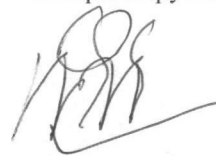


На правах рукописи



ТАН ШЕЙН

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРАТЕГИЙ УПРАВЛЕНИЯ
ТРАНСПОРТНЫМИ КОМПАНИЯМИ В УСЛОВИЯХ КОНКУРЕНЦИИ**

Специальность 05.13.01.
Системный анализ, управление и обработка информации
(в приборостроении)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 2014

Работа выполнена в Национальном исследовательском университете «МИЭТ».

Научный руководитель - кандидат технических наук, профессор
Лупин Сергей Андреевич.

Официальные
оппоненты - Гусева Анна Ивановна
доктор технических наук,
профессор кафедры экономики и
менеджмента в промышленности НИЯУ
МИФИ.

Шебеко Юрий Александрович,
кандидат физико-математических наук,
доцент,
старший научный сотрудник МСЦ РАН.

Ведущее предприятие - ОАО «НИИ «Субмикрон», г. Москва.

Защита состоится “23” сентября 2014 года в 14:30 на заседании
диссертационного совета Д212.134.02 в Национальном исследовательском
университете «МИЭТ».

124498, Москва, Зеленоград, проезд 4806, МИЭТ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МИЭТ.

Автореферат разослан “ ____ ” _____ 2014 года.

Ученый секретарь диссертационного совета

 _____ д.т.н., доцент Гуреев А.В.

Общая характеристика работы

Актуальность проблемы. Одной из отличительных черт современной эпохи, без сомнения, можно считать широкое использование вычислительных систем практически во всех окружающих нас областях. Такое положение дел обусловлено не только несомненными успехами в развитии самих вычислителей и программных систем для них, но и желанием людей переложить выполнение рутинной работы на автоматы, в том числе и в управлении. Успехи автоматизации при управлении сложными техническими комплексами стимулируют тиражирование результатов в различные приложения.

Одной из таких областей, в которых сейчас происходит активное внедрение современных технологий управления, является транспорт. Катализатором этого процесса стало появление технологий GPS и GLONAS, в сочетании со средствами мобильной связи обеспечивающих трансляцию координат транспортных средств в управляющий центр. Стало возможным не только пассивное управление движением в виде разнообразных маршрутных листов, но и активное воздействие на все транспортные единицы непосредственно во время их движения, а это уже полностью соответствует архитектуре автоматизированных систем управления.

Общественный транспорт выполняет одну из важных миссий окружающей нас среды – обеспечивает мобильность людей. В управлении общественным транспортом широко используются информационно-управляющие системы, обеспечивающие эффективность его функционирования. С точки зрения теории, общественный транспорт традиционно рассматривают, как систему массового обслуживания, где заявки формируются потоками пассажиров, а исполнительными элементами или обработчиками, являются транспортные единицы. Система управления в зависимости от интенсивности потока заявок формирует необходимое количество обработчиков и их вместимость, рассчитывает интервал движения. Заметим, что именно соблюдение интервала движения является важнейшей целевой функцией диспетчерских систем управления. Такой подход вполне применим для управления системами, в которых нет необходимости учитывать экономические параметры, например, при планировании работы внутризаводского транспорта. Но кроме удовлетворения запросов пассажиров, транспортные системы должны обеспечивать и рентабельность перевозок. Следование заданным интервалам движения при уменьшении потока пассажиров, очевидно, приведет к финансовым издержкам и сделает перевозки нерентабельными. Необходимо искать иные методы управления, способные гибко реагировать на изменение нагрузки.

Автобусы составляют важную часть общественного транспорта, особенно в развивающихся странах. Как правило, компании, реализующие

автобусное сообщение, являются государственными или муниципальными. От их рентабельности зависит нагрузка на бюджеты различных уровней. Важнейшим фактором, влияющим на прибыль перевозчика, является конкуренция. Поэтому, государственные компании должны использовать в своей работе стратегии управления, способные адаптироваться к ней. Отсутствие таких возможностей приводит к конфликтам, характерным примером которых может служить судебный иск на 40 млн. рублей, поданный в начале 2014 года Министерством транспорта Московской области к компании «Мосгортранс». Автобусы «Мосгортранса», проезжая по территории области, собирают попутных пассажиров, что приводит к убыткам областных перевозчиков [1.8]. Возможным решением проблемы может служить административное регулирование конкуренции, вплоть до ее полного устранения. Подобные методы используются при выдаче лицензии на право перевозки единственному оператору [1.9]. Однако при этом будет снижаться качество обслуживания пассажиров. Только внедрение в системах управления общественным транспортом программно-аппаратных комплексов, способных перейти от статического к динамическому планированию, позволит обеспечить компромисс.

Важная роль, которую играет общественный транспорт в жизни людей, новые возможности современных вычислительных систем, и необходимость совершенствования работы программно-аппаратных комплексов в системах управления определяют актуальность темы диссертации.

Цель работы и задачи исследования. Диссертационная работа посвящена вопросам повышения эффективности работы аппаратно-программных комплексов в системах управления общественным транспортом, расширению их функциональности. Это соответствует областям исследований, определенных в паспорте специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации» (п.3 и п.11).

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие основные задачи:

1. Анализ принципов функционирования систем управления общественным транспортом.
2. Формализация задачи планирования работы транспортных систем в условиях конкуренции.
3. Разработка структуры модели конкурирующих транспортных систем.
4. Выбор среды и программная реализация экспериментальной модели конкурирующих транспортных систем.
5. Проведение симуляций, направленных на оценку влияния параметров стратегий на эффективность управления при изменении уровня конкуренции.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования являются информационно-управляющие системы, обеспечивающие работу общественного транспорта.

Предмет исследования составляют методы принятия управленческих решений и оценка их эффективности при изменении уровня конкуренции.

Методы исследования. При решении поставленных задач были использованы положения общей теории систем, теории вероятностей, теории систем массового обслуживания, гибридное моделирование и объектно-ориентированное программирование.

Научная новизна. В диссертации предложены методы исследования эффективности информационно-управляющих систем для планирования работы общественного транспорта в условиях конкуренции. Введены критериальные функции, определяющие интересы акторов, разработан метод формирования предпочтений в условиях конкуренции. Разработана и программно реализована в среде AnyLogic гибридная модель транспортной системы, ориентированная на поиск оптимальных стратегий управления. Модель может использоваться в качестве инструмента, как для анализа эффективности действующих стратегий, так и для их оптимизации.

Положения, выносимые на защиту.

1. Формализация задачи планирования работы транспортных систем в условиях конкуренции.
2. Структура модели конкурирующих транспортных систем.
3. Программная реализация экспериментальной модели конкурирующих транспортных систем.
4. Результаты экспериментальных исследований эффективности стратегий управления при изменении уровня конкуренции.

Практическая значимость. Предложенная в работе имитационная модель конкурирующих транспортных компаний может быть использована для прогнозирования эффективности алгоритмов и стратегий, лежащих в основе автоматизированных диспетчерских систем управления общественным транспортом. Проведенные исследования подтверждают возможность нахождения оптимальных параметров управления, обеспечивающих компромисс в системе пассажир-перевозчик, при воздействии внешнего возмущения в виде потока транспортных средств альтернативного перевозчика. Повышение точности прогнозных оценок эффективности управления приводит к повышению эксплуатационных характеристик самого объекта управления.

Внедрение результатов. Разработанная в диссертационной работе модель используется в компании ШТРИХ-М при структурно-параметрическом синтезе систем управления транспортом.

Апробация работы. Основные положения диссертации были представлены и обсуждались на 15 международных, всероссийских и межвузовских научных конференциях:

1. Микроэлектроника и информатика – 2010. 17-я Всероссийская межвузовская научно-техническая конференция студентов и аспирантов. МИЭТ
2. V Международная научно-практическая конференция «Современные информационные технологии и ИТ-образование». МГУ, 2010.
3. Информационные технологии, электронные приборы и системы. Международная научно-практическая конференция. Минск, 2010.
4. Микроэлектронные информационно-управляющие системы и комплексы. Международная научная школа для молодежи. МИЭТ, 2010.
5. Актуальные вопросы современной техники и технологии. IV Международная научная заочная конференция. Липецк, 2011.
6. Микроэлектроника и информатика – 2011. 18-я Всероссийская межвузовская научно-техническая конференция студентов и аспирантов. МИЭТ, 2011.
7. Актуальные проблемы информатизации в науке, образовании и экономике. 4-я Всероссийская межвузовская научно-практическая конференция. МИЭТ, 2011.
8. Микроэлектроника и информатика – 2012. 19-я Всероссийская межвузовская научно-техническая конференция студентов и аспирантов. МИЭТ, 2012.
9. МЭС-2012. Проблемы разработки перспективных микро- и нанoeлектронных систем - 2012. ИППМ РАН, 2012
10. VII Международная научно-практическая конференция «Современные информационные технологии и ИТ-образование». МГУ, 2012.
11. XV Международная телекоммуникационная конференция молодых ученых и студентов «МОЛОДЕЖЬ И НАУКА». НИЯУ МИФИ, 2012.
12. Микроэлектроника и информатика – 2013. 20-я Всероссийская межвузовская научно-техническая конференция студентов и аспирантов. МИЭТ, 2012.
13. 11-th EAST-WEST DESIGN & TEST SYMPOSIUM (EWDTS 2013), Rostov-on-Don, Russia, 2013.
14. Fifth International Conference on Internet Technologies and Applications (ITA 13), Glyndwr University, Wrexham, North Wales, UK, 2013.
15. МЭС-2014. Проблемы разработки перспективных микро- и нанoeлектронных систем - 2014. ИППМ РАН, 2014.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 9 тезисов докладов и 9 статей, в том числе четыре в журналах, входящих в перечень ВАК. Получено свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объём диссертационной работы. Рукопись диссертационной работы объемом 144 страниц состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 22 источников и трёх приложений.

Содержание работы

Во введении сформулированы актуальность, цель работы, ее научная новизна и практическая значимость; представлены применяемые методы исследования, внедрение результатов, апробации и структура диссертации.

В первой главе проанализированы стратегии управления транспортом, лежащие в основе работы автоматизированных систем управления. Показано, что в подавляющем большинстве случаев диспетчерские системы на транспорте используют статические модели планирования, основанные на статистическом анализе потоков пассажиров.

Пусть интенсивность потока пассажиров определяется функцией $P(t)$. Тогда количество пассажиров, появившихся за время $\Delta t = t_2 - t_1$ и претендующих на обслуживание, можно определить как:

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} P(t) dt. \quad (1.1)$$

Первый подход основан на доминировании интересов перевозчиков. Если допустить, что вместимость C (Capacity) всех транспортных средств одинакова, то нахождение интервала их движения h (headway) может сведено к решению следующего уравнения:

$$C = \int_0^h P(t) dt. \quad (1.2)$$

В случае равномерного распределения потока пассажиров $P(t) = \lambda$ получаем:

$$h_1 = \frac{C}{\lambda}. \quad (1.3)$$

Выражения (1.2) и (1.3) предполагают полную загрузку транспортных средств. На практике при расчете интервала движения учитывают и показатели рентабельности. Существенное влияние на нее оказывает уровень заполняемости транспорта L (Loading), при котором сохраняется рентабельность перевозок. Тогда эффективная вместимость транспортного средства D может быть найдена как:

$$D = C * L, \text{ где } 0 < L \leq 1 \quad (1.4)$$

Тогда (1.2) и (1.3) будут выглядеть как:

$$D = \int_0^h P(t) dt \quad (1.5)$$

$$h_2 = \frac{D}{\lambda}. \quad (1.6)$$

С учетом (1.4) $h_1 \geq h_2$.

Второй поход к расчету параметров ТС ориентирован на потребителей услуг и опирается на задание среднего времени ожидания, которое

пассажиры проводят в очереди T_w (Time Waiting). Для постоянного потока пассажиров с $P(t) = \lambda$ интервал движения может быть найден как:

$$h = 2 * T_w \quad (1.7)$$

поскольку время ожидания равно $T_w = \frac{h}{2}$.

Остается только определить C из (1.3):

$$C = \frac{2 * T_w * \lambda}{L}. \quad (1.8)$$

Интересы акторов транспортного процесса противоречивы. Перевозчики заинтересованы в максимальном заполнении транспорта (1.3), а пассажиры в минимальном времени ожидания – (1.8). Противоречивость интересов участников переводит процесс планирования работы ТС в разряд задач многокритериальной оптимизации. В какой-то мере коэффициент L позволяет балансировать интересы.

Потоки пассажиров подчиняются многочисленным ритмам – суточным, недельным, сезонным. Они зависят и от графика проведения массовых мероприятий – спортивных соревнований, фестивалей, политических митингов. Это учитывается при составлении расписания движения транспорта - интервалы в течение суток изменяются. В управлении доминирует тенденция к жесткому их соблюдению до очередного переопределения.

Соотношения (1.1) - (1.8) используются для расчета параметров ТС, в которых на маршруте есть только один перевозчик, т.е. отсутствует конкуренция. В реальном мире за пассажиров идет конкурентная борьба между несколькими компаниями, предлагающими различные условия перевозок. Статическое планирование не может обеспечить реакцию на динамические изменения характеристик потоков пассажиров и состояния транспортных магистралей.

Низкая эффективность работы программно-аппаратных комплексов управления ТС может быть связана с тем, что они не учитывают конкуренцию на рынке транспортных услуг. Для решения этой проблемы необходимо ввести новые оценки качества алгоритмов управления, в частности их способность оптимизировать работу объекта управления при воздействии на него конкурирующих субъектов. Этой цели можно достичь при создании моделей конкурирующих ТС и исследовании их функциональности в широком диапазоне параметров.

Во второй главе рассмотрены особенности построения модели системы управления транспортом в условиях конкуренции.

Большинство стратегий реализует только статическое управление, что не дает возможности использовать их в динамических конкурирующих системах. Необходимо найти подходы, учитывающие интересы не только источников заявок, но и их исполнителей в условиях динамического воздействия на ТС со стороны конкурирующих субъектов.

При каких параметрах будет обеспечиваться оптимальное качество обслуживания пассажиров и рентабельность транспортных предприятий в условиях конкуренции? Соотношения (1.1) - (1.8) не дают возможности найти ответ на этот вопрос. Формально задача сводится к многокритериальной оптимизации и для ее решения может быть использовано имитационное моделирование.

Для определенности рассмотрим конкуренцию между двумя ТК (рис. 1), одна из которых (ТК₁) является государственной, а вторая частной (ТК₂).

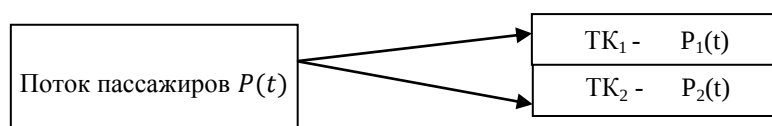


Рис. 1. Конкуренция транспортных компаний

Конкурирующие компании делят поток пассажиров $P(t)$.

При этом выполняется соотношение:

$$P(t) = P_1(t) + P_2(t) \quad (2.1)$$

Цель конкуренции заключается в увеличении прибыли, которая в нашем случае будет зависеть от той доли пассажиров, которую удастся перевести ТК. Поэтому, будем оценивать успехи компаний по динамике соотношения $\frac{P_1}{P}$. Если оно растет, стратегия управления будет выигрышной, а если падает, то проигрышной.

Имитационная модель, создаваемая для проведения исследований оптимальности стратегий поведения ТК в условиях конкуренции, должна иметь возможность численной оценки вариабельности параметров управления. Для этого необходимо определить критериальные функции, отражающие конкурентные преимущества.

Одним из наиболее общих критериев качества обслуживания - QoS (Quality of Service) для СМО, к которым относятся и транспортные системы общего пользования, является T_w - время ожидания пассажиров в очереди. В СМО этот параметр чаще называют задержкой в обслуживании. Будем использовать его в качестве одного из критериев для оценки качества системы управления ТС со стороны пассажиров. Среднее значение времени ожидания для M пассажиров:

$$T_w = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M T_{\text{delay}}(i) \quad (2.2),$$

где: $T_{\text{delay}}(i) = T_{\text{serv}}(i) - T_{\text{inp}}(i)$ - задержка обслуживания i -го пассажира;

$T_{\text{serv}}(i)$ - время посадки i -го пассажира в транспорт;

$T_{\text{inp}}(i)$ - время прихода i -го пассажира на остановку.

Рентабельность транспортных предприятий зависит от многих факторов, среди которых важнейшими можно считать стоимость билетов и

заполняемость автобусов, и, конечно же, применяемая в системе дисциплина управления.

Критерием, определяющим эффективность дисциплины управления ТК, может служить коэффициент загрузки транспортного средства B_{load} (Bus Loading), поскольку именно он косвенно характеризует и конкурентное преимущество ТК. Будем анализировать среднюю загруженность N транспортных средств на интервале времени $[t_1, t_2]$:

$$B_{load} = \frac{\sum_{i=1}^N (\int_{t_1}^{t_2} B_{load(i)}(t) dt)}{N * (t_2 - t_1)} \quad (2.3)$$

При дискретном моделировании интеграл в (2.3) заменяется на сумму.

С помощью введенных критериев задача системы управления ТК заключается в нахождении компромисса между:

$$T_w \rightarrow \min, B_{load} \rightarrow \max. \quad (2.4)$$

В основе конкуренции между ТК лежит поведение пассажиров, которые формируют свои предпочтения при выборе средства передвижения. Это должно быть реализовано и в модели, например, в виде критериев, которые должны обладать свойствами информативности и вычислимости для всех стратегий управления.

Основной задачей проводимых исследований является повышение эффективности работы аппаратно-программных управляющих комплексов, поэтому ограничимся рассмотрением только тех, влияние которых легче формализовать:

- длина очереди – коэффициент α_1 ;
- соотношение стоимостей поездки, льготы – коэффициент α_2 ;
- время ожидания транспорта – коэффициент α_3 .

Если ограничить значения коэффициентов диапазоном от 0 до 1, то это позволит получить обобщенный коэффициент, определяющий предпочтения пассажира в конкурентной среде:

$$K = \alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 \quad (2.5).$$

Рассмотрим порядок расчета коэффициентов для выбранных критериев и их влияние на формирование предпочтений пассажиров в соотношении (2.1).

При оценке влияния длины очереди на предпочтения пассажира будем исходить из следующих предположений:

- чем дальше пассажир стоит в очереди на регулярный транспорт, тем более он мотивирован на использование альтернативного варианта передвижения;
- функция, отражающая зависимость должна быть плавной;
- мотивация пассажира должна зависеть от вместимости транспортного средства C (1.2).

Этим требованиям удовлетворяет функция вида:

$$\alpha_1 = 1 - e^{-(N_{que}/C)}, \quad (2.6)$$

где N_{que} – номер пассажира в очереди. Значение коэффициента α_1 возрастает по мере удаления пассажира от начала очереди.

Оценка влияния стоимости проезда на предпочтения пассажира опирается на следующие предположения:

- чем меньше стоимость проезда, тем более пассажир мотивирован на использование соответствующего варианта передвижения;
- функция, отражающая зависимость должна быть плавной;
- мотивация пассажира должна зависеть от соотношения стоимостей проезда в конкурирующих компаниях.

Этим требованиям удовлетворяет функция вида:

$$\alpha_2 = \begin{cases} 1 - e^{-((\text{Cost}_2 - \text{Cost}_1)/\text{Cost}_1)} \\ 0, \text{ если } \text{Cost}_1 = 0 \\ 1, \text{ если } \text{Cost}_1 = \text{Cost}_2 \end{cases}, \quad (2.7)$$

где Cost_2 – стоимость проезда в ТК₂, а Cost_1 – стоимость проезда в ТК₁.

При оценке влияния времени ожидания на предпочтения пассажира будем исходить из следующих предположений:

- чем меньше времени остается до прибытия транспортного средства, в очереди на которое стоит пассажир, тем менее он мотивирован на использование альтернативного варианта передвижения;
- функция, отражающая зависимость должна быть плавной;
- пассажирам известен интервал движения транспорта в ТК₁.

Этим требованиям удовлетворяет функция вида:

$$\alpha_3 = 1 - e^{-(T_w/h)^2}, \quad (2.8)$$

где T_w – время нахождения пассажира в очереди на момент вычисления значения коэффициента α_3 , а h – интервал движения транспорта в ТК₁.

Рассмотрим механизм формирования заявок на обслуживание в транспортной сети. Каждая заявка $Q(\text{Source}, \text{Distination}, t_{\text{inp}})$ определяется рядом параметров:

Source – населенный пункт, в котором сформирована заявка (источник заявки);

Distination – населенный пункт, в который необходимо перевести пассажира (приемник заявки);

t_{inp} – время формирования заявки.

При этом выполняются следующие соотношения:

$$\begin{cases} \text{Source} \in \{\text{Locality}\} \\ \text{Distination} \in \{\text{Locality}\} \\ \text{Source} \neq \text{Distination} \end{cases} \quad (2.9).$$

При этом вероятность появления населенного пункта в качестве источника заявки $\text{Source} = \text{Locality}_i$ определяется соотношением:

$$P(\text{Locality}_i) = \frac{S_{\text{locality}_i}}{\sum S_{\text{locality}_m}} \quad (2.10).$$

Вероятность появления населенного пункта в качестве конечного пункта заявки $\text{Distination} = \text{Locality}_j$ определяется соотношением:

$$P(\text{Locality}_j) = \frac{S_{\text{Locality}_j}}{\sum_{m \neq i} S_{\text{Locality}_m}} \quad (2.11).$$

Параметр t_{inp} соответствует модельному времени появления заявки и становится ее атрибутом в момент формирования.

Определим принципы формирования потоков транспорта. Каждое событие, порождающее появление в сети транспортного средства, идентифицируется параметрами $\text{Bus}(\text{Comp}, \text{Source}, \text{Destination}, t_{\text{app}})$:

Comp – идентификатор транспортной компании;

Source – начальный пункт маршрута;

Destination – конечный пункт маршрута;

t_{app} – время появления транспортного средства в сети.

События, приводящие к появлению в сети транспортного средства, формируются с заданными интервалами h . Движение транспортных средств конкурирующих компаний не коррелировано, т.е. события $\text{Bus}(\text{Comp} = \text{TK}_1)$ и $\text{Bus}(\text{Comp} = \text{TK}_2)$ происходят независимо друг от друга с интервалами h_{TK_1} и h_{TK_2} соответственно.

Параметры Source и Destination событий Bus удовлетворяют следующему соотношению:

$$\begin{cases} \text{Source} \in \{T_1, T_2, T_3\} \\ \text{Destination} \in \{T_1, T_2, T_3\} \\ \text{Source} \neq \text{Destination} \end{cases} \quad (2.12).$$

Маршруты транспортных средств не могут начинаться или оканчиваться в промежуточных пунктах:

$$\begin{cases} \{\text{Source}\} \cap \{V_1, V_2, V_3, V_4\} = \{\emptyset\} \\ \{\text{Destination}\} \cap \{V_1, V_2, V_3, V_4\} = \{\emptyset\} \end{cases} \quad (2.13).$$

Параметр t_{app} соответствует модельному времени появления события Bus и становится ее атрибутом в момент формирования.

Особенности работы транспортных систем обслуживания в условиях конкуренции определяют важнейшие критерии, позволяющие сравнивать эффективности различных стратегий:

средняя заполняемость транспортного средства;

среднее время ожидания пассажира в очереди;

дисперсия времени ожидания пассажиров.

В третьей главе представлена структура гибридной модели системы управления пассажирским транспортом.

Синтез оптимальных систем управления включает этап моделирования, в ходе которого определяются как их состав и структура, так и алгоритмическая основа. При этом транспортная система рассматривается, чаще всего, как распределенная система массового обслуживания. Техническим базисом для моделирования СМО служат сети Петри,

позволяющие отображать весь спектр их характеристик. Однако доминирующей тенденцией в современном моделировании является использование гибридных моделей, сочетающих различные подходы.

Рассмотрим применимость каждого из них для создания модели.

Механизм системной динамики предполагает наличие известных нам функциональных зависимостей между основными параметрами объекта моделирования. Конечно, в случае транспортных систем такие связи существуют, и мы можем рассматривать их как системы с положительными и отрицательными обратными связями. Но наличие недетерминированной компоненты – потоков пассажиров, снижает практическую ценность таких моделей, поэтому в разрабатываемой реализации этот подход не используется.

Дискретно-событийные модели полностью удовлетворяют требованиям поставленной задачи, поскольку изменение контролируемых параметров (2.2) и (2.3) происходят дискретно. Инициатором изменения выступают активные акторы системы – транспортные средства, а событиями являются их прибытия на одну из остановок. Конечно, при этом не анализируется состояние системы в промежутках между событиями, но эту проблему можно решить введением фиктивных событий с необходимой интенсивностью. Эти соображения поясняют, почему в основу модели ТС положено дискретное моделирование.

Агентные модели являются относительно новым подходом. Их популярность связана с развитием средств моделирования и, в первую очередь, с появлением мощных рабочих станций, поскольку вычислительная сложность агентных моделей достаточно высока. Если в модели ТС пассажиров рассматривать как своего рода агентов, то появляется возможность детализировать поведение каждого из них. Это необходимо в том случае, если нам нужно проанализировать по отношению к какой категории пассажиров поведение системы будет недостаточно эффективным. Хотя такой анализ и не является прямой целью проводимых исследований, агенты использованы в модели для расширения ее функциональности.

Имитационные модели, опирающиеся более чем на один подход, относятся к классу гибридных. Это определило выбор в качестве среды моделирования системы AnyLogic. Она позволяет создавать гибридные объектно-ориентированные модели, включающие как Java-код, так и широкую палитру многофункциональных библиотек.

Модель создана на основе объектно-ориентированного подхода к представлению сложных систем, который позволяет разработчикам моделей в среде AnyLogic структурировать разработку, упростить и ускорить создание моделей.

Структура модели и схема взаимодействия классов представлена на рисунке 2.

В соответствии с выбранной парадигмой, модель разбивается на следующие классы:

1. корневой - *Main*;
2. пассажиров - *Passenger*;
3. автобусов (ТК₁) - *Bus*;
4. маршрутных такси (ТК₂) - *MiniBus*;
5. городов - *Cities*;
6. *Task* - Java класс для указания маршрутов транспортных средств;
7. *Experiment* - тип эксперимента (простой или оптимизационный).

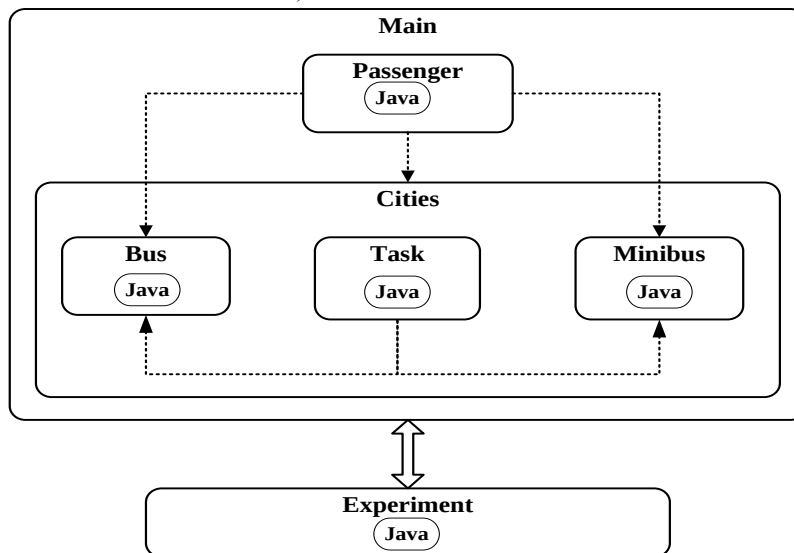


Рис. 2. Структура модели транспортной системы

Объекты, отображающие события в реальном мире и определяющие поведение модели, называются активными. В объектно-ориентированных моделях они обладают динамическими свойствами. В модели ТС к активным относятся объекты, принадлежащие следующим классам:

1. *Passenger*;
2. *Bus*;
3. *MiniBus*;
4. *Main*;
5. *Experiment*.

Рассмотрим особенности реализации одного из основных классов модели - *Passanger*.

Объектами класса являются пассажиры, которые формируют потоки заявок на перемещение между городами. Средой существования объектов является класс **Cities**. Из нескольких способов моделирования поведения агентов самым технологичным можно считать стейчарты или диаграммы состояний. Обладая высокой универсальностью, стейчарты могут быть использованы и при событийном моделировании. Стейчарт класса пассажиров представлен на рисунке 3. В классе **Passenger** созданы несколько алгоритмов, реализованных на Java, для получения пассажирами информации об услугах транспортных средств и выбора ими альтернативного средства транспорта.

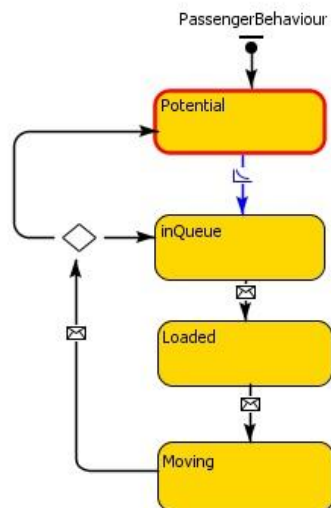


Рис. 3. Диаграмма состояний класса пассажиров

Переходы стейчарта инициируют изменение состояния пассажиров:

Potential – начальное состояние, в котором находятся все жители; некоторая часть из них нуждается в перемещении между городами и переходит в очередь пассажиров;

InQueue – очередь пассажиров, ожидающих посадки в транспортное средство;

Loaded – посадка в транспортное средство;

Moving – поездка в транспорте.

Модель описывает пассажиров транспортной сети как агентов, которые мигрируют из одного населенного пункта в другой. Стейчарт определяет их поведение в процессе такой миграции, т.е. переходы из одного состояния в другое. В среде моделирования могут использоваться разные виды условий срабатывания переходов, входящих в состав стейчарта. Например, переход из

состояния **Potential** в состояние **InQueue**, происходит тогда, когда агент получает атрибуты, удовлетворяющие соотношению (2.11). Параметр **Distination** определяет, в какую очередь попадает агент. Событием, которое инициирует срабатывание перехода из состояния **InQueue** в состояние **Loaded**, является прибытие на остановку транспортного средства. Необходимо отметить, что не все агенты, стоящие в очереди, перейдут в состояние **Loaded**. Кроме принципа FIFO при реализации перехода анализируются и индивидуальные коэффициенты предпочтений - соотношение (2.5).

Переход из состояния **Loaded** в состояние **Moving** происходит в момент начала движения ТС.

Если в конечной точке маршрута движения ТС агент достигает цели – параметр **Distination**, он возвращается в состояние **Potential**. В противном случае, он переходит в состояние **InQueue**, но уже в другом населенном пункте.

В процессе моделирования агенты могут общаться между собой. Это свойство позволяет расширять функциональность модели. Например, для усиления конкуренции можно реализовать механизм коллективной аренды такси.

Внешний вид разработанной модели представлен на рис. 4.

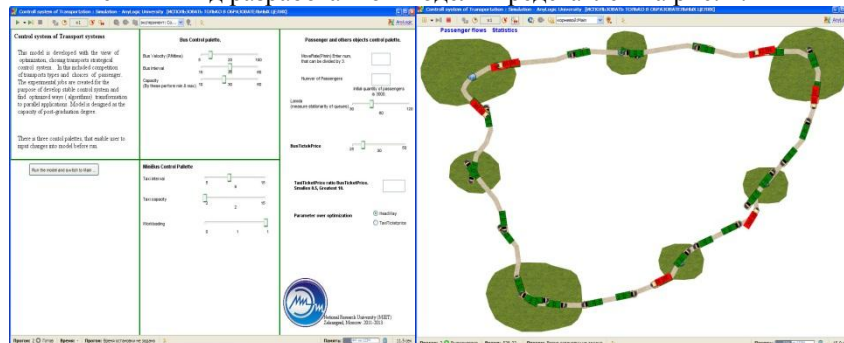


Рис. 4. Интерактивный интерфейс модели и презентация транспортной инфраструктуры

Пользователь может задать и тип эксперимента – простой или оптимизационный. При выборе оптимизационного эксперимента система AnyLogic реализует режим работы, при котором осуществляется перебор одного из параметров модели с заданным шагом.

Вычислительная сложность оптимизационного эксперимента выше, чем при простом моделировании. Реализация оптимизации с помощью вычислительной модели SPMD (Single Program Multiple Data) позволяет эффективно использовать ресурсы многоядерных микропроцессоров. При этом на каждом ядре запускается самостоятельный процесс с уникальными

параметрами, что является эффективным решением, поскольку процессы не связаны по данным. Использование такого подхода позволяет решать задачи многокритериальной оптимизации, к которой сводится управление транспортом в условиях конкуренции.

Кроме непосредственного представления результатов эксперимента на презентациях, разработанная модель обеспечивает их запись в файлы для последующего анализа средствами табличного процессора Excel.

В четвертой главе представлены результаты экспериментальных исследований функциональности гибридной модели.

Целью проводимых экспериментов является подтверждение возможности динамической реакции системы управления на снижение потока пассажиров.

В таблице 1 представлены результаты симуляций для случая снижения интенсивности потока пассажиров (P) от 100 до 20%.

Исходные данные: вместимость автобуса $C_{TK_1} = 35$, $h_{TK_1} = 30$, в системе отсутствует конкуренция.

Таблица 1. Влияние интенсивности потока пассажиров на B_{load}

$P(\%)$	100	90	80	70	60	50	40	30	20
T_w	15,14	15,09	14,95	15,0	14,86	14,92	15,19	15,0	15,18
B_{load}	0,76	0,68	0,62	0,53	0,44	0,38	0,31	0,23	0,15

Как и следовало ожидать, при снижении интенсивности потока пассажиров, загруженность автобусов B_{load} падает. Но задержка в обслуживании пассажиров остается практически неизменной, поскольку она определяется только интервалом движения h_{TK_1} , который остается неизменным.

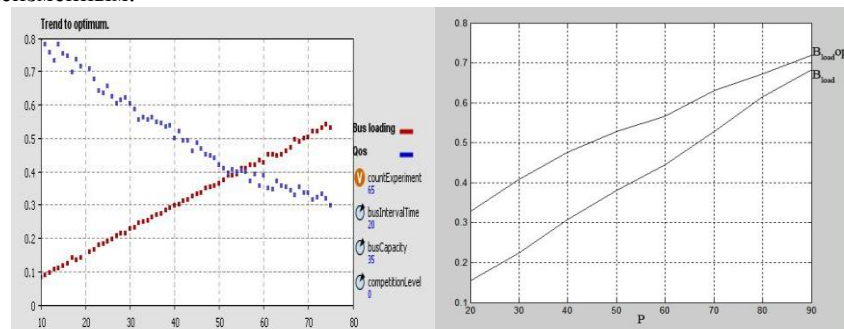


Рис. 5. Оптимизационный эксперимент

В основе адаптивной стратегии управления лежит метод многокритериальной оптимизации. Очевидно, что повысить рентабельность перевозчика можно только за счет снижения качества обслуживания QoS. В

ходе симуляций найдем компромиссное значение интервала движения h_{opt} , при котором интересы акторов процесса будут сбалансированы.

Точка пересечения графиков (рис.5) соответствует оптимальному для выбранной стратегии значению интервала движения.

Таблица 2. Результаты оптимизационных экспериментов.

P(%)	100*	90	80	70	60	50	40	30	20
T_w	15,14*	16,31	16,77	17,75	19,34	20,86	23,55	28,47	32,36
B_{load}	0,76*	0,72	0,67	0,63	0,57	0,53	0,48	0,41	0,33
h_{opt}	30*	32	33	35	39	42	47	55	65

* - оптимизация не проводилась.

Полученные в ходе экспериментов значения h_{opt} представлены в табл. 2. Анализ результатов показывает, что динамическое планирование работы ТС, основанное на изменении интервалов движения транспорта при изменении интенсивности потоков пассажиров, позволяет адаптировать систему к внешним условиям в широком диапазоне изменения нагрузки. При реализации оптимальных параметров загрузка автобусов возрастет от 5 до 18%.

В отсутствии конкуренции единственным параметром системы управления, который можно оперативно использовать для реакции на динамику внешней среды, является интервал движения транспорта. В случае конкуренции, к этому параметру может быть добавлена и стоимость проезда.

В качестве оценки уровня конкуренции в модели используется следующее соотношение:

$$Comp_{level} = \frac{C_{TK_2} * h_{TK_2}}{C_{TK_1} * h_{TK_1} + C_{TK_2} * h_{TK_2}} \quad (4.1)$$

Механизм выбора предпочтений, формирующий реакцию агентов в конкурентной среде, использует пороговое значение коэффициента K_{level} . Если индивидуальный коэффициент предпочтений у агента превышает пороговое значение $K > K_{level}$, то он может переместиться из потока P_1 в поток P_2 .

Уровень качества обслуживания пассажиров определяется как:

$$QoS = \frac{T_w}{T_{wmodel}}, \quad (4.2)$$

где T_w соответствует выражению (2.2), а T_{wmodel} вычисляется в ходе симуляций.

Таблица 3. Результаты экспериментов для $P = 80\%$

h_{TK_1}	K_{level}	T_{wmodel}	B_{loadTK_1}	B_{loadTK_2}	QoS
30	0,1	13,83	0,54	0,49	1,08
	0,3	14,53	0,59	0,13	1,03
40	0,1	17,87	0,53	0,55	1,12
	0,3	19,37	0,58	0,16	1,03
50	0,1	23,57	0,52	0,64	1,06
	0,3	25,56	0,59	0,24	0,98
60	0,1	28,04	0,52	0,65	1,07
	0,3	30,27	0,58	0,12	1,01

При проведении экспериментов использовались следующие значения параметров: $Cost_1/Cost_2 = 0,5$, $C_{TK_1} = 30$.

Таблица 4. Результаты экспериментов для $P = 100\%$

h_{TK_1}	K_{level}	T_{wmodel}	B_{loadTK_1}	B_{loadTK_2}	QoS
30	0,1	13,65	0,68	0,59	1,10
	0,3	14,80	0,72	0,27	1,01
40	0,1	18,51	0,68	0,50	1,08
	0,3	19,21	0,72	0,19	1,04
50	0,1	23,68	0,69	0,55	1,06
	0,3	25,32	0,71	0,35	0,99
60	0,1	28,77	0,70	0,60	1,04
	0,3	30,40	0,71	0,29	0,99

Повышение порогового значения K_{level} позволяет TK_1 увеличивать загрузку своих транспортных средств и уменьшить ее у конкурентов – TK_2 . При этом величина QoS остается на высоком уровне. Выводы справедливы для всех значений как h_1 , так $Comp_{level}$. Это косвенно свидетельствует о возможности использования принципов динамического управления для адаптации к уровню конкуренции ТС.

Представленные в табл. 4. результаты призваны показать, что модель позволяет решать задачу оптимизации при варьировании двух и более критериев.

Исходные данные: значения параметров C_{TK_1} , h_{TK_1} , h_{TK_2} фиксированы, значения параметров C_{TK_2} и $Cost_1/Cost_2$ варьируются в процессе симуляций.

Выходные данные: значения параметров QoS , T_{wmodel} , B_{loadTK_1} и B_{loadTK_2} формируются в ходе симуляций, а $Comp_{level}$ и T_{wtheor} рассчитываются по формулам (4.1) и (4.3) соответственно.

$$T_{wtheor} = (h_{TK_1} * (1 - Comp_{level}) + h_{TK_2} * Comp_{level}) / 2 \quad (4.3)$$

Таблица 5. Результаты моделирования при $h_{TK_1} = 30$, и $C_{TK_1} = 35$

h_{TK_2}	C_{TK_2}	$T_{w_{theor}}$	$\frac{Cost_2}{Cost_1}$	$T_{w_{model}}$	QoS	$B_{load_{TK_1}}$	$B_{load_{TK_2}}$	$Comp_{level}$
10	4	12,21	2	10,32	1,18	0,40	0,93	0,279
			4	10,53	1,16	0,41	0,90	
			6	10,79	1,13	0,42	0,86	
	8	10,64	2	11,36	0,94	0,37	0,50	0,436
			3	11,67	0,92	0,39	0,47	
			4	11,94	0,89	0,41	0,44	
	12	9,63	2	11,14	0,86	0,34	0,36	0,537
			3	11,47	0,84	0,37	0,33	
			4	11,80	0,82	0,39	0,31	
12	4	12,80	2	12,58	1,02	0,54	0,64	0,244
			3	12,72	1,01	0,55	0,62	
			4	12,86	0,99	0,56	0,60	
	8	11,47	2	11,70	0,98	0,44	0,49	0,392
			3	11,97	0,96	0,45	0,46	
			4	12,23	0,94	0,47	0,43	
	12	10,57	2	11,44	0,93	0,40	0,36	0,492
			3	11,76	0,90	0,43	0,34	
			4	12,06	0,88	0,45	0,31	

В ходе проведенных симуляций найдены оптимальные параметры управления для TK_1 при всех значениях входных параметров модели. Обращает на себя внимание тот факт, что найденные параметры обеспечивают именно компромисс интересов пассажиров и перевозчиков.

В заключении приведены основные результаты работы.

Основные результаты работы

1. Анализ принципов работы программно-аппаратных комплексов, лежащих в основе систем управления общественным транспортом, показал, что в подавляющем большинстве они реализуют статическую модель управления, параметры которой определяются на основе статистических данных об интенсивности потоков пассажиров. Значительные изменения потока приводят к дисбалансу транспортной системы, но реакция на это со стороны управления запаздывает в силу консервативной стратегии

управления. Заполняемость транспортного средства может служить одним из индикаторов, которые можно использовать в стратегиях оперативного планирования работы транспорта, способных адаптироваться к изменению потоков пассажиров.

2. Причины изменения нагрузки в транспортных системах могут быть связаны как с изменением интенсивности потоков пассажиров, так и с наличием в системе перевозок конкуренции. Предложено формализованное представление транспортной системы и определены критериальные функции, оценивающие эффективность систем управления в условиях конкуренции. Показано, что задачей адаптивного управления является многокритериальная оптимизация и обеспечение баланса противоречивых интересов акторов:

$$T_w \rightarrow \min, B_{load} \rightarrow \max.$$

3. Разработанная в среде AnyLogic гибридная модель позволяет задавать топологию транспортной сети, порядок формирования потоков пассажиров и транспорта, дисциплину обслуживания пассажиров и механизм формирования предпочтений при выборе ими перевозчика. При этом транспортные средства представляются с помощью дискретно-событийного подхода, а для описания поведения пассажиров используется агентный подход.

4. Полученные результаты показывают, что динамическое планирование работы ТС, основанное на оптимизации интервалов движения транспорта при изменении интенсивности потоков пассажиров, позволяет адаптировать систему к внешним условиям в широком диапазоне изменения нагрузки. При этом для различных значений уровня нагрузки выигрыш по отношению к статическому управлению составляет от 5 до 18%, а обеспечение рентабельности перевозок происходит за счет увеличения интервала движения транспорта.

5. Использование гибридных моделей для повышения эффективности динамических стратегий с их последующей имплементацией в программно-аппаратные комплексы позволяет реализовывать адаптивное управление транспортом, оперативно реагировать на действия конкурентов, повысить рентабельность перевозок.

Публикации автора по теме диссертации:

1. **Тан Шейн.** Структура модели транспортной системы. //Микроэлектроника и информатика – 2010.17-я Всероссийская межвузовская научно-техническая конференция студентов и аспирантов: Тезисы докладов. – М.: МИЭТ, 2010. – 352с., С. 219.

2. **Тан Шейн,** Тхан Зо У, Чжо Мью Хтун, Лупин С.А. Динамическая структурная оптимизация распределенных систем обслуживания на

многопроцессорных системах. //V Международная научно-практическая конференция «Современные информационные технологии и ИТ-образование». Сборник избранных трудов МГУ, 2010. – 640с., С. 621-625.

3. Лупин С.А., Тхан Зо У, **Тан Шейн**. Функциональный графический редактор в системах поддержки принятия решений. //Информационные технологии, электронные приборы и системы: Материалы Международной научно-практической конференции. Минск, 6–7 апреля 2010 г. В 3-х частях. Ч. 1 – Минск: БГУ, 2010. – 161 с., С. 88-90.

4. **Тан Шейн**. Моделирование транспортной системы в среде AnyLogic. //Микроэлектронные информационно-управляющие системы и комплексы. Международная научная школа для молодежи: Тезисы материалов. – М.: МИЭТ, 2010. – 172с., С. 112.

5. **Тан Шейн**. Структура имитационной модели транспортной системы. // Актуальные вопросы современной техники и технологии. Сборник докладов IV-ой Международной научной заочной конференции. – Липецк: Издательский центр «Гравис», 2011. –109 с., С 62.

6. **Тан Шейн**. Моделирование конкуренции в транспортных системах. //Микроэлектроника и информатика – 2011. 18-я Всероссийская межвузовская научно-техническая конференция студентов и аспирантов. Тезисы докладов. - М: МИЭТ, 2011. – С. 204.

7. **Тан Шейн**. Использование классов при создании транспортной системы в среде AnyLogic. // Актуальные проблемы информатизации в науке, образовании и экономике – 2011. 4-я Всероссийская межвузовская научно-практическая конференция. М: МИЭТ, 2011. – 196 с., С.102.

8. **Тан Шейн**. Верификация имитационной модели транспортной системы. //Микроэлектроника и информатика – 2012. 19-я Всероссийская межвузовская научно-техническая конференция студентов и аспирантов. Тезисы докладов. - М: МИЭТ, 2012. – С.196.

9. Лупин С.А., **Тан Шейн**, Тхан Зо У, Чжо Мью Хтун. К вопросу оценки точности алгоритмов дискретной оптимизации. // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем - 2012. Сборник трудов конференции / под общ.ред. академика РАН А.Л. Стемпковского. - М.: ИППМ РАН, 2012. - 735 с., С. 553-556. (**перечень ВАК**)

10. Лупин С.А., **Тан Шейн**. Объектно-ориентированная модель конкурирующих транспортных систем. // Проблемы разработки информационных технологий и подготовки ИТ-кадров. Сборник научных трудов конференции /Под ред. Л.Г.Гагариной. – М.: МИЭТ, 2012. - 168с., С. – 58-64.

11. Лупин С.А., **Тан Шейн**, Тхан Зо У, Чжо Мью Хтун. Параллельная реализация алгоритмов дискретной оптимизации. // Сборник избранных трудов VII Международной научно-практической конференции МГУ. Под ред. проф. В.А. Сухомлина. - М.: ИНТУИТ.РУ, 2012. –ISBN 978-5-9556-0140-3, – 1050 с., С. 912-918.

12. **Тан Шейн**. Влияние конкуренции на эффективность систем управления общественным транспортом. // XV Международная телекоммуникационная конференция молодых ученых и студентов «МОЛОДЕЖЬ И НАУКА». Тезисы докладов. В 3-х частях. Ч. 3. М.: НИЯУ МИФИ, 2012. – 204с., С. 124-126.

13. **Тан Шейн**. Многокритериальная оптимизация в системах управления транспортными системами в условиях конкуренции. // Микроэлектроника и информатика – 2013. 20-ая Всероссийская межвузовская научно-техническая конференция студентов и аспирантов. Тезисы докладов. – М.: МИЭТ, 2013. – 340с., С. 219.

14. Лупин С.А, **Тан Шейн**, Чжо Чжо Лин. Особенности моделирования транспортных систем в условиях конкуренции. //Информационные системы и технологии. №3(77), 2013, С.45-53. (**перечень ВАК**)

15. Sergey Lupin, **Than Shein**, KyawKyaw Lin, Anastasia Davydova. Testing of transport system management strategy. //11-th EAST-WEST DESIGN & TEST SYMPOSIUM (EWDTS 2013), Rostov-on-Don, Russia, September 27 - 30, 2013, P.503, p.435-438 (**IEEE Library**).

16. Лупин С.А, ТханЗо У, **Тан Шейн**, Чжо Чжо Лин. Влияние методов отображения данных на информационную нагрузку диспетчеров. //Информационные системы и технологии. №6(80), 2013, С.92-96. (**перечень ВАК**).

17. Sergey Lupin, **Than Shein**, Kyaw Kyaw Lin, Anastasia Davydova. Modelling of the Transport Systems in a Competitive Environment. // Proceedings of the Fifth International Conference on Internet Technologies and Applications (ITA 13), Glyndwr University, Wrexham, North Wales, UK, 10-13 September 2013, P.516, p.41-48.

18. Лупин С.А., **Тан Шейн**, Чжо Чжо Лин. Программный комплекс для оценки эффективности системы управления транспортом в условия конкуренции. //Свидетельство РФ об официальной регистрации программы для ЭВМ №2013618119.

19. Лупин С.А., Чжо Чжо Лин, **Тан Шейн**, Давыдова А.П., Вагапов Ю.Ф. Оценка влияния цифровых датчиков на эффективность систем управления. //Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем - 2014. Сборник трудов конференции / под общ.ред. академика РАН А.Л. Стемпковского. - М.: ИППМ РАН, 2014. - (**перечень ВАК**)