1^4 происходит отсеивание всех мест, которые не содержат в себе необходимый номер продукта. Метки, не прошедшие отбор, возвращаются обратно. Прошедшие отбор метки переходят дальше по сети в позицию P_2^4 .
4. В переходе T_2^4 происходит проверка места на срок годности. Срок годности, хранящийся в метке, сравнивается с системным временем компьютера, и если он истёк, то данная метка попадает в позицию P_5^4 . После чего выходит из вложенной сети Петри и переходит в позицию P_2 через переход T_6 (место хранения брака). Все остальные метки переходят в позицию P_3^4 .

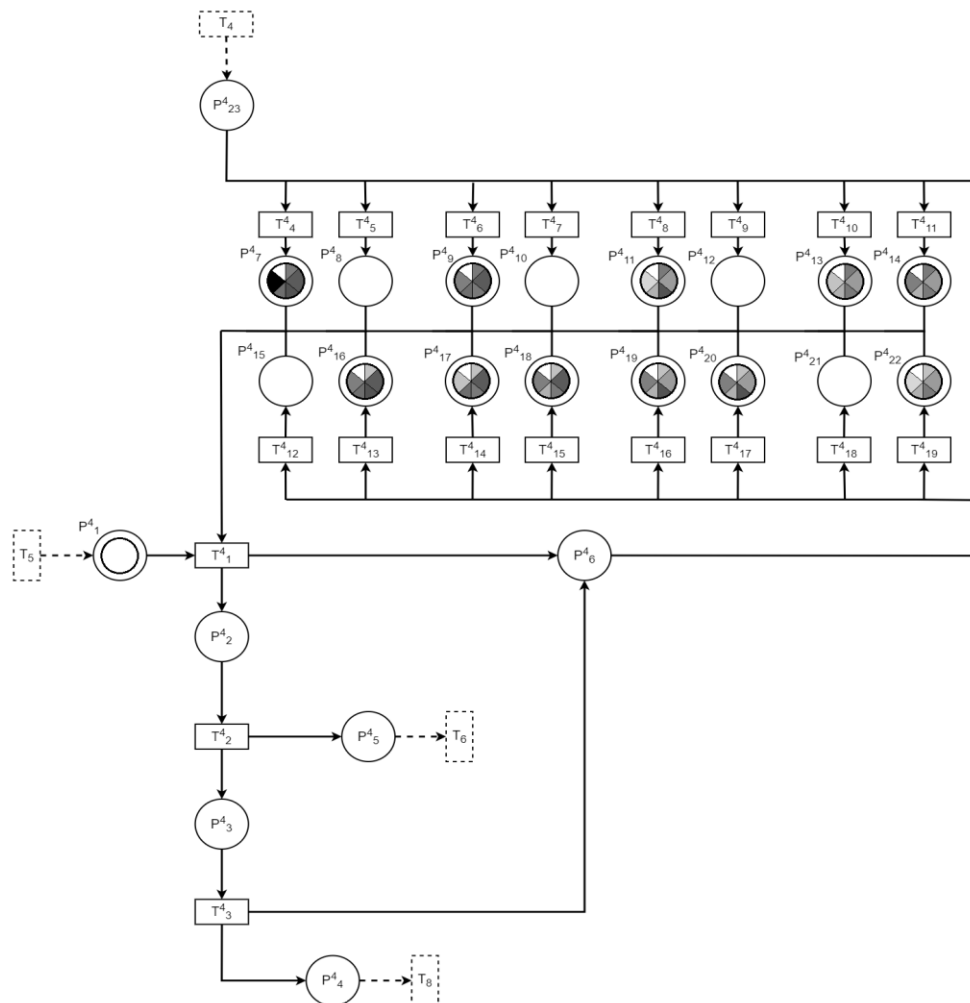


Рис. 3. Вложенная раскрашенная сеть Петри по подбору продукта

5. На следующем этапе, аналогично с прошлой сетью Петри, будет отобран один продукт, который пройдет дальше по сети в позицию P_4^4 и в дальнейшем выйдет из вложенной сети. Все остальные вернутся в свои начальные места. На данном этапе есть возможность изменить количество меток, способных пройти в позицию P_4^4 . Данный параметр будет зависеть от количества затребованного продукта.

6. Заключительным этапом будет выход метки из вложенной сети Петри и её переход в позицию P_3 через переход T_8 .

7. Через позицию P_{23}^4 в данную сеть Петри попадает метка из процесса подбора места хранения для продукта, который описан выше.

Преимуществом данной сети Петри является то, что в процессе подбора также происходит проверка сроков годности продукта, что в дальнейшем может упростить инвентаризацию на складе.

Таким образом, на схеме, изображённой на рисунке 3, представлена модель подбора продуктов для отпуска со склада, основанная на вложенной раскрашенной сети Петри.

Рассмотрим работу сети Петри на конкретном примере:

1. На склад прибыл продукт «Молоко».
2. В позиции P_1 происходит проверка на брак данного продукта. Продукт не является браком, поэтому идёт дальше по сети. В противном случае он переходит в позицию P_2 «Хранение брака».

3. Метка продукта, попадая в P_3 , через T_3 переходит во вложенную сеть Петри по подбору мест хранения:

a) В позиции P_1^3 создаётся метка со значениями для данного продукта, а именно: номер продукта в системе, срок годности, размер и цена. Позиции $P_8^3 - P_{23}^3$ уже имеют в себе метки с нужными параметрами. Все метки начинают своё движение к переходу T_1^3 .

b) В переходе T_1^3 происходит проверка продукта по сроку годности и места хранения на то, подходит оно для хранения скоропортящихся продуктов или нет.

c) В данный момент все метки с мест хранения, не имеющие необходимого параметра (место для скоропортящихся продуктов), перейдут в позицию P_7^3 и после вернутся в свои исходные позиции. Для этого существуют переходы $T_6^3 - T_{21}^3$, проверяющие метки на соответствие по номеру места. Остальные метки вместе с меткой самого продукта перейдут в P_2^3 .

d) В переходе T_2^3 происходит подобный процесс, но проверяются размеры продукта. В нашем случае это не крупногабаритный продукт, поэтому все метки, не имеющие параметра «Обычный размер», перейдут в позицию P_7^3 и вернутся в исходные места. Все же остальные пройдут дальше по сети в позицию P_3^3 .

e) В переходе T_3^3 происходит финальная проверка на цену товара. В нашем случае цена имеет критерий «Низкая». Соответственно, все метки, не имеющие параметра «Низкая», вернутся в исходные места. Оставшиеся перейдут в позицию P_4^3 .

f) Переход T_4^3 пропустит через себя метку продукта и одну из отображенных меток, все остальные вернутся в исходные места.

g) Последним этапом будет объединение меток продукта и места хранения: номер места, номер продукта, срок годности, скоропортящийся продукт или нет, габаритный продукт или нет, дорогой продукт или нет. Далее новая метка выходит из вложенной сети и через переход T_4 попадает в позицию P_4 сети Петри первого уровня.

1. После перехода в позицию P_4 будет известно место, на которое необходимо складировать данный продукт, а сам продукт будет храниться на складе до того момента, пока его не запросят на отгрузку. За процесс отбора продукта отвечает вложенная в позицию P_4 сеть Петри по подбору продукта (рис. 3):

а) В позиции P_1^4 создаётся метка, в которой содержится номер продукта. В нашем случае «Молоко – 0001».

б) Позиции $P_7^4 - P_{22}^4$ хранят в себе метки, полученные из позиции P_3 . Для этого существует позиция P_{23}^4 , принимающая в себя метки из P_3 через переход T_4 .

с) В данный момент все метки из $P_7^4 - P_{22}^4$, а также метка из P_1^4 проверяются в переходе T_1^4 по параметру «Номер продукта», то есть «Молоко – 0001». Все метки, не имеющие в себе данных значений, перейдут в позицию P_6^4 и вернуться в исходные позиции. Для этого существуют переходы $T_4^3 - T_{19}^3$, проверяющие на соответствие метки номеру места. Все остальные метки перейдут дальше, в позицию P_2^4 .

д) В переходе T_2^4 происходит сравнение сроков годности продукта с текущей датой, взятой из системного времени компьютера. Если срок годности истёк, метка переходит в позицию P_5^4 , затем выходит из вложенной сети Петри и попадает в P_2 «Хранение брака» через переход T_6 сети Петри первого уровня. В нашем примере срок годности не истёк, поэтому продукт проходит дальше в позицию P_3^4 .

е) На последнем этапе будет отобрана одна метка из всех прошедших, остальные вернуться в исходные позиции. Имеется возможность задать число меток, которые смогут пройти дальше в зависимости от количества затребованного продукта. Метки перейдут в позицию P_4^4 и выйдут из вложенной сети, после чего перейдут в позицию P_3 через переход T_8 . На данном этапе заканчивается весь путь сортировки продукта для хранения и подбора для отгрузки.

5. Работа сети Петри продолжается, так как из позиции P_4 метка должна будет вернуться во вложенную сеть Петри в позиции P_3 . Для этого создаётся новая метка, которой будут присвоены следующие параметры: скоропортящийся продукт или нет, габаритный продукт или нет, дорогой продукт или нет, номер места в системе.

6. Попадая во вложенную в позицию P_3 сети Петри через позицию P_{24}^3 , метка возвращается на своё начальное место на складе.

Заключение. В результате разработана структура и алгоритм функционирования раскрашенной вложенной сети Петри, моделирующей процесс приёмки продуктов на склад, а также подбор продуктов с мест хранения. Преимуществом данной модели является то, что в ней отсутствует необходимость проверки на свободность места хранения, так как занятое место не имеет собственной метки в сети, а следовательно, не будет участвовать в подборе мест для хранения продукта. Помимо этого, присутствует проверка сроков годности продуктов в момент их подбора для отгрузки. Отличие от обычного процесса проверки сроков годности состоит в том, что проверку проходит всё количество затребованного продукта, хранящегося на складе, а не только то количество, что затребовано для отгрузки. Это позволяет эффективнее отслеживать актуальность информации о продуктах, хранящихся на складе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Jose Eloundou. Modelisation multi-contraintes d'un systeme de production flexible : thes. ... doct. Informatique. — Rouen, 2016. — 201 p.

2. Yuchen Xie. Modelisation et Verifcation Formelles de Systemes de Controle de Trains : thes. ... doct. Automatique, genie informatique, traitement du signal et des images. — Ecole centrale de Lille, 2019. — 251 p.

3. Седых И. А., Аникеев Е. С. Представление цементного производства иерархическими раскрашенными временными сетями Петри на основе окрестностных моделей // Вестник ЛГТУ. — 2017. — № 1 (31). — С. 19—24.

4. Визовитин Н. В., Непомнящий В. А., Стененко А. А., Применение раскрашенных сетей Петри для верификации конструкций управления сценариями языка UCM // Моделирование и анализ информационных систем. — 2016. — № 23:6. — С. 688—702.

5. Марков А. В., Воевода А.А. Вложенные сети Петри и нагруженные метки: распределенная система и рекурсия // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия : Управление, вычислительная техника и информатика. — 2015. — № 2. — С. 23—31.

6. Башкин В. А., Ломазова И. А. Эквивалентность ресурсов в сетях Петри. — М. : Научный мир, 2008. — 206 с.

7. Рудаков И. В., Пашенкова А. В. Программный комплекс верификации алгоритмов программного обеспечения с помощью иерархических сетей Петри // Инженерный журнал : Наука и инновации. — 2013. — № 2. — С. 86—96.

8. Ломазова И. А. Вложенные сети Петри: моделирование и анализ распределенных систем с объектной структурой. — М. : Научный мир, 2004. — 208 с.

9. Горлач, Б. А., Шахов В.Г. Математическое моделирование. Построение моделей и численная реализация : учебное пособие. — СПб. : Лань, 2018. — 292 с.

10. Рудаков И. В., Пашенкова А. В. Программный комплекс верификации алгоритмов программного обеспечения с помощью иерархических сетей Петри // Инженерный журнал : Наука и инновации. — 2013. — № 2. — С. 86—96.

11. Седых И. А., Аникеев Е. С. Иерархические раскрашенные временные сети Петри на основе окрестностных моделей // Автоматизация процессов управления. — 2018. — № 2. — С. 83—89.

12. Кизиллов Е. А. Методика построения цветных сетей Петри, моделирующих работу цифрового автомата // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. — 2017. — № 3. — С. 36—47.

REFERENCES

1. Jose Eloundou. Modelisation multi-contraintes d'un systeme de production flexible : thes. ... doct. Informatique. — Rouen, 2016. — 201 p.

2. Yuchen Xie. Modelisation et Verifcation Formelles de Systemes de Controle de Trains : thes. ... doct. Automatique, genie informatique, traitement du signal et des images. — Ecole centrale de Lille, 2019. — 251 p.

3. Sedy`x I. A., Anikeev E. S. Predstavlenie cementnogo proizvodstva ierarxicheskimi raskrashenny`mi vremenny`mi setyami Petri na osnove okrestnostny`x modelej // Vestnik LGTU. — 2017. — № 1 (31). — S. 19—24.

4. Vizovitin N. V., Nepomnyashhij V. A, Stenenko A. A., Primenenie raskrashenny`x setej Petri dlya verifikacii konstrukcij upravleniya scenariyami yazy`ka UCM // Modelirovanie i analiz informacionny`x sistem. — 2016. — № 23:6. — S. 688—702.

5. Markov A. V., Voevoda A.A. Vlozhenny`e seti Petri i nagruzhenny`e metki: raspredelennaya sistema i rekursiya // Vestnik Astraxanskogo gosudarstvennogo texnicheskogo

universiteta. Seriya : Upravlenie, vy`chislitel`naya texnika i informatika — 2015. — № 2. — S. 23—31.

6. Bashkin V. A., Lomazova I. A. E`kvivalentnost` resursov v setyax Petri. — M. : Nauchny`j mir, 2008. — 206 s.

7. Rudakov I. V., Pashhenkova A. V. Programmny`j kompleks verifikacii algoritmov programmogo obespecheniya s pomoshh`yu ierarxicheskix setej Petri // Inzhenerny`j zhurnal : Nauka i innovacii. — 2013. — № 2. — S. 86—96.

8. Lomazova I. A. Vlozhenny`e seti Petri: modelirovanie i analiz raspredelenny`x sistem s ob`ektnoj strukturoj. — M. : Nauchny`j mir, 2004. — 208 c.

9. Gorlach, B. A., Shaxov V.G. Matematicheskoe modelirovanie. Postroenie modelej i chislennaya realizaciya : uchebnoe posobie. — SPb. : Lan`, 2018. — 292 c.

10. Rudakov I. V., Pashhenkova A. V. Programmny`j kompleks verifikacii algoritmov programmogo obespecheniya s pomoshh`yu ierarxicheskix setej Petri // Inzhenerny`j zhurnal : Nauka i innovacii. — 2013. — № 2. — S. 86—96.

11. Sedy`x I. A., Anikeev E. S. Ierarxicheskie raskrashenny`e vremenny`e seti Petri na osnove okrestnostny`x modelej // Avtomatizaciya processov upravleniya. — 2018. — № 2. — S. 83—89.

12. Kizilov E. A. Metodika postroeniya czvetny`x setej Petri, modeliruyushhix rabotu cifrovogo avtomata // Izvestiya vy`sshix uchebny`x zavedenij. Povolzhskij region. Texnicheskie nauki. — 2017. — № 3. — S. 36—47.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Седых Ирина Александровна. Профессор кафедры автоматизированных систем управления. Доктор технических наук, доцент.

Липецкий государственный технический университет.

E-mail: sedykh-irina@yandex.ru

Россия, 398055, г. Липецк, ул. Московская, д. 30.

Тамбовцев Александр Андреевич. Аспирант.

Липецкий государственный технический университет.

E-mail: sasha.tambovtsev.585@mail.ru

Россия, 398055, г. Липецк, ул. Московская, д. 30.

Sedikh Irina Alexandrovna. Professor of the chair of Automated Control Systems. Doctor of Technical Sciences, Associate Professor.

Lipetsk State Technical University.

E-mail: sedykh-irina@yandex.ru

Work address: Russia, 398055, Lipetsk, Moskovskaya Str., 30.

Tambovtsev Alexander Andreevich. Postgraduate student.

Lipetsk State Technical University.

E-mail: sasha.tambovtsev.585@mail.ru

Work address: Russia, 398055, Lipetsk, Moskovskaya Str., 30.

Ключевые слова: сети Петри; размещение; хранение; подбор; отгрузка; раскрашенные сети Петри; вложенные сети Петри; динамические системы.

Key words: Petri nets; placement; storage; selection; shipment; colored Petri nets; nested Petri nets; dynamic systems.

УДК 519.711