

РЕКУРСИВНЫЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ КРУПНОМАСШТАБНЫХ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМ

Россия, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский Федеральный
исследовательский центр Российской академии наук,
dkhasanovsuai@yandex.ru

Аннотация. В данной статье рассматриваются мультиагентные технологии в транспортных системах. За счет большого охвата, модульной структуры и большого количества компонентов требуются усовершенствование системы контроля и управления. Современные тенденции развития вызвали необходимость интеграции мультиагентных систем (МАС). Ряд сложных задач, стоящих перед автоматизированными системами, может быть решен путем принятия рекурсивного определения МАС. В данной работе излагаются основы рекурсивной агент ориентированной методологии для крупномасштабных МАС.

Ключевые слова: мультиагентные системы, агент, рекурсивный метод, производство, автоматизация.

Dmitry S. Khasanov,
Junior Researcher

A RECURSIVE APPROACH TO THE DESIGN OF LARGE-SCALE MULTI-AGENT SYSTEMS

St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences,
St. Petersburg, Russia, dkhasanovsuai@yandex.ru

Abstract. This paper deals with multi-agent technology in transportation systems. Due to the large coverage, modular structure and a large number of components, improvements in monitoring and control systems are required. Modern development trends have necessitated the integration of multi-agent systems (MAS). A number of complex problems faced by automated systems can be solved by adopting a recursive definition of MAS. This paper outlines the fundamentals of recursive agent-centered methodology for large-scale MAS.

Keywords: multi-agent systems, agent, recursive method, manufacturing, automation.

Введение

В настоящее время возникает необходимость интеграции уже существующих многоагентных систем (МАС) в областях, где такая интеграция или кооперация навязывается тенденциями бизнеса, рынков, требованиями производства.

Крупномасштабная МАС включает в себя несколько типов агентов, а также может включать в себя несколько МАС, каждая из которых об-

ладает отдельными свойствами агентов. Крупномасштабная МАС должна удовлетворять множеству требований, таких как надежность, безопасность, адаптивность, совместимость, масштабируемость, ремонтно-пригодность и возможность повторного использования. Необходимо определить и смоделировать агентские свойства крупномасштабной МАС. Для соответствия этим требованиям в МАС должны быть интегрированы рекурсивные аспекты [1].

МАС предлагает мощный инструментарий для реализации систем пространственного решения или моделирования сложных задач. Некоторые из этих задач предъявляют иерархические и многомасштабные требования и развиваются в структурированных средах, обладающих рекурсивными свойствами. В области интеллектуального производства была признана необходимость иерархического агрегирования в системах реального мира. Эти системы должны оставаться читаемыми при их расширении в широком диапазоне временных и пространственных масштабов. Большинство существующих подходов начинается с определения агента и постройке МАС как композиции взаимодействующих агентов [2].

В данной работе предлагается определить набор понятий, которые помогут в построении крупномасштабных МАС. Цель данной работы — представить модель рекурсивного агента. Ряд сложных задач, стоящих перед автоматизированными системами, может быть решен путем придания концепции агента полного смысла.

1. Абстрактный рекурсивный подход

При рекурсивном подходе к разработке многоагентных систем как систем, в которых их компонентами могут быть сами МАС, идея заключается в том, что когда мы начинаем анализировать группу агентов (МАС) A , мы выделяем агентов $\{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, которые выполняют определенные функции. Эти агенты могут представлять собой отдельных людей, физические или программные сущности. Это могут быть и другие группы МАС, например B , тогда мы можем иметь $a_i = B_i$, которые мы рассматриваем как неопределенные. Можно придерживаться такой точки зрения до тех пор, пока наш анализ позволяет игнорировать внутреннюю структуру групп участников (МАС). Однако при последующем анализе обычно приходится описывать эти неопределенности, чтобы увидеть компоненты агента и соответствующие им функции; например, при анализе B мы имеем, что $B = \{b_1, b_2, \dots, b_m\}$. В этот момент мы настаиваем на том, чтобы определить, какой из агентов, входящих в состав B , на самом деле отвечает за выполнение роли B в A .

Для поддержки этих идей представляется целесообразным дать определение абстрактного рекурсивного агента (А-агента), которое позволит строить мультиагентные системы.

Определение 1. А-агент — это программная система с уникальной сущностью, находящаяся в некоторой среде, которая как единое целое воспринимает окружающую среду (чувствительные к среде входы). На основе этих восприятий он автономно и гибко определяет и выполняет действия проактивности. Эти действия позволяют А-агенту достигать своих целей и изменять окружающую среду. С точки зрения структуры А-агент может быть агентом, а может быть многоагентной системой, состоящей из А-агентов, которые не обязательно однородны. А-агент находится на более высоком уровне концептуальной абстракции, чем агент. А-агент может рассматриваться как МАС, он также может быть композицией всех этих абстрактных моделей. Более того, когда мы определяем два взаимодействующих А-агента, мы можем также моделировать две взаимодействующие организации, МАС или учреждения. А-агент будет существовать только на этапе моделирования, в конечном итоге (на этапе кодирования) он будет заменен, возможно, группой агентов или одним агентом [3].

Определение 2. Многоагентная система состоит из двух или более А-агентов, которые взаимодействуют между собой для решения задач, выходящих за рамки индивидуальных возможностей и индивидуальных знаний каждого А-агента.

Определение 2 позволит строить системы, в которых рассматриваемыми блоками являются взаимодействующие МАС, работающие вместе для достижения одной или нескольких глобальных целей (глобальная цель — это цель системы в целом).

Из определения 1 следует, что:

- А-Агент уровня 0 является агентом.
- А-агент уровня 1 представляет собой традиционный MAS.
- МАС — это А-агент.
- А-агент уровня n — это МАС, состоящая из взаимодействующих МАС.

Рекурсивная структура А-агента может быть представлена в графическом виде с помощью языка UML, как показано на рисунке 1.

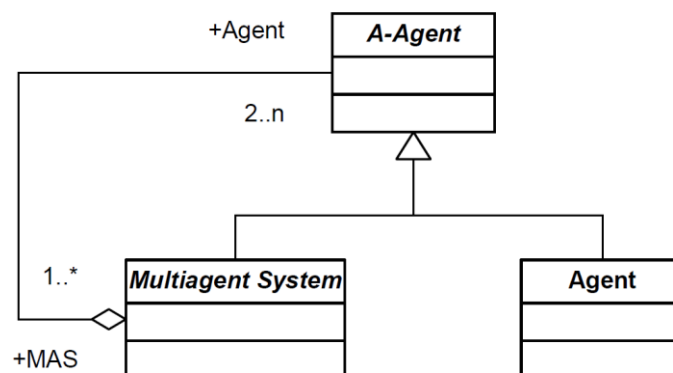


Рис. 1. Рекурсивная структура А-агента

На рисунке 1 показано, что МАС состоит либо из двух или более агентов, либо из двух или более МАС. В общем случае рекурсивное поведение МАС определяется ее восприятием, которое определяется как объединение множества восприятий ее членов, и ее действиями, которые, в свою очередь, определяются как объединение групповых действий, выполняемых ее членами, и объединенного множества примитивных действий, выполняемых каждым из входящих в нее субъектов [4].

Поведение МАС определяется ее целями. Эти цели определяются как объединение множества целей системы, вытекающих из конгруэнтных моделей взаимодействия между ее членами, и множества совместных целей входящих в нее субъектов.

2. Крупномасштабная МАС как рекурсивная МАС

Одной из наиболее сложных проблем для автоматизированных систем является масштабируемость и адаптация. В системах жизнедеятельности существует множество полезных концепций, включая примеры масштабирования, эволюции, адаптации, взаимодействия, организации и т. д. Сложные и адаптивные жизненные системы велики, запутанны и требуют активных автономных субъектов. Жизненные системы рекурсивны и позволяют создавать очень сложные системы из более простых образований [5].

До сих пор мы выделяли такие уровни абстракций, как транснациональная компания, региональные компании и национальные компании (рис. 2а).

Можно смоделировать транснациональную компанию как МАС, состоящую из А-агентов, которые связаны друг с другом определенными моделями поведения, определяющими транснациональную компанию. Если национальные компании будут состоять из агентов (А-агенты 0-го уровня), то мы можем представить национальную компанию как традиционную МАС (А-агент 1-го уровня), региональные компании как А-агенты 2-го уровня и транснациональную компанию как А-агент 3-го уровня [6].

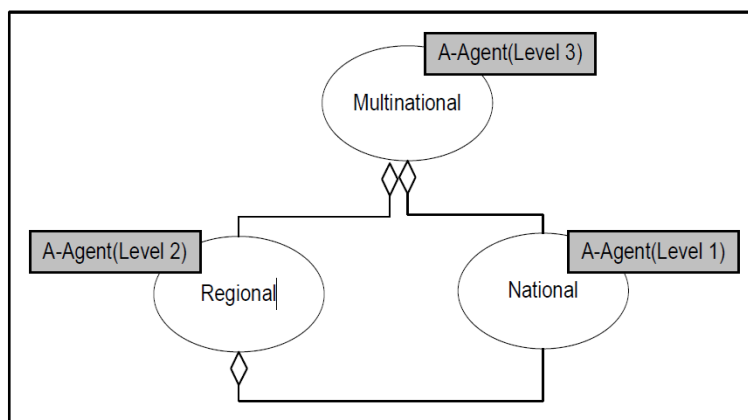


Рис. 2а. Уровни абстракции

Помимо моделирования внешних связей, если проектировщик заинтересован также в моделировании внутренней структуры каждой национальной компании, то национальную компанию следует наблюдать изнутри. Внутри каждой компании должны быть новые распределенные компании в разных городах или с автономией по определенным видам деятельности. В свою очередь, каждая локальная компания подчиняется национальной компании, а каждая национальная — транснациональной. Таким образом, мы получаем новый уровень абстракции, локальная компания как А-агент первого уровня, национальная компания как А-агент второго уровня, региональная компания как А-агент третьего уровня и транснациональная компания как А-агент четвертого уровня (рис. 2б).

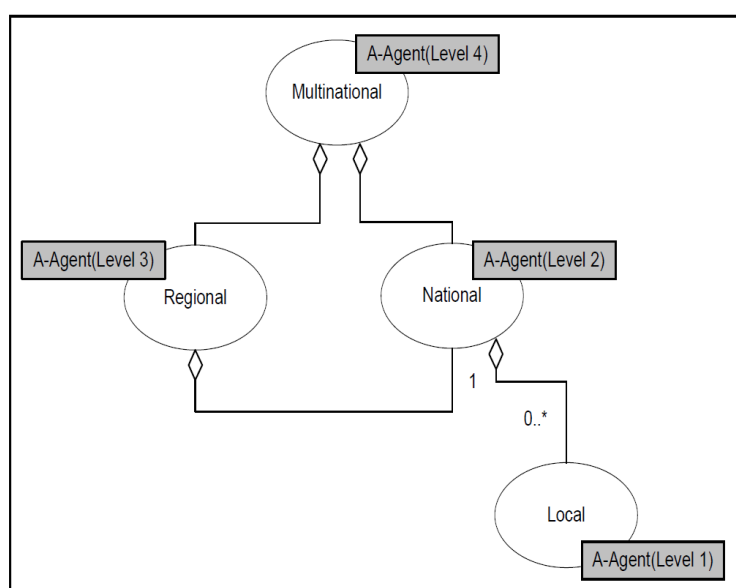


Рис. 2б. Добавление новой абстракции

Если национальная компания не подразделяется на городские компании или автономные компании. Тогда национальная компания представляет собой традиционную МАС, состоящую из национальных агентов-доменщиков (А-агентов уровня 0), которые являются взаимосвязанными агентами и выполняют определенные функции. Эти национальные специфические агенты определяют услуги, предоставляемые национальной компанией внутри страны и за ее пределами.

Аналогичный анализ необходимо провести для каждой локальной компании, пока мы не дойдем до агентов, которые определяют и реализуют компанию в целом. В итоге конечный результат анализа должен быть похож на рисунок 2в. На рисунке видно, что национальная компания состоит из нуля или более локальных компаний, а каждая локальная компания, в свою очередь, является А-агентом уровня 1 [7].

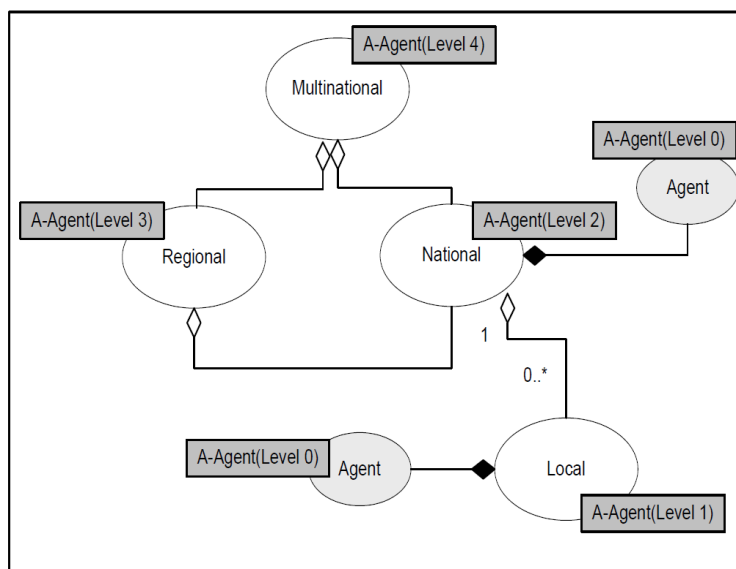


Рис. 2в. Результат конечного анализа

Опять же, транснациональную корпорацию можно рассматривать извне как А-агента, поскольку она находится в среде — на мировом рынке; она автономна, имеет свою экономическую и рыночную политику; она социальна, т. е. взаимодействует с другими организациями по вопросам закупок, продаж, найма, аренды и т. д.; она проактивна, поскольку, например, в соответствии с тенденциями мирового рынка может изменить свою текущую рыночную политику, и т. д. [8].

3. Рекурсивная агентно-ориентированная методология

Рекурсивная агентно-ориентированная методология моделирует каждую МАС, разделяя ее на более конкретные аспекты, которые формируют различные представления о системе. Для описания МАС разработчик будет использовать следующие модели:

– **Модель А-агента:** Описывает агентов и А-агентов, их задачи, цели, начальное состояние и исполняемые роли. Кроме того, эти модели используются для описания промежуточных состояний агентов и А-агентов. Эти состояния представляются с помощью целей, фактов, задач или любых других системных сущностей, которые помогают в описании состояния. Конструкции, добавленные для А-агента и связанных с ним абстрактных задач, абстрактных целей и абстрактных состояний, показаны на рисунке 3. В данном подходе группа (а также организация) агентов — А-агент — выполняет абстрактные задачи, имеет абстрактные цели и абстрактные состояния. А-агент может играть роль, но не может выполнять задачу, не может иметь цели. Для каждого А-агента, выявленного на каждом шаге разработки, будет существовать группа агентов, которые

будут реализовывать соответствующую функциональность, выполнять соответствующую задачу, иметь соответствующие цели и ментальные состояния [9].

Абстрактная задача будет реализована потоком работ. Абстрактная цель может быть заменена связкой целей или общей целью.

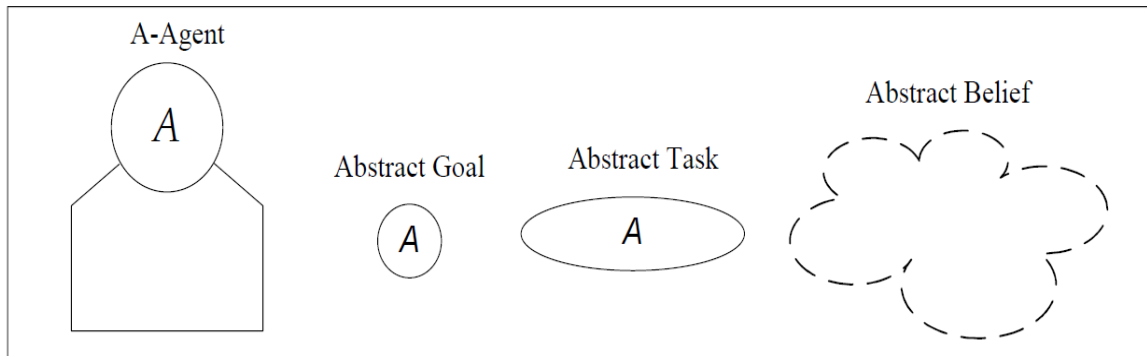


Рис. 3. Основные сущности в метамодели А-агента

– **Модель взаимодействия:** Описывает, как происходит взаимодействие между агентами и А-агентами. Каждая декларация взаимодействия включает в себя вовлеченных агентов, цели, преследуемые взаимодействием, и описание протокола, который следует за взаимодействием.

– **Модель «задача-цель»:** Описывает взаимоотношения между целями и задачами, структурами целей и структурами задач. Она также используется для выражения того, каковы входы и выходы задач и каково их влияние на окружающую среду или на психическое состояние Агента. Эта модель описывает также разбиение абстрактной задачи, выделенной в модели А-Агента, на множество задач.

– **Организационная модель:** Описывает, как компоненты системы (агенты, А-агенты, роли, ресурсы и приложения) сгруппированы вместе, что выполняется ими совместно, какие цели они разделяют и какие ограничения существуют при взаимодействии между агентами и между А-агентами [10].

– **Модель среды:** Определяет восприятие агента и MAS в терминах существующих элементов системы.

Эти модели помогут в моделировании MAS любого уровня абстракции (т. е. обычная MAS 1-го уровня, состоящая из агентов, MAS 2-го уровня, состоящая из MAS 1-го уровня, и т. д.). Процесс разработки программного обеспечения в соответствии с данной методологией будет представлять собой рекурсивный, инкрементный и параллельный процесс, управляемый MAS (рис. 4).

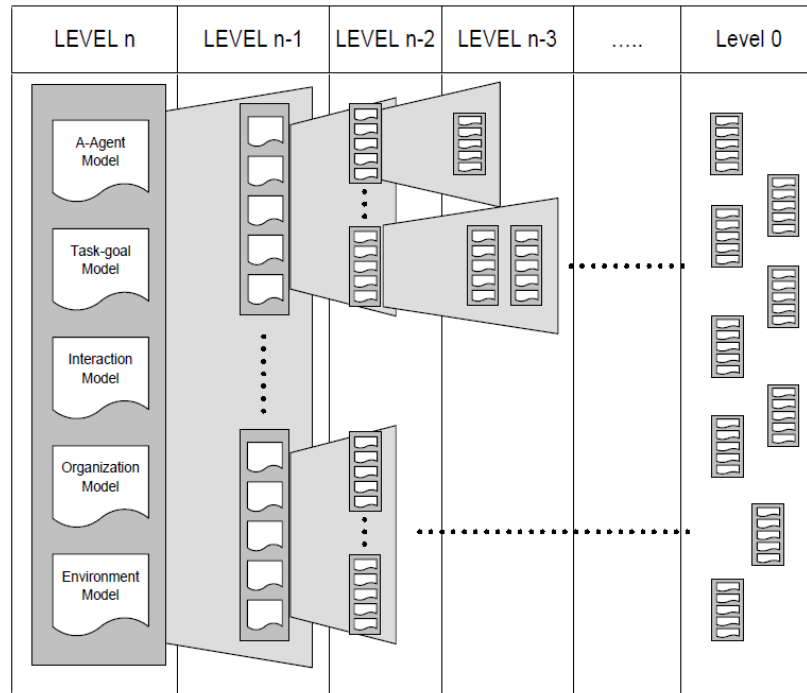


Рис. 4. Процесс разработки рекурсивного подхода

Он будет иметь столько итераций, сколько уровней абстракций определено. Результатом каждой итерации будет МАС n -го уровня, структура и функциональность которой определяются в терминах предыдущих моделей. В каждой новой итерации будет столько параллельных процессов, сколько неопределенных МАС уровня $n - 1$ из предыдущих итераций (поскольку, мы можем иметь уже существующие МАС уровня $n - 1$). Каждая итерация будет представлять собой рекурсивный, инкрементный и параллельный процесс. Каждая итерация будет проводиться следующим образом [11]. На этапе анализа создаются организационные модели, позволяющие представить, как выглядит МАС. На этом этапе мы можем определить потенциальные составные А-агенты (то есть группы агентов с тесным взаимодействием, с определенной функциональностью или целью, в которых каждый член взаимодействует для решения некоторой задачи, и с саморегулируемыми правилами действий) или уже существующие составные МАС. Полученные на этом этапе модели в дальнейшем будут уточняться с целью определения общих целей и соответствующих задач, которые должен решать каждый А-агент (модель «задача-цель» и модель окружения). Будут добавлены дополнительные детали, определяющие взаимодействие А-Агентов с помощью моделей взаимодействия и моделей окружения, и, как следствие, уточнение состояния А-Агентов с помощью моделей А-агентов. Для каждой возникшей МАС запускается новый процесс, пока мы не достигнем шага, на котором больше нет неопределенных МАС (А-Агенты уровня > 0).

Заключение

В данной работе представлен рекурсивный подход к разработке крупномасштабных МАС как систем, в которых их компоненты сами могут быть МАС. На этом примере показаны преимущества моделирования крупномасштабной МАС как рекурсивной МАС. Абстрагируясь от сложности проблемы, на каждом уровне концентрируемся на взаимодействии и поведении каждого компонента.

Представлен набросок метамодели A-Agent. Программный процесс будет иметь столько итераций, сколько уровней абстракций будет выявлено. Результатом каждой итерации будет МАС уровня n , в которой ее структура и функциональность определяются в терминах: модели А-агента, модели задачи-цели, модели взаимодействия, модели организации и модели среды. В каждой новой итерации будет существовать столько параллельных процессов, сколько неопределенных МАС уровня $(n - 1)$ предыдущей итерации (поскольку, мы можем иметь уже существующие МАС уровня $(n - 1)$). Каждая итерация будет представлять собой рекурсивный, инкрементный и параллельный процесс.

Благодарности

Исследования, выполненные по данной тематике, проводились при финансовой поддержке госбюджетной темы FFZF-2022-0004.

Список литературы

1. Lukinskiy V., Panova Y. Analysis and synthesis of the designed logistics systems // Логистика: современные тенденции развития: материалы XVI Междунар. науч.-практ. конф. 6–7 апреля 2017 г. / Отв. ред. В. С. Лукинский. – СПб.: ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова, 2017. – С. 249–252.
2. Скобелев П.О. и др. Мультиагентные технологии для управления распределением производственных ресурсов в реальном времени // Механика, управление и информатика. – 2011. – № 5. – С. 110–122.
3. Лукинский В.С., Искандеров Ю.М., Соколов Б.В., Некрасов А.Г. Проблемы и перспективы использования интеллектуальных информационных технологий в логистических системах // В сборнике: Информационные технологии в управлении (ИТУ-2018). Материалы конференции. – 2018. – С. 80–89.
4. Хасанов Д.С., Свистунова А.С. Оценка эффективности обслуживания пассажиров в аэровокзальном комплексе // Транспорт России: Проблемы и перспективы. – 2020. – 32 с.
5. Искандеров Ю.М., Свистунова А.С., Хасанов Д.С., Чумак А.С. Интеллектуальная поддержка принятия решений в логистических системах // Морские интеллектуальные технологии. – 2021. – Т.1. № 2. – 145 с.
6. Искандеров Ю.М. Мультиагентные системы для управления логистическими функциями в цепях поставок // В сборнике: Логистика: современные тенденции развития. Материалы XVIII Международной научно-практической конференции. – СПб.: ГУМРФ им. С.О. Макарова, 2019. – С. 219–221.

7. Искандеров Ю.М., Ласкин М.Б., Чумак А.С., Хасанов Д.С. Особенности моделирования управления информационными ресурсами транспортных систем // Сборник научных трудов XXIV Международной научной и учебно-практической конференции «Системный анализ в проектировании и управлении», Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. В 3 ч. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2020. – С. 250–257.

8. Свистунова А.С., Хасанов Д.С. Возможности автоматических транспортеров-погрузчиков и их использование при создании имитационной модели развития контейнерного терминала // Морские интеллектуальные технологии. – 2020. – № 4-1(50). – С. 169–174. – DOI: 10.37220/MIT.2020.50.4.023.

9. Concept and models of information application for actions in systems / A. Geyda, L. Fedorchenko, I. Lysenko [et al.] // Conference of Open Innovations Association, FRUCT. – 2022. – No 31. – Pp. 407–415.

10. Svistunova A.S., Khasanov D.S. Improving the efficiency of traffic management in a metropolis based on computer simulation // Computing, Telecommunications and Control. – 2021. – Vol. 14. – No 3. – Pp. 33–42. – DOI 10.18721/JCSTCS.14303.

11. Хасанов Д.С., Свистунова А.С. Технология сбора данных в логистике // Сборник научных трудов XXV Международной научной и учебно-практической конференции «Системный анализ в проектировании и управлении», Санкт-Петербург, 13–14 октября 2021 года. в 3 ч. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021. – С. 275–279. – DOI 10.18720/SPBPU/2/id21-377.

УДК 004.942, 519.876.5

doi:10.18720/SPBPU/2/id24-63

Теплов Антон Владимирович,
системный аналитик ИТ

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА НА СКЛАДАХ С АВТОМАТИЗИРОВАННЫМИ КОНВЕЙЕРНЫМИ РЕШЕНИЯМИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Россия, Самара, Логистическая компания, anton.teplov163@yandex.ru

Аннотация. Организация функционирования современного автоматизированного склада должна учитывать любые изменения логистической системы и гибко реагировать на колебания спроса. Рассмотренная структура декомпозиции процесса управления позволяет провести оценку и рационализировать каждый этап для достижения оптимальных результатов предоставляемой услуги. Сформулированные решения будут применены при проектировании автоматизированного склада готовой продукции, где им будет дана оценка эффективности.

Ключевые слова: автоматизированные склады, системный подход, оптимизация логистического процесса, планирование, складское хранение.