

Ученому секретарю  
Диссертационного совета Д 212.217.03  
доктору технических наук доценту  
г. Зотееву В.Е.

---

443100, г. Самара  
ул. Молодогвардейская д. 244,  
Главный корпус

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента

на диссертационную работу Лада Александра Николаевича, выполненную на тему «РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И СРЕДСТВ СОЗДАНИЯ ГИБРИДНЫХ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (промышленность)»

### **Актуальность темы**

Работу А.Н. Лада можно рассматривать с двух точек зрения. С одной стороны, ее можно рассматривать как исследование и разработку эффективной технологии управления мобильными ресурсами в реальном времени (автор позиционирует свою работу именно так). Однако если ее рассматривать в контексте современных исследований и разработок в области цифровой экономики в рамках концепции Industry 4.0, то она может рассматриваться как экспериментальная поисковая работа в области концепций и вариантов алгоритмической модели одного из центральных сервисов цифровой платформы предприятия Industry 4.0, а именно сервиса самоорганизующегося виртуального рынка планирования и распределения ресурсов в реальном времени.

С обеих точек зрения тематика работы представляется актуальной. В первом случае она (тематика) отвечает реальным потребностям современных крупномасштабных предприятий, предоставляющих, в частности, сервис транспортной логистики той или иной модели множеству территориально распределенных заказчиков, сервис интернет-доставки, сервис по ликвидации аварий в коммунальной сфере и т.п.

В условиях современной жесткой конкуренции на этом рынке компания такого профиля не выживут без минимизации издержек за счет использования современных методов планирования ресурсов и управления ими в реальном времени с учетом огромного числа разнообразных ограничений организационного, технического и технологического характера при функционировании в динамической внешней среде и в условиях потока

случайных событий, отрицательно влияющих на экономические показатели бизнеса.

Актуальность работы со второй точки зрения может показаться не столь очевидной, поскольку в настоящее время цифровая платформа предприятия пока обсуждается только в контексте традиционных моделей предприятия, в которых архитектурный подход и взаимосвязанное управление всеми бизнес-процессами в едином информационном пространстве пока еще не рассматриваются. Однако если посмотреть немного в будущее, то станет понятно, что именно такие модели управления придут на смену современным. По этой причине тематика работы актуальна и со второй точки зрения.

### **Новизна проведенных исследований и полученных результатов**

В первой главе диссертационной работы проведен детальный критический анализ современного состояния исследований и разработок в прикладной области, а именно в области планирования и управления ресурсами в различных постановках задач транспортной и другой логистики, в частности, в задачах управления мобильными ресурсами в ряде приложений, сходных по формальной постановке с той, которая является предметом исследований и разработок в диссертационной работе. Проведен анализ научного контекста, в котором развиваются методы, алгоритмы и средства планирования и управления ресурсами в этих приложениях, а также архитектуры и технологии, которые используются в ведущих разработках в области планирования ресурсов и оперативного управления ими. В частности, проведен анализ состояния прикладных разработок в области мультиагентных архитектур и технологий применительно к рассматриваемой проблеме. Проведен также анализ рынка иностранных и российских программных инструментов, доступных коммерческим компаниям, работающим с соответствующими приложениями.

Этот материал свидетельствует, с одной стороны, о достаточно высокой компетентности автора работы в научных и прикладных аспектах проблемы, которая исследуется в диссертации. С другой стороны, этот материал достаточно убедительно обосновывает как новизну решений, предлагаемых далее в работе, их практическую важность, так и адекватность используемых в ней методологических подходов.

Во второй главе дается описание основных методов и алгоритмов решения класса задач управления мобильными ресурсами компании в реальном времени. Показывается, что несмотря на внешне существенные отличия постановок задач в различных типах мобильных приложений, предлагаемые методы и алгоритмы, а также отвечающие им архитектурные решения по организации программного продукта, основанные на использовании модели ПВ-сетей, до определенного уровня детализации оказываются сходными. Именно это свойство предлагаемых и используемых алгоритмов решения задач управления мобильными ресурсами и

оперативного управления ими по событиям реального времени служит убедительным обоснованием возможности и целесообразности реализации таких алгоритмов в форме стандартных сервисов цифровой платформы предприятия в концепции Industry 4.0, о чем говорилось в отзыве выше при оценке актуальности тематики работы.

В двух последующих главах работы приводятся результаты экспериментальных исследований предложенных алгоритмов и архитектуры их программной реализации в концепции мультиагентных систем. Эти исследования имеют целью оценку качества решения задач планирования мобильных ресурсов и управления ими, достигаемого при использовании решений, предложенных в работе, (глава 3), а также их сравнения с аналогичными свойствами других программных инструментов аналогичного назначения по сравнению с оптимальными, известными для ряда бенчмарков.

Основными новыми научными результатами рецензируемой работы следует считать следующие.

1. Обобщение технологии ПВ-сетей на задачи планирования и управления мобильными ресурсами с выделением в ней абстрактной модели, которая допускает ее реализацию в форма стандартного сервиса цифровой платформы. Ценность этого результата состоит в том, что он упрощает практическое применение концепции ПВ-сетей за счет возможности повторного использования базовых компонент технологии планирования мобильных ресурсов, а также за счет обобщение модели базовых агентов ПВ-сети и протоколов их взаимодействия применительно к задачам названного типа. Автор это демонстрирует на примерах трех внешне различных приложений, а именно управления ресурсами предприятий, поставляющих сервисы грузовых комплектных и сборных перевозок, управления мобильными ресурсами сервисных бригад по ликвидации аварий в коммунальной сфере и сервисами интернет-доставки

2. Включение иерархии прямых экономических показателей в базовый алгоритм планирования мобильных ресурсов и управления ими по событиям реального времени. Эти показатели оценивают локальный экономический вклад различных компонент текущей версии формируемого плана (через понятие «виртуальные деньги»), а также позволяют вычислять качественную оценку плана со стороны агентов, ответственных за поиск распределения ресурсов (через функцию удовлетворенности агентов). Такой подход позволяет оценивать текущее решение интегрально, т.е. с различных точек зрения. Заметим, что, хотя идея такого подхода была разработана другими исследователями, заслуга автора данной работы состоит в том, что он предложил его алгоритмическую реализации применительно к новому классу приложений. Важно также заметить, что именно идея локальной оптимизации экономических показателей делает возможным использование самоорганизующегося виртуального рынка. Его дополнительное достоинство состоит также в том, что такой стиль работы системы потенциально позволяет

сохранять конфиденциальность информации каждого агента, что достигается за счет ограничения содержания информации, которой агенты обмениваются.

3. Архитектура программного продукта, реализующего предложенную технологию решения задачи управления мобильными ресурсами, а также компоненты, поддерживающей оперативное получение и обработку событий реального времени от пользователей, участвующих в решении задачи транспортной логистики. Разработка специального мобильного приложения для получения такой информации и реализация автономной работы мобильного терминала.

Последняя компонента программного продукта действительно важна для качественного управления, хотя ей зачастую и не уделяют должного внимания. Но именно эта компонента реализует базовый принцип кибернетики – управление с обратной связью. В большей части разработок эта информация используется просто для оперативного контроля текущей ситуации, но не для оперативного управления.

4. К элементам новизны можно отнести также технический прием, который используется для поиска начального приближения с применением хорошо известного венгерского метода решения транспортной задачи. Хотя идея использования классических методов линейного программирования для поиска начального приближения и не нова, в контексте работы этот прием позволяет ускорить процесс поиска решения с использованием ПВ-сетей, а потому его, по-видимому, следует считать новым научным результатом в области управления мобильными ресурсами. Однако используемое при этом автором утверждение о том, что «суммарное времени порожнего переезда для всех ресурсов по всем назначенным заказам будет минимальным при максимальном числе назначенных заказов» трудно принять без должного обоснования.

### **Значимость для науки и производства результатов, полученных автором диссертации**

Научную значимость результатов, полученных автором диссертации А.Н. Лада, определяют новые ее научные результаты, отмеченные выше, а именно

– предложенное обобщение концепции ПВ-сетей на новый класс задач, а именно класс задач управления мобильными ресурсами в реальном времени, которое формально представлено в виде алгоритмической модели, реализуемой с помощью стандартных протоколов взаимодействия агентов фиксированных ролей. Научное значение этого результата состоит в том, что оно может быть положен в основу формальной модели сервиса виртуального самоорганизующегося рынка цифровой платформы предприятия, которая в настоящее время является предметом исследований и разработок в концепции Industry 4.0;

– предложенная интегральная модель системы экономических показателей, которые используются для локальной оптимизации планов

использования мобильных ресурсов в стиле самоорганизации. Научное значение этого результата состоит в том, что он предлагает способ интеграции множества (по сути, иерархии) локальных экономических показателей, который в итоге позволяет получить не только хорошо интерпретированные оценки экономической эффективности системы планирования и управления в целом, но и явно указывает на «узкие места» проблемы, источники снижения общей экономической эффективности и пути ее повышения.

В целом, полученные в работе научные результаты могут послужить основой для развития концепции и алгоритмического базиса цифровых платформ для современных сложных кибер-физических систем.

Практическая значимость результатов работы состоит в том, что она предлагает детально разработанную методологию и формальную модель повторного использования для сложных задач планирования и управления мобильными ресурсами, которые составляют наиболее сложную компоненту архитектур и систем управления ресурсами предприятий сервисного направления, которые охватывают в настоящее время не менее 80% от всего бизнеса. Практическая работоспособность этой методологии и формальной модели подтверждается экспериментальными программными разработками автора, реализующими предложенную технологию для приложений промышленного уровня, а также внедрением этих разработок в практику работы крупных компаний сервисного профиля, что привело к заметному положительному эффекту.

Имеющиеся акты реализации результатов работы дополнительно подтверждают ее практическую значимость.

Результаты диссертационной работы могут быть рекомендованы для использования практически во всех предприятиях государственного и коммерческого секторов экономики, которые ведут бизнес в области логистики того или иного направления, в частности, транспортной логистики разных моделей, предприятий коммунальных служб, обеспечивающих различные сервисы по профилактике и ремонту оборудования жилищно-коммунального хозяйства, почтовой службы и т.п.

Очевидно, что материалы диссертации могут послужить основой для специальных курсов технических университетов разных направлений.

### **Замечания по диссертационной работе**

1. Основные алгоритмы технологии планирования мобильных ресурсов и оперативного управления ими представлены в виде текстовых описаний. Это не лучший вариант представления алгоритмов, поскольку всякий текст на естественном языке содержит неопределенности в семантике и может допускать разные толкования. Более того, алгоритм реализации Венгерского метода вообще описывается только на примере, В этом случае различные особенности, частные случаи, требующие особых действий, вообще останутся за кадром, а тот, кто захочет воспользоваться предложенным методом, будет

вынужден строить его алгоритмическую реализацию заново. Было бы лучше со многих точек зрения (более того, необходимо в большинстве случаев) представлять алгоритмы в формальной нотации, например, в псевдокоде или на другом однозначно трактуемом математическом языке. Например, слишком много описательных трудно воспринимаемых при чтении сведений о заказах для сервисных бригад и их планировании. Лучше бы ввести понятие сценария, который можно изображать графически средствами языков описания бизнес-процессов. Кстати, для описания таких сценариев имеются стандарты IEEE.

2. Полагаю, что в алгоритме управления аварийными бригадами не учитываются некоторые факторы этического (социального) характера, если всегда бригады выбирают более приоритетные и более прибыльные заявки, так что некоторые из них могут игнорироваться бесконечно. В показатель качества решения задач обслуживания аварий нужно обязательно ввести функцию штрафа за задержки в обслуживании заявок (экспонентой) для того, чтобы учесть также и интересы тех, кто подает заявки. Иначе некоторые заявки не будут выполняться и никогда. Или ввести динамическую функцию срочности заявки (см. стр. 85 – «Сброшенные менее приоритетные заявки повторно обращаются к агентам бригад и цикл повторяется.»), и потому могут повторно, сбрасываться бесконечно.

3. Хотя в работе детально разработаны механизмы разрешения конфликтов, однако некоторые из них не являются полными, т.е. могут содержать ситуации, для которых не указаны варианты действий (вопрос о полноте правил разрешения конфликтов). Например, при описании Венгерского метода часто присутствует действие «выбрать наименьший элемент», например, в строке или столбце матрицы. Однако не всегда указывается, как поступать, если таких элементов несколько. При использовании псевдокода для описания алгоритма это нужно было бы обязательно указать явно.

4. Общий недостаток диссертации состоит в том, что автор, как правило, не приводит оценки сложности используемых алгоритмов. В результате иногда появляются утверждения, с которыми трудно согласиться без обоснования. Например, автор утверждает, что «для расширения и усложнения задачи могут быть введены агент двигателя, агент шины и других компонент, агенты дорог, знаков и других компонент». Эти усложнения постановок задач, которые, по мнению автора, свидетельствуют о гибкости модели и возможности строить ее с любой степенью детальности, содержат, однако, большую потенциальную опасность. Она состоит в том, что можно в итоге получить модель такой сложности, которая исключит возможность ее использования в процессах планирования и управления в реальном времени. Дело в том, что рассматриваемая переборная задача локального поиска улучшений обладает, скорее всего, экспоненциальной сложностью по отношению к размерности ПВ-сети. Для задач экспоненциальной сложности существует значение размерности задачи, при которой кривая вычислительных затрат имеет точку

перегиба, после которой скорость роста этой кривой резко возрастает. Это означает, что описанный выше прямолинейный подход к усложнению модели может привести к потере ее главного достоинства, а именно возможности использования в задачах планирования и управления в реальном времени. Эта особенность ПВ-сетей, вообще говоря, требует специального исследования. Заметим, что все волновые алгоритмы нуждаются в алгоритмах ограничения длительности вычислений с помощью политики “any time”-правил.

Имеются также не очень существенные замечания, которых, однако, следует избегать. Например, на рис. 2.1 (стр. 50) в перечне операций процесса планирования отсутствует операция с номером 2. В тексте наряду со словом «ноль» автор употребляет эквивалентное ему слово «нуль» (см. например, стр. 56). Это допустимо, но в конкретном произведении (статье, отчете, диссертации,...) можно использовать любой вариант, но только один везде. На стр. 64 приводятся возможные варианты целевой функции, однако ничего не говорится о том, на каком варианте остановился в итоге автор. Используется термин «аварийный заказ», что представляется неудачным, поскольку все заказы для сервисных бригад не аварийные, а просто заказы и других не бывает. На стр. 91-97 на семи страницах (5% общего текста диссертации) описывается давно хорошо известный метод ветвей и границ, что представляется совсем излишним.

Замечаний к экспериментальной части работы нет.

### **Общая характеристика диссертационной работы**

Представленная диссертационная работа, хотя и содержит недостатки, указанные выше, выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой объектом исследования являются процессы управления мобильными ресурсами для выбранных классов предприятий (грузовые перевозки, мобильные бригады и интернет-доставки) и содержится новое решение актуальной научно-практической задачи планирования мобильных ресурсов и управления ими в реальном времени по событиям реального мира.

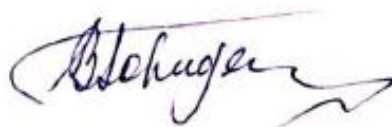
Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли апробацию на пяти международных научно-технических конференциях и одной всероссийской конференции, и опубликованы в 17 научных работах соискателя. Эти труды включают три статьи в изданиях, рекомендуемых ВАК, включают семь публикаций в изданиях, индексируемых в базе данных Scopus, шесть работ в трудах международных и всероссийских конференций, а также одно учебное пособие. Имеется ряд свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Автореферат полностью и правильно отражает содержание диссертации.

Учитывая актуальность выполненных исследований, научную новизну и практическую значимость полученных результатов, считаю, что представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям,

установленным Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней», а ее автор – ЛАДА Александр Николаевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (промышленность)».

Официальный оппонент  
руководитель практики компании ООО ТРА  
доктор технических наук, профессор



В.И. Городецкий

Адрес: г. Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого дом 1-3, офис 85  
Тел.: +7 (812) 3184990 E-mail: gor@iiias.spb.su, gor@tra.ai

Подпись руководителя практики компании ООО ТРА  
доктора технических наук, профессора В.И. Городецкого

УДОСТОВЕРЯЮ

