



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.9

АНАЛИЗ РЕАЛЬНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ, ФОРМАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМАМИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕТЕЙ ПЕТРИ

Коняев Е.А.

ФГБОУ ВО "МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Э. БАУМАНА (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)", Москва, Россия (105005, город Москва, 2-Я Бауманская ул, д. 5 стр. 1), e-mail: bauman@bmstu.ru

В статье рассматривается алгоритм анализа реальных физических объектов, формализованных системой массового обслуживания, с использованием сетей Петри, описывается разработанное ПО, созданное на основе рассматриваемого алгоритма. Представлены результаты сравнения разработанного метода анализа и языка имитационного моделирования GPSS при одной и той же конфигурации системы массового обслуживания.

Ключевые слова: Системы массового обслуживания, СМО, сети Петри, GPSS.

ANALYSIS OF REAL PHYSICAL OBJECTS, FORMALIZED BY MASS SYSTEMS SERVICES USING PETRI NETS

Konyayev E.A.

BAUMAN MOSCOW STATE TECHNICAL UNIVERSITY (NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY), Moscow, Russia (105005, Moscow, 2nd Baumanskaya str., 5/1), e-mail: bauman@bmstu.ru

The article discusses an algorithm for analyzing real physical objects, formalized by a queuing system, using Petri nets, and describes the developed software created on the basis of the algorithm under consideration. The results of a comparison of the developed analysis method and the GPSS simulation language for the same queuing system configuration are presented.

Keywords: Queuing systems, QS, Petri nets, GPSS.

Введение

Параллельная и распределенная обработка в реальных системах, таких как многопроцессорные системы, GRID-системы, распределенные базы данных и сети передачи данных, становятся все более распространенными. В этих системах задачи распределяются по ресурсам, выделяемым для их выполнения, и после завершения освобождают эти ресурсы. Такие информационные комплексы соответствуют концепции систем массового обслуживания.[2]

С учетом этого возрастает необходимость в анализе и контроле правильности функционирования систем массового обслуживания, чтобы обеспечить их эффективность и удовлетворить потребности пользователей. Такой анализ может быть проведен с использованием сетей Петри, которые предоставляют удобные средства моделирования и анализа различных аспектов работы систем массового обслуживания.[3]

Цель настоящей работы – разработать метод анализа и контроля правильности функционирования реальных физических объектов, формализованных системами массового обслуживания на основе сетей Петри.

Использование свойств сетей Петри для анализа СМО

Аналитики часто обращаются к формальным системам в задачах моделирования и анализа сложных параллельных и асинхронных систем. Они используют математический аппарат сетей Петри, который позволяет глубоко проникнуть в моделируемые системы. Прикладная теория сетей Петри сосредотачивается на использовании этих сетей для моделирования и анализа систем, что позволяет получать важные сведения о их функционировании [4].

В зависимости от ограничений выделяют множество классов сетей Петри, но в данной статье алгоритм будет основан на применении обобщенного класса сетей Петри, определяемых как $N = (P, T, F, B, M_0)$:

- $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ – конечное непустое множество элементов, называемых позициями, $n > 0$;
- $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ – конечное непустое множество элементов, называемых переходами, $m > 0$;
- $F : P \times T \rightarrow 0, 1, 2, \dots$ и $B : T \times P \rightarrow 0, 1, 2, \dots$ – функции инцидентности позиций и переходов. Инциденты только элементы разных типов (позиция и переход или переход и позиция). Множества позиций и переходов не пересекаются;
- $M_0 : P \rightarrow 0, 1, 2, \dots$ – функция начальной маркировки, которая сопоставляется каждой позиции $p \in P$ некоторое неотрицательное число $M_0(p)$, называемое маркировкой позиции p ;

Реальные объекты с очередями, формализованные системами массового обслуживания, можно представить в виде Q -схемы описываемой кортежем (w, u, R, H, Z, A) , где:

- w - входные данные;
- u - поток обслуживания;
- R - оператор сопряжения;
- H - множество внутренних параметров;
- Z - множество состояний для определений закона функционирования;
- A - алгоритм функционирования.

Данные параметры можно сопоставить сети Петри следующим образом:

- входные данные - параметры инициализации маркеров функцией M_0 ;
- поток обслуживания - множество переходов T ;
- оператор сопряжения и алгоритм функционирования - функция инцидентности F ;
- множество внутренних параметров - позиции $p \in P$, либо атрибуты фишек в цветной сети Петри;
- множество состояний - множество всех маркировок $R(N, M)$.

Сеть Петри обладает свойствами, которые могут быть использованы для анализа объектов, формализованных системой массового обслуживания [1]:

- безопасность и ограниченность;
- сохранение;
- живость;

- устойчивость;
- достижимость и покрываемость.

Сеть Петри безопасна, если все ее позиции безопасны. Позиция $p \in P$ сети $N = (P, T, F, B, M_0)$ называется безопасной, если $M(p) \leq 1$ для любой маркировки $M \in R(N)$. Безопасность является частным случаем свойства ограниченности. Позиция p сети Петри N называется k -ограниченной, если $M(p) \leq k$ для любой маркировки $M \in R(N)$. Анализ свойства безопасности можно использовать при проверки корректности СМО на то, что в очередях не находится больше ресурсов, чем это предусмотрено.

Сеть Петри $N = (P, T, F, B, M_0)$ называется сохраняющей по отношению к вектору весов $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$, $n = |P|$, $w_i \geq 0$, если $M, M' \in R(N)$ выполняется условие $\sum_{j=1}^n w_j \cdot M(p_j) = \sum_{j=1}^n w_j \cdot M'(p_j)$. Для моделирования систем распределения ресурсов важным является свойство сохранения. В этом случае маркеры в позициях сети Петри можно интерпретировать как ресурсы, количество которых в процессе функционирования должно оставаться неизменным (например, ресурс процессора в СМО).

Переход $t \in T$ сети Петри $N = (P, T, F, B, M_0)$ называется потенциально живым при маркировке $M \in R(N)$, если существует маркировка $M' \in R(N, M)$, такая, что $M' \in F(t)$. Сеть Петри называется живой, если все ее переходы живые. При функционировании сети Петри возможны ситуации, когда при некоторой маркировке не может сработать ни один переход сети, т. е. достигается тупиковая маркировка. Выявление тупиковых ситуаций является важной задачей при анализе систем с взаимодействующими процессами. Например, подобные случаи имеют место при взаимных блокировках процессов при распределении между ними ресурсов системы, что может возникнуть в результате функционирования СМО.

Пусть $M(t) \subseteq R(N)$ – множество достижимых в сети Петри N маркировок, при которых для перехода t выполняется условие срабатывания. Если для всех маркировок $M \in M(t)$ срабатывание любого другого разрешенного при маркировке M перехода не лишает переход t возможности сработать (оставляет его разрешенным), то переход t называется устойчивым. Свойство устойчивости важно для выявления конфликтов между процессами, когда запуск одного процесса влияет на другой процесс. В устойчивой сети Петри конфликты либо отсутствуют, либо успешно разрешаются. Обычно два разрешенных перехода находятся в конфликте, если они имеют по крайней мере одну общую входную позицию. Срабатывание одного из них может препятствовать срабатыванию другого (запрещает его), поскольку удаляется маркер из общего входа.

Распознавание рассмотренных свойств сетей Петри связано с определением возможности достижения некоторых заданных маркировок в сети. Задача достижимости формулируется следующим образом: для данной сети Петри N и маркировки M определить, является ли маркировка M достижимой из начальной маркировки сети, т. е. $M \in R(N)$. Многие задачи анализа можно сформулировать в терминах задачи достижимости. Например, пусть при решении задачи живости заранее известна тупиковая маркировка. Тогда, если эта маркировка достижима из начальной маркировки, то сеть не является живой. Если в СМО уже известна тупиковое состояние, то можно проанализировать, приведут ли другие известные состояния к этому тупику.

Алгоритмы используемые в разработанном ПО

Было разработано ПО, которое позволяет из описанных пользователем частей СМО (генераторов, обработчиков и очередей) узнать количественные характеристики системы, на основе сетей Петри. Для обработчиков это: количество вхождений, коэффициенты использования, среднее время обслуживания. Для очередей: максимальное количество заявок, текущее количество заявок, среднее время нахождения заявки в очереди. IDF0-диаграмма нулевого уровня, описывающая работу приложения представлена на рисунке 1.

Для того, чтобы построить сеть Петри из описанных элементов СМО использовались алгоритмы, представленные на рисунках 2—4.

При анализе правильности функционирования в сети Петри проверялись свойства, описанные в предыдущем разделе.

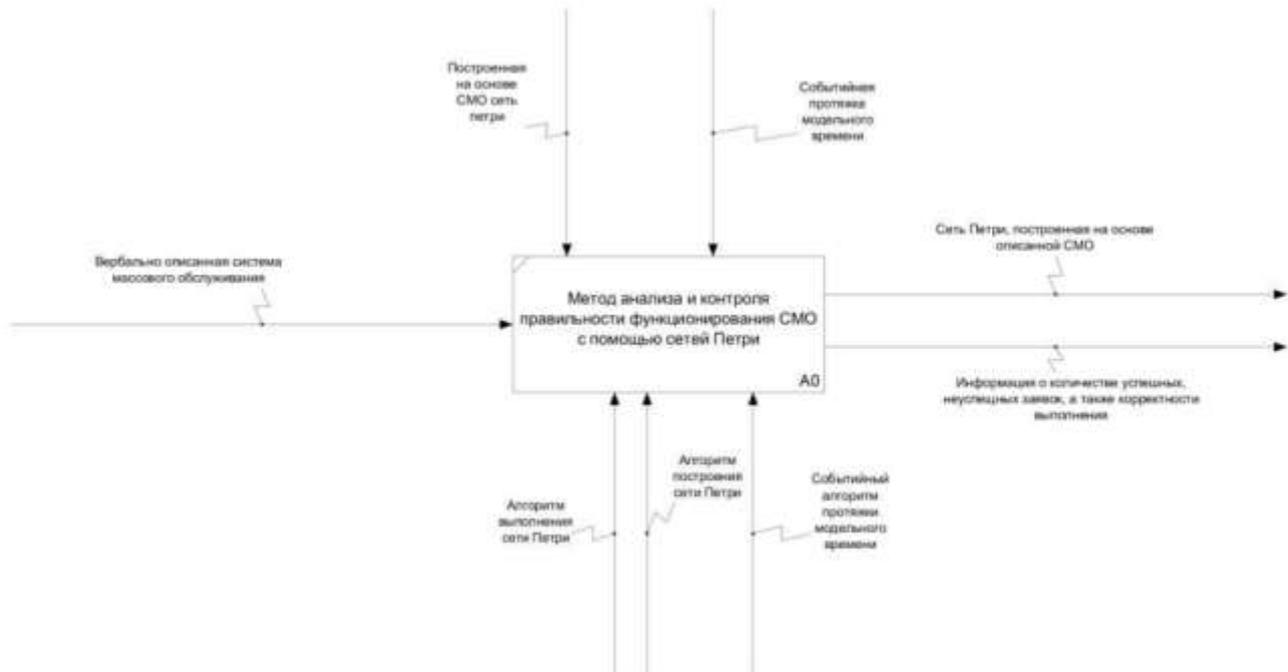


Рисунок 1 – Сегмент ЛВС после оптимизации

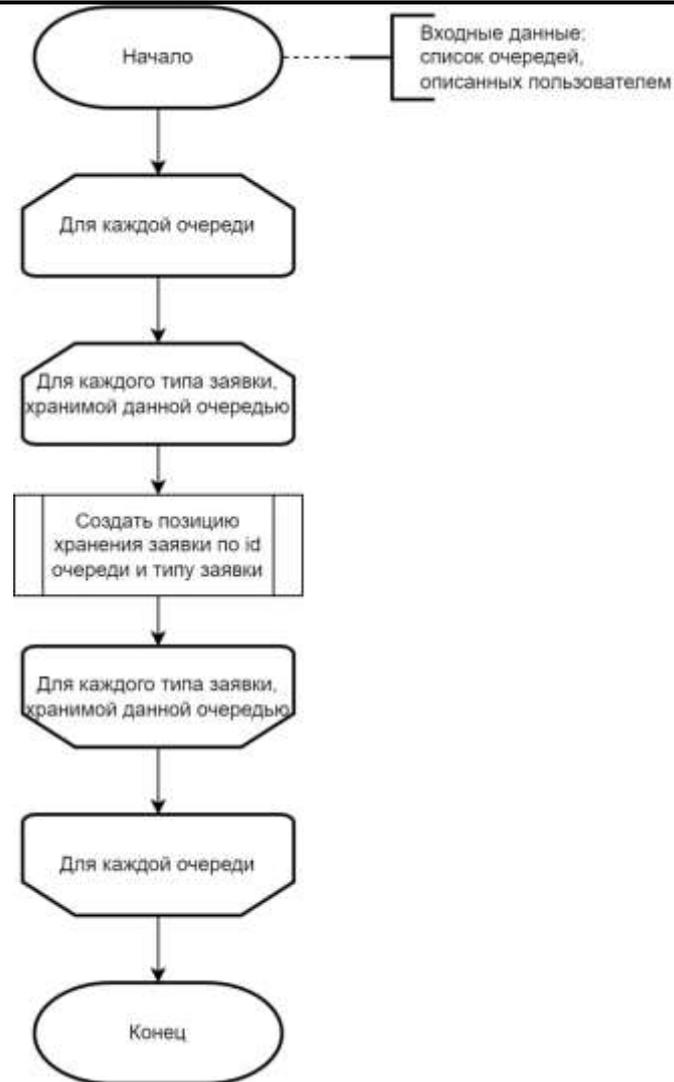


Рисунок 2 – Схема алгоритма создания элемента сети для очереди

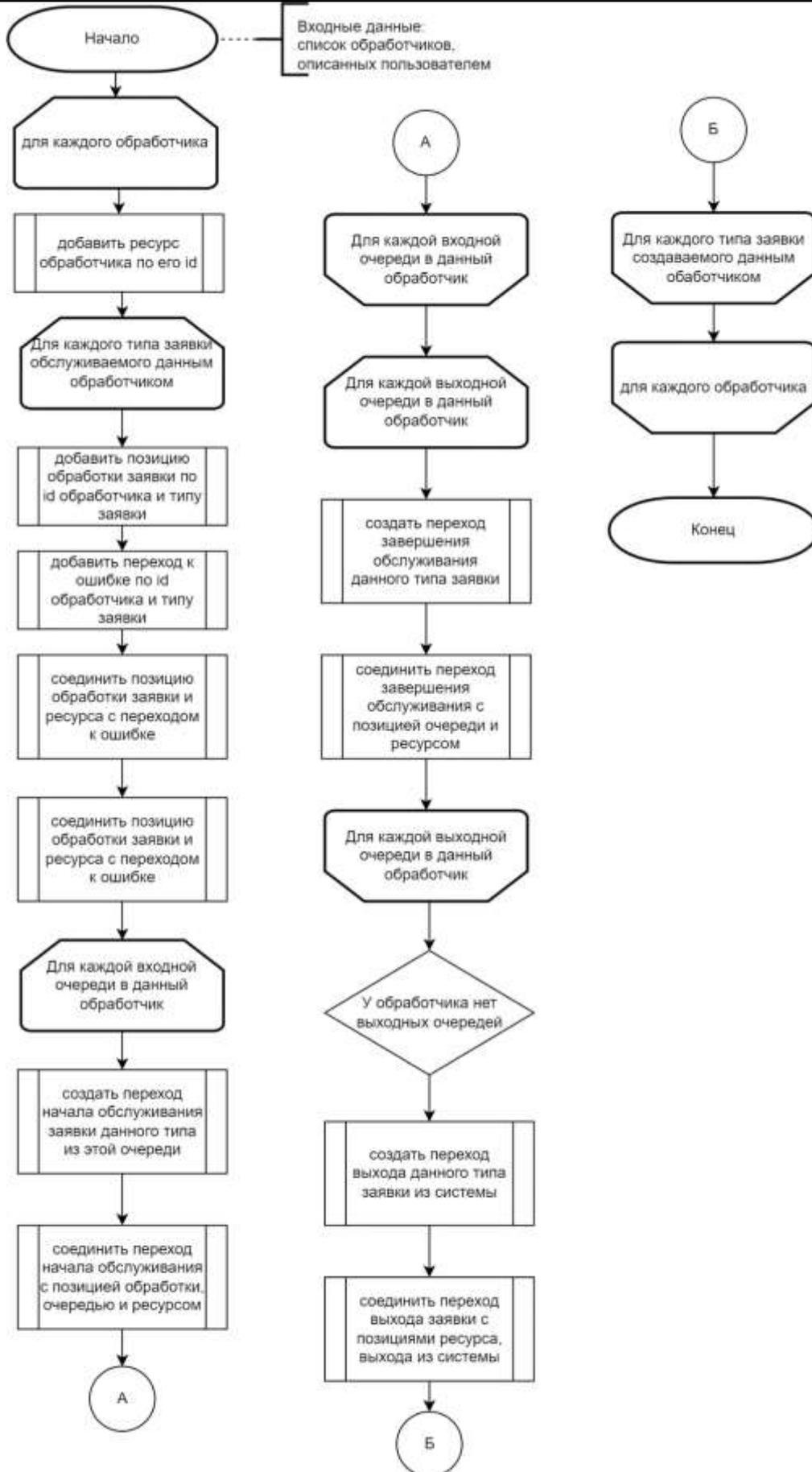


Рисунок 3 – Схема алгоритма создания элемента сети для обработчика

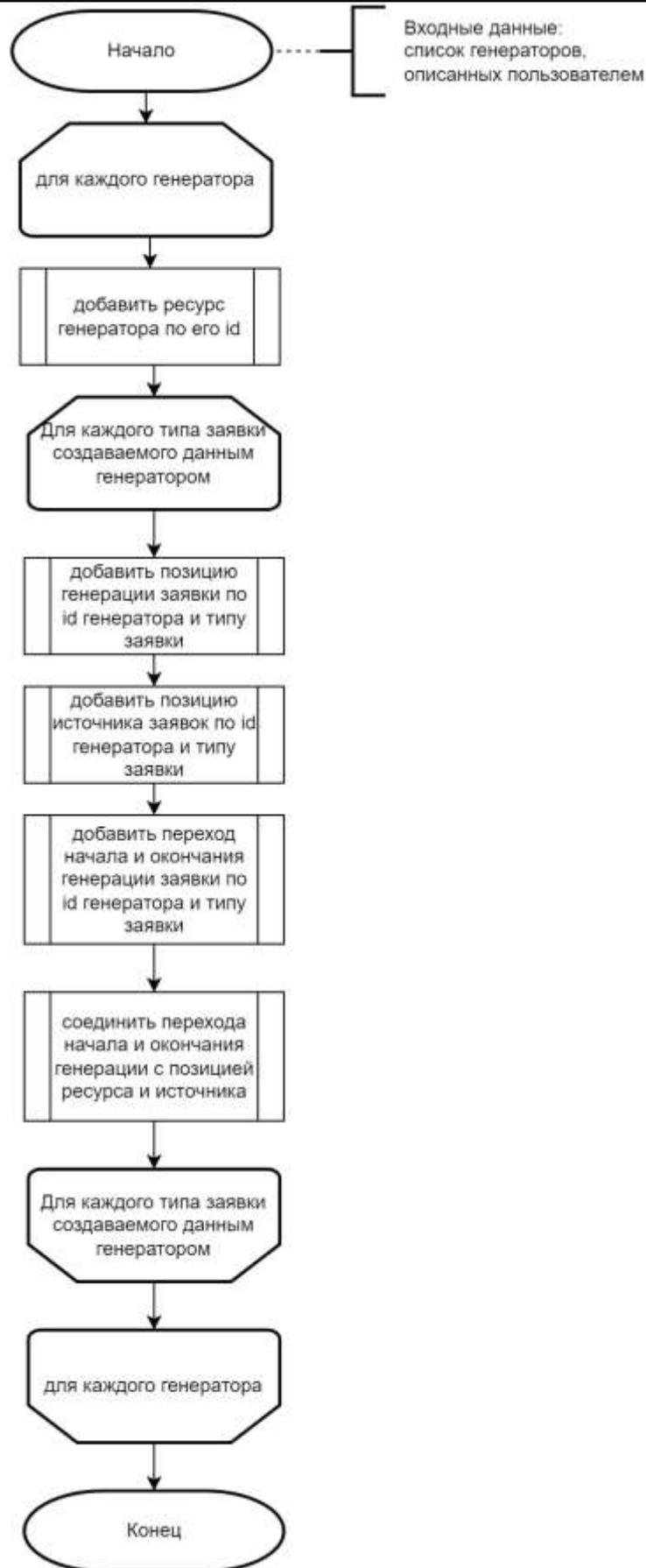


Рисунок 4 – Схема алгоритма создания элемента сети для генератора

Использование свойств сетей Петри для анализа СМО

В качестве системы с очередями для анализа использовалась модель магазина, описываемая в [5], схема которой приведена на рисунке 5. В качестве валидации значений, выводимых с помощью программного комплекса, использовался язык GPSS, на котором была решена аналогичная задача. Результат сравнения приведен в таблицах 1-2.

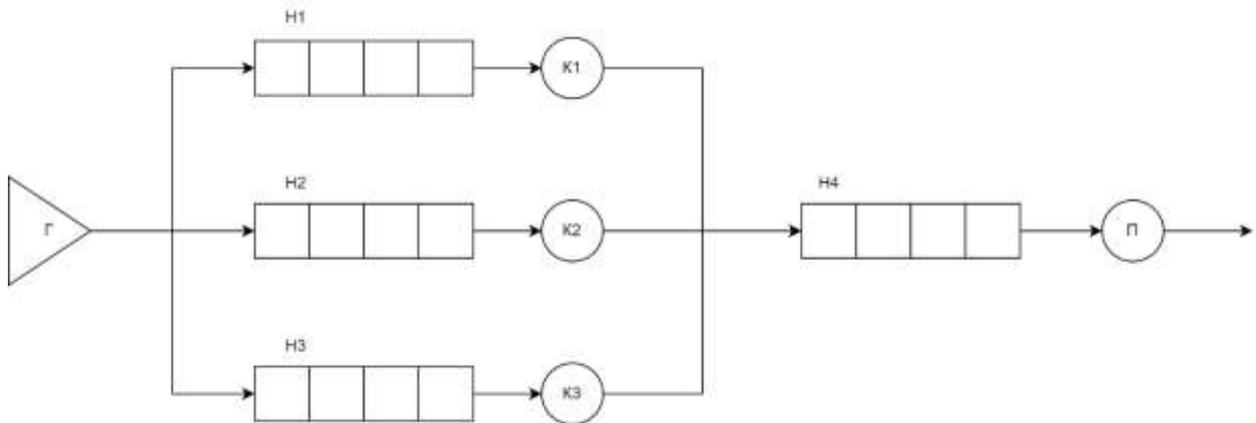


Рисунок 5 – Схема алгоритма создания элемента сети для обработчика

Таблица 1 – Сравнительная таблица параметров очередей

Параметр	Н1(GPSS/ПО)	Н2(GPSS/ПО)	Н3(GPSS/ПО)	Н4(GPSS/ПО)
Максимальное содержание	3/3	2/4	4/3	544/547
Текущее содержание	0/0	0/0	0/0	544/546
Среднее время пребывания	0.523/0.71	0.402/0.74	0.491/0.73	412.43/408.59

Таблица 2 – Сравнительная таблица параметров обработчиков

Параметр	К1(GPSS/ПО)	К2(GPSS/ПО)	К3(GPSS/ПО)	П(GPSS/ПО)
Число входов	223/225	208/202	215/217	101/98
Коэффициент использования	0.509/0.52	0.48/0.46	0.495/0.509	0.996/0.996
Среднее время обслуживания	2.275/2.3	2.278/2.261	2.254/2.33	9.738/10.03

Из приведенных выше таблиц видно, что есть расхождения, между результатами моделирования с помощью GPSS и разработанным ПО. Они обусловлены тем, что моделируемая система имеет стохастический характер и при разных запусках результаты могут немного отличаться, что и можно заметить в данном случае. При измерении времени работы было замечено, что для данной задачи разработанное ПО работало в 2.5 раза дольше, чем GPSS, что обуславливается дополнительными действиями: формирование сети Петри, проверка ее свойств, отображение на экране и лишь затем имитационное моделирование. Но описанные предварительные действия позволяют удостовериться в корректности решения задачи, что не позволяет сделать GPSS, выводя сразу готовые числа в качестве результата.

Таким образом в данной статье был рассмотрен алгоритм анализа объектов с очередями и его применение с использованием сетей Петри.

Список литературы

1. Котов В.Е. Сети Петри.//М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1984 — 158 с.
2. Толстых Н. Д., Учватов С.А. Система массового обслуживания, ее основные принципы и понятия//APRIORI. Серия: Естественные и технические науки. 2015. №6.
3. Плескунов М.А. Теория массового обслуживания: учебное пособие/М-во науки и высшего образования РФ, Урал. федер. ун-т. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2022. — 264 с.
4. Щербаков С.М. Имитационное моделирование экономических процессов в системе Arena: Учебное пособие/Рост. гос. эконом. ун-т (РИНХ). – Ростов н/Д, 2012. – 128 с.
5. Алтаев А.А. Имитационное моделирование на языке GPSS / Улан-Удэ, Изд-во ВСГТУ, 2001. – 122 с..

References

1. Kotov V.E. Petri nets.//M.: Nauka, Main editorial office of physical and mathematical literature, 1984 - 158 p.
 2. Tolstykh N.D., Uchvatov S.A. Queuing system, its basic principles and concepts // APRIORI. Series: Natural and technical sciences. 2015. No. 6.
 3. Pleskunov M.A. Queuing theory: textbook / Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Ural. federal univ. — Ekaterinburg: Ural Publishing House. un-ta, 2022. — p.264
 4. Shcherbakov S.M. Simulation modeling of economic processes in the Arena system: Textbook / Growth. state economy University (RINH). – Rostov n/d, 2012. – p.128
 5. Altaev A.A. Simulation modeling in the GPSS language / Ulan-Ude, Publishing House of the All-Russian State Technical University, 2001. – p.122
-