

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ СЕТЕЙ ПЕТРИ ДЛЯ АНАЛИЗА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ВЫВОЗА ТВЕРДЫХ ОТХО- ДОВ В СИСТЕМЕ «ЧИСТЫЙ ГОРОД»

Долинина О. Н.¹, Печенкин В. В.¹, Губин Н. М.¹

¹Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.
e-mail: ngubin93@gmail.com

С быстрым ростом городского населения возникают социальные, экономические и технологические проблемы обеспечения жизнедеятельности и безопасности жизни в крупных городских агломерациях. В настоящее время серьезные опасения вызывает ухудшение городской экологии, которое во многом развивается из-за медленного распространения современных технологий переработки бытовых и промышленных отходов. Данная проблематика имеет влияние на уровень здоровья населения, связана с деградацией городской инфраструктуры, загрязнением воздуха и многим другим негативным последствиям. С другой стороны, необходимо понимание критически важного для стабильного развития общества отношения к экологии, экологическому безопасному поведению. Все приведенные выше причины объединены в комплекс и требуют системного анализа как социальной составляющей, так и логистических подходов в организации вывоза отходов из крупных городов.

Задача удаления отходов является частью мероприятий по созданию благоприятной окружающей среды в городском пространстве. Одним из её решений, которое находит реализацию в рамках концепции «Умный город» [1], является управление процессом удаления твердых промышленных и бытовых отходов [2]. Концепция «Умный город» предполагает, что в методах решения присутствуют компоненты, использующие мобильные технологии, информационные системы, основанные на искусственном интеллекте и базах знаний.

Данный подход описан в работе [3], где дана общая структура системы «Чистый город», которая с помощью мобильной связи и технологий Web 2.0 позволяет повысить эффективность управления процессом сбора и вывоза твердых отходов, применять инновационные методы управления городским хозяйством в этой сфере, улучшать экологическую безопасность и использовать алгоритмы оптимизации перемещения специализированных грузовых автомобилей, предназначенных для вывоза отходов.

В данной работе оценивается эффективность системы управления вывозом отходов с точки зрения поиска баланса между количеством специализированных грузовых автомобилей и количеством обработанных контейнеров. Далее будут продемонстрированы результаты вычислительного эксперимента, основанного на стохастическом моделировании этого процесса. В качестве математического инструмента для моделирования используется сеть Петри с вероятностными приоритетами.

В работе принято за основу определение стохастической сети Петри, предложенное в работе [4], которое модифицировано нами для целей проведения вычислительного эксперимента. Сеть Петри называем кортеж вида:

$$PN = (P, T, F, m_0, w, \rho), \quad (1)$$

где

$P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ – конечный набор мест;

$T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ – конечный набор переходов;

$F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$ – конечный набор дуг;

$m_0: P \rightarrow \{0, 1, 2, 3, \dots\}$ – начальная маркировка;

$w: F \rightarrow \{1, 2, 3, \dots\}$ – весовая функция для дуг;

$\rho: T \rightarrow \{1, 2, 3, \dots\}$ – отображение приоритета перехода;

$P \cap T = \emptyset$;

$P \neq \emptyset$;

$T \neq \emptyset$.

Места p_i графически представляются окружностями, переходы t_i – прямоугольниками, которые соединены между собой ориентированными дугами, представленными отношением F . Места могут содержать определённое количество фишек, число которых отображается визуально на изображении сети заполненными кругами внутри места или натуральным числом рядом с этим местом. Начальная маркировка сети Петри — это функция m_0 , отображающая каждое место в некоторое натуральное число (возможно, ноль) фишек. Маркировкой $m(p)$ обозначается количество фишек в месте $p \in P$ в этой маркировке. Для перехода $t \in T$ дуга (x, t) называется входной дугой, а дуга (t, x) – выходной дугой.

Для реализации сетей Петри и имитации их динамического поведения используется программное обеспечение Grin[5]. На рисунке 1 показан фрагмент сети Петри, который используется для анализа процесса вывоза отходов. Параметрами анализируемого процесса является количество используемых грузовиков, количество обработанных и необработанных контейнеров и количество грузовиков в очереди на назначение задания. Предложенная модель сети Петри для процесса сбора и удаления отходов позволяет провести эксперимент по компьютерному моделированию изменения параметров процесса для оптимизации используемых ресурсов.

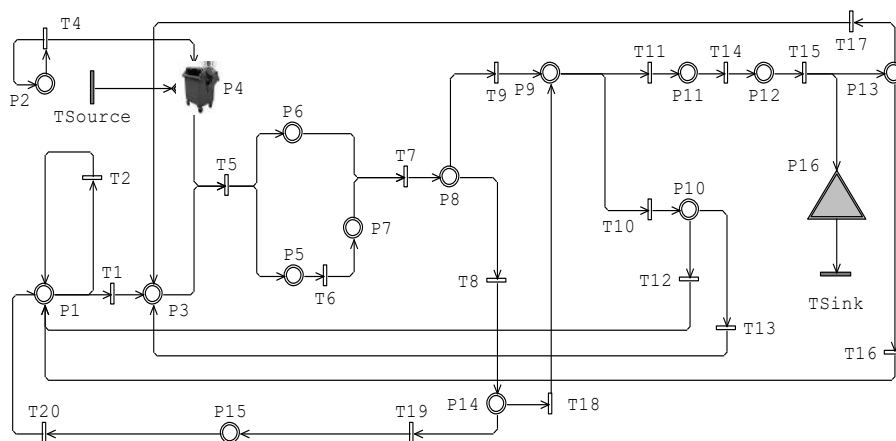


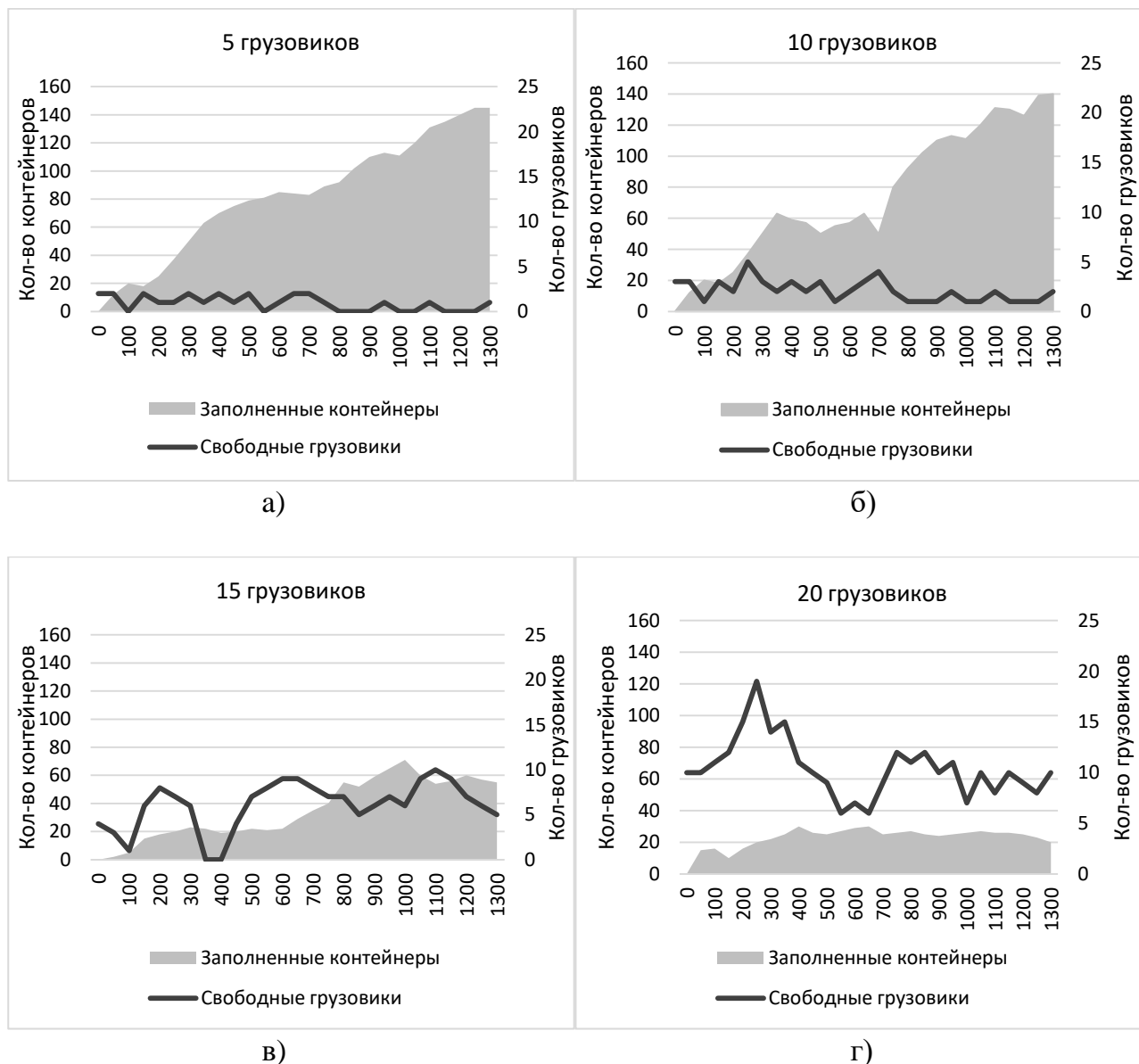
Рис. 1. Фрагмент сети Петри для моделирования процесса сбора и удаления твердых отходов

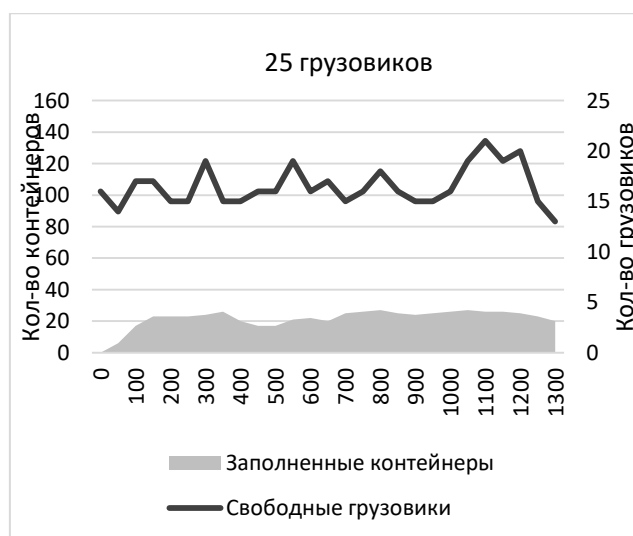
На рис.2 представлено соотношение необработанных контейнеров и грузовых автомобилей, ожидающих назначения задания. Графики построены отдельно для различного количества грузовых автомобилей. На нижней оси представлено общее ко-

личество исполненных переходов сети Петри, определяющее длину временного цикла моделирования.

На рис. 2а и 2б показан результат моделирования для 5 и 10 грузовиков, соответственно. Количество необработанных контейнеров увеличивается в этих случаях со временем, оставляя минимальной очередь на назначение задания. На рисунках 2в, 2г и 2д показан результат моделирования для 15, 20 и 25 грузовиков, соответственно. Количество необработанных контейнеров минимизируется, но время ожидания назначения следующего задания увеличивается с ростом числа грузовых автомобилей. Оптимальным решением в этом случае является компромисс между надежностью системы (в резерве имеется определенное количество грузовых автомобилей) и скоростью обработки контейнеров.

При использовании небольшого количества грузовиков (около 10) число заполненных контейнеров остается значительным в сопоставлении с их общим количеством. При увеличении количества грузовых автомобилей в системе (15-25) количество необработанных заполненных контейнеров сокращается до 10-20%. Но с увеличением числа грузовиков время ожидания назначения задания также начинает увеличиваться.





д)

Рис. 2. Количество заполненных контейнеров и грузовиков, ожидающих назначения заданий в очереди, при общем числе грузовиков: а) – 5, б) – 10, в) – 15, г) – 20, д) – 25.

Подведём некоторые итоги. В работе представлен лишь фрагмент результатов проведённого анализа, которые позволяют судить об эффективности всей системы. Одним из важных результатов исследования является оценка оптимального количества грузовиков, необходимых для удаления отходов, с определенной частотой появления заполненных контейнеров, необходимых для сокращения количества необработанных контейнеров. Понятно, что увеличение количества грузовиков позволяет свести к минимуму количество таких контейнеров, но это, в свою очередь, увеличивает время ожидания грузовиков при назначении следующей задачи.

В качестве проблемного аспекта используемого подхода можно назвать трудности с получением информации о степени сжимаемости отходов в контейнерах и их реального веса. Это не позволяет точно определить количество отходов, которые могут быть загружены в грузовик и вывезены с площадки.

Предложенная модель системы является универсальной по отношению к широкому классу логистических задач составления расписаний в меняющейся среде и показала себя эффективной с точки зрения оптимизации процесса сбора твердых отходов в крупных городских районах и промышленных зонах.

Литература

1. Global Innovators: International Case Studies on Smart Cities Research paper number 135. OCTOBER 2013. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gov.uk/government/publications/smart-cities-international-case-studies-global-innovators>.
2. Chourabi H., Nam, T. Understanding Smart Cities: An Integrative Framework // Proceedings of the 2012 45th Hawaii International Conference on System Sciences, IEEE Computer Society. 2012. P. 2289-2296.
3. Dolina O., Brovko A., Pechenkin V. Method of the management of garbage collection in the "Smart Clean City" project. // Communications in Computer and Information Science, Proceedings of 24th International Conference on Computer Networks. 2017. Vol. 718. P. 432-443.

4. Haas P. J. Stochastic Petri Nets: Modelling, Stability, Simulation — Springer series in operations research Springer-Verlag New York. 2002. P.509
5. Grin. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://grin-software.net>

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО БАЛАНСА МОСТОВОЙ СХЕМЫ

Дробынин М.Е.

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

e-mail: misha-q@mail.ru

В течение долгого времени в качестве основных формирователей сигналов пассивных (параметрических) датчиков в системах сбора и обработки информации используются мостовые схемы [1]. Они позволяют легко обеспечить питание датчика, исключить постоянную составляющую измеряемого напряжения. Их конструкция проста и не требует применения полупроводниковых приборов или интегральных микросхем. Кроме того, они не критичны к используемому регистрирующему прибору. Так, например, в мостах постоянного тока часто применяют простейшие гальванометры, а в мостах переменного тока – головные телефоны (наушники).

Но, несмотря на эти достоинства, мостовые схемы не могут претендовать на роль прецизионного формирователя сигнала пассивного датчика ввиду нескольких своих недостатков [1], наиболее существенными из которых являются – нелинейность характеристики, ограничения по чувствительности (коэффициенту усиления), чувствительность к длине соединительных проводов, сложности в реализации автоматического измерительного устройства.

Кроме того, в автоматических измерительных системах возникают дополнительные сложности с использованием мостовых схем, связанные с тем, что сходимость к состоянию равновесия в них достигается минимизацией среднеквадратичного напряжения рассогласования, которое в идеале должно быть нулевым. Для этого постоянно проводится оценка этого напряжения, что требует целого числа циклов переменного сигнала на частоте возбуждения моста. Как следствие, время измерения становится довольно большим на низких частотах. Указанные обстоятельства сужают сферы приложения мостовых схем.

Предлагаемая работа посвящена устранению указанных недостатков в схемах формирователей сигналов параметрических датчиков. Рассматривается разработанная усовершенствованная схема моста переменного тока, использующего принцип уравнивания с применением стохастического алгоритма поиска градиента. Метод наискорейшего спуска, основанный на поиске градиента, может значительно уменьшить время измерения. Причем среди различных методов поиска градиента [3] метод наименьших квадратов (МНК) [4] требует меньших вычислительных ресурсов и наиболее подходит для отслеживания медленно изменяющихся процессов.

На рис. 1 показан автоматический измерительный мост переменного тока [2], использующий адаптивный МНК и уравнивающийся установкой напряжения V_x , т.е. его фазы и амплитуды [4]. Разность потенциалов V_x включает в себя напряжения V_{xi} и V_{xq} , сдвинутые по фазе на 90° и может быть записана как: