

Редакционный совет:

Голенков В.А. д-р техн. наук, проф.,
председатель
Пилипенко О.В. д-р техн. наук, проф.,
Радченко С.Ю. д-р техн. наук, проф.,
зам. председателя
Астафичев П.А. д-р юр. наук, проф.,
Борзенков М.И. канд. техн. наук, доц.,
Иванова Т.Н. д-р техн. наук, проф.,
Колчунов В.И. д-р техн. наук, проф.,
Константинов И.С. д-р техн. наук, проф.,
Новиков А.Н. д-р техн. наук, проф.,
Попова Л.В. д-р экон. наук, проф.,
Степанов Ю.С. д-р техн. наук, проф.

Главный редактор:

Новиков А.Н. д-р техн. наук, проф.
Заместитель главного редактора:
Катунин А.А. канд. техн. наук, доц.

Редколлегия:

Агуреев И.Е. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Бажинов А.В. д-р техн. наук, проф. (Украина)
Басков В.Н. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Бондаренко Е.В. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Браннольте У. д-р техн. наук, проф. (Германия)
Бялы В. д-р техн. наук, проф. (Польша)
Венцель Е.С. д-р техн. наук, проф. (Украина)
Власов В.М. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Глаголев С.Н. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Горовиц В.Б. д-р техн. наук, проф. (США)
Демич М. д-р техн. наук, проф. (Сербия)
Денисов А.С. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Корчагин В.А. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Макарова И.В. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Мартюченко И.Г. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Митусов А.А. д-р техн. наук, проф. (Казахстан)
Нордин В.В. канд. техн. наук, проф. (Россия)
Прентковский О. д-р техн. наук, проф. (Литва)
Пржибыл П. д-р техн. наук, проф. (Чехия)
Пушкарев А.Е. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Ременцов А.Н. д-р пед. наук, проф. (Россия)
Савин Л.А. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Сарбаев В.И. д-р техн. наук, профессор (Россия)
Сиваченко Л.А. д-р техн. наук, проф. (Беларусь)
Хабибуллин Р.Г. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Юнгмейстер Д.А. д-р техн. наук, проф. (Россия)

Ответственный за выпуск: **Акимочкина И.В.**

Адрес редколлегии:

302030, Россия, г. Орел, ул. Московская, 77
Тел. +7 (4862) 73-43-50
<http://www.gu-unpk.ru/science/journal/mtitm>
E-mail: srmostu@mail.ru

Зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).
Свидетельство: ПИ № ФС77-47352 от 03.11.2011г.

Подписной индекс: **16376**

по объединенному каталогу «Пресса России»

© Госуниверситет-УНПК, 2015

Содержание

Эксплуатация, ремонт, восстановление

<i>С.А. Евтюков, И.С. Брылев</i> Алгоритм корректировки нормативных значений времени нарастания замедления, установившегося замедления двухколесных механических транспортных средств.....	3
<i>Н.С. Севрюгина</i> Анализ влияния ресурсных характеристик элементной базы и систем автомобиля на показатель комфортности водителя.....	12
<i>А.С. Денисов, К.Н. Приказчиков</i> Влияние периодичности, объема и качества технического обслуживания на затраты на обеспечение работоспособности автобусов.....	17
<i>Е.В. Агеев, Е.В. Агеева, Н.М. Хорьякова, В.С. Малюхов</i> Использование медного электроэрозионного нанопорошка в гальванических покрытиях поршневых колец.....	24
<i>А.В. Селихов</i> Метод и средства диагностирования электрогенератора автомобиля по параметрам электрического сопротивления смазочного слоя.....	34
<i>М.А. Бурнашов, А.Н. Прежбилов</i> Очистка поверхностей деталей автомобилей водоледяной струей с заранее подготовленными частицами.....	46
<i>Н.А. Федин, С.С. Рябов</i> Показатели оценки качества отремонтированных двигателей и источники поступления продуктов износа в моторное масло.....	54

Технологические машины

<i>Р.М. Шахбанов, Л.А. Савин, С.В. Григорьев</i> Повышение энергетических показателей центробежных насосов на основе решения задачи параметрической оптимизации.....	62
<i>А.А. Поддубный, А.В. Яровая</i> Теоретическое и экспериментальное определение перемещений трехслойной балки при неполном контакте с упругим основанием.....	68

Безопасность движения и автомобильные перевозки

<i>И.Е. Ильина, В.И. Буркина</i> Исследование возможности предотвращения дорожно-транспортного происшествия при использовании пограничных значений.....	77
<i>А.В. Липенков, Н.А. Кузьмин</i> Исследование потерь времени от взаимных помех между автобусами на остановочных пунктах.....	84
<i>Ю.Н. Баранов, Н.А. Загородних, А.П. Трясцин, А.С. Бодров</i> Математическая модель построения алгоритма на основе структурного подхода при создании транспортных интеллектуальных систем.....	96
<i>И.В. Макарова, Р.Г. Хабибуллин, К.А. Шубенкова</i> Оптимизация маршрутной сети пассажирского транспорта с помощью транспортной модели города.....	103
<i>А.Н. Новиков, А.В. Кулев, А.А. Катунин, М.В. Кулев, Н.С. Кулева</i> Оптимизация маршрутов пассажирского транспорта в г. Орле.....	115
<i>А.В. Паничкин, Н.В. Голубенко</i> Оценка ресурса двигателя автобусов, работающих на газовом топливе, эксплуатируемых в режиме городских перевозок пассажиров.....	123

Вопросы экологии

<i>В.А. Корчагин, Ю.Н. Ризаева, Т.В. Корчагина</i> Модель поиска биосферно-совместимого функционирования транспортной социоприродо-экономической системы.....	130
---	-----

Экономика и управление

<i>Ю.В. Родионов, М.Ю. Обишвалкин, Н.В. Паули</i> Учет изменения эффективности эксплуатации подвижного состава в зависимости от наработки.....	136
--	-----



The scholarly
journal
A quarterly review

№ 3(50) 2015

July - September

World transport and technological machinery

Founder - Federal State budget Institution higher education
«State University – Education-Scientific-Production Complex»
(State University-ESPC)

<p><i>Editorial Council:</i> V.A. Golenkov <i>Doc. Eng., Prof.,</i> O.V. Pilipenko <i>Doc. Eng., Prof.,</i> S.Y. Radchenko <i>Doc. Eng., Prof.</i> <i>Vice-Chairman</i> P.A. Astafichev <i>Doc. Law., Prof.,</i> M.I. Borzenkov <i>Can. Eng., Prof.,</i> T.N. Ivanova <i>Doc. Eng., Prof.,</i> V.I. Kolchunov <i>Doc. Eng., Prof.,</i> I.S. Konstantinov <i>Doc. Eng., Prof.,</i> A.N. Novikov <i>Doc. Eng., Prof.,</i> L.I. Popova <i>Doc. Ec., Prof.,</i> Y.S. Stepanov <i>Doc. Eng., Prof.</i></p>	<h2 style="text-align: center;">Contents</h2> <p style="text-align: center;">Operation, Repair, Restoration</p> <p><i>S.A. Evtukov, I.S. Brylev</i> Corraction algorithms normative values rise time deceleration, set deceleration motorized two wheelers..... 3 <i>N.S. Sevryugina</i> Analysis of resource characteristics components and vehicle systems driver comfort for measure..... 12 <i>A.S. Denisov, K.N. Prikazchikov</i> Influence of the frequency, volume and quality of technical service on the cost of providing health buses 17 <i>E.V. Ageev, E.V. Ageeva, N.M. Horyakova</i> The use of copper EDM the nanopowder in the galvanic coatings of piston rings 24 <i>A.V. Selihov</i> Methods and devices for diagnostics of automobile electric generators by parameters of lubricants-layer electrical resistance..... 34 <i>M.A. Burnashov, A.N. Prezhbilov</i> Cleaning of surfaces of details of cars with the water ice stream with in advance prepared particles..... 46 <i>N.A. Fedin, S.S. Ryabov</i> The indicators of an assessment of quality of the repaired engines and sources of deterioration products in engine oil 54</p> <p style="text-align: center;">Technological Machinery</p> <p><i>R.M. Shahbanov, I.A. Savin, S.V. Grigor'ev</i> Improvement of energy characteristics of centrifugal pumps by solving the problem of parametric optimization..... 62 <i>A.A. Poddubny, A.V. Yarovaya</i> Theoretical and experimental definition of movements of the three-layer beam at incomplete contact with the elastic foundation.... 68</p> <p style="text-align: center;">Road safety and road transport</p> <p><i>I.E. Il'ina, V.I. Burkina</i> Study on the possibility of prevention of road accidents when using edge values..... 77 <i>A.V. Lipenkov, N.A. Kuz'min</i> The study of loss of time ate the bus stops as a reason of mutual hindrance between busses..... 84 <i>Ju.N. Baranov, N.A. Zagorodnih, A.P. Tryastin, A.S. Bodrov</i> Mathematical models of algorithms on based on structural approach to create transport intelligent systems 96 <i>I.V. Makarova, R.G. Khabibullin, K.A. Shubenkova</i> Optimize routes passenger transport by transport model city 103 <i>A.N. Novikov, A.V. Kulev, A.A. Katunin, M.V. Kulev, N.S. Kuleva</i> Optimization of routes passenger transport in the city of Orel..... 115 <i>A.V. Panichkin, N.V. Golubenko</i> Оценка ресурса газового двигателя автобусов, эксплуатируемых в режиме городских перевозок пассажиров..... 123</p> <p style="text-align: center;">Ecological Problems</p> <p><i>V.A. Korchagin, Yu.N. Rizaeva, T.V. Korchagina</i> Modelsearchbiosphere-compatibleoperation transport socio nature of the economic system..... 130</p> <p style="text-align: center;">Economics and Management</p> <p><i>Yu.V. Rodionov, M.Yu. Obshivalkin</i> Accounting changes in operating efficienc roll-ing stock according to hours..... 136</p>
<p><i>Editor-in-Chief</i> A.N. Novikov <i>Doc.Eng., Prof</i> <i>Associate Editor</i> A.A. Katunin <i>Can.Eng.</i></p>	
<p><i>Editorial Board:</i> I.E. Agureev <i>Doc.Eng., Prof. (Russia)</i> A.V. Bazhinov <i>Doc.Eng., Prof. (Ukraine)</i> V.N. Baskov <i>Doc.Eng., Prof. (Russia)</i> E.V. Bondarenko <i>Doc.Eng., Prof. (Russia)</i> U. Brannolte <i>Doc.Eng., Prof. (Germany)</i> V. Bialy <i>Doc.Eng., Prof. (Poland)</i> E.S. Vencel <i>Doc.Eng., Prof. (Ukraine)</i> V.M. Vlasov <i>Doc.Eng., Prof. (Russia)</i> S.N. Glagolev <i>Doc.Eng., Prof. (Russia)</i> V.B. Gorovic <i>Doc.Eng., Prof. (USA)</i> M. Demic <i>Doc.Eng., Prof. (Serbia)</i> A.S. Denisov <i>Doc.Eng., Prof. (Russia)</i> V.A. Korchagin <i>Doc.Eng., Prof. (Russia)</i> I.V. Makarova <i>Doc.Eng., Prof. (Russia)</i> I.G. Martyuchenko <i>Doc.Eng., Prof. (Russia)</i> A.A. Mitusov <i>Doc.Eng., Prof. (Kazakhstan)</i> V.V. Nordin <i>Doc.Eng., Prof. (Russia)</i> O. Prentkovskis <i>Doc.Eng., Prof. (Lithuania)</i> P. Pribyl <i>Doc.Eng., Prof. (Czech Republic)</i> A.E. Pushkarev <i>Doc.Eng., Prof. (Russia)</i> A.N. Rementsov <i>Doc.Eng., Prof. (Russia)</i> L.A. Savin <i>Doc.Eng., Prof. (Russia)</i> V.I. Sarbaev <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> L.A. Sivachenko <i>Doc.Eng., Prof. (Belarus)</i> R.G. Habibullin <i>Doc.Eng., Prof. (Russia)</i> D.A. Yungmeyster <i>Doc.Eng., Prof. (Russia)</i></p>	
<p><i>Person in charge for publication:</i> I.V. Akimochkina</p>	
<p><i>Editorial Board Address:</i> 302030, Russia, Orel, Moskovskaya Str., 77 Tel. +7 (4862) 73-43-50 http://www.gu-unpk.ru/science/journal/mtitm E-mail: srmostu@mail.ru</p>	
<p>The journal is registered in Federal Agency of supervision in sphere of communication, information technology and mass communications. Registration Certificate PI № FS77- 47352 of November 03 2011</p>	
<p>Subscription index: 16376 in a union catalog “The Press of Russia”</p>	
<p>© State University-ESPC, 2015</p>	

УДК 656.072

И.В. МАКАРОВА, Р.Г. ХАБИБУЛЛИН, К.А. ШУБЕНКОВА

ОПТИМИЗАЦИЯ МАРШРУТНОЙ СЕТИ ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА С ПОМОЩЬЮ ТРАНСПОРТНОЙ МОДЕЛИ ГОРОДА

В статье проанализированы существующие методы оптимизации маршрутной сети городского пассажирского транспорта (ГПТ) и предложен метод оптимизации по времени доставки пассажиров и суммарному количеству транспортных средств, используемых на маршруте. Для оценки эффективности полученного решения предложен комбинированный показатель. В качестве инструмента оптимизации использована транспортная модель города, построенная с помощью программного комплекса PTV VISUM. Адекватность предлагаемой модели подтверждена высоким коэффициентом корреляции между данными о нагрузках на транспортную сеть, полученными в ходе натурных обследований, и модельными значениями.

Эксперимент на модели позволил выявить проблемные участки улично-дорожной сети, найти оптимальные варианты по снижению транспортной нагрузки при сохранении мобильности населения и повышении качества его транспортного обслуживания.

Ключевые слова: городской пассажирский транспорт, маршрутная сеть, транспортная модель, модель спроса, нагрузка на транспортную сеть.

Введение. Позитивные изменения в облике мирового транспорта в 21 веке сопровождаются рядом негативных последствий, к числу которых относятся рост энергопотребления и отрицательного влияния на окружающую среду, постоянно растущие задержки людей и грузов на всех видах транспорта, которые связаны не столько с объективным недостатком мощностей транспортной инфраструктуры, сколько с низким уровнем организации и управления транспортными потоками. Масштабы и значимость этих проблем оцениваются как стратегические вызовы национального и даже континентального масштаба. В докладе ЮНЕП [1] указывается, что для сокращения транспортных выбросов парниковых газов требуется повысить эффективность использования энергии и отказаться от энергозатратных транспортных средств как на пассажирском, так и на грузовом транспорте. Для достижения экономических целей и целей устойчивого развития транспорта наряду с комплексным планированием его развития и регулированием нагрузки энергосистемы, необходимо переходить на виды горючего с низким содержанием углерода и осуществлять более широкую электрификацию транспорта.

Составной частью мер по обеспечению устойчивости транспорта может также быть планирование городских и пригородных центров в соответствии с конструкторскими разработками, предусматривающими смешанный парк автотранспорта и его разумный рост. Такие принципы городского развития помогут снизить зависимость от личного автотранспорта и обеспечить широкое использование систем общественного и безмоторного транспорта для поездок на короткие расстояния и для регулярных поездок на работу в город из пригорода.

В ходе дебатов по вопросам устойчивого развития участниками Конференции Организации Объединенных Наций по устойчивому развитию (Конференция "Rio+20" [2]) отмечалось, что транспорт и мобильность имеют крайне важное значение для устойчивого развития в качестве одного из факторов повышения уровня социальной справедливости, улучшения здоровья людей, обеспечения устойчивости городов, налаживания связей между городскими и сельскими районами и повышения производительности в сельских районах. Была отмечена необходимость содействия применению комплексного подхода к выработке на национальном, региональном и местном уровнях политики в отношении транспортных услуг и систем в целях поощрения устойчивого развития.

В документах ОПТОСОЗ отмечается, что внушают оптимизм позитивные примеры принятых мер по улучшению качества городской окружающей среды и поддержки процесса перераспределения способов передвижения за счет увеличения доли пешеходного и велосипедного движения в сочетании с использованием городского транспорта [3].

Безопасные системы общественного транспорта все больше рассматриваются как важное средство безопасного повышения мобильности населения, особенно в городских районах, страдающих от растущих транспортных заторов. Во многих городах с высокими доходами особо акцентируется политика сокращения использования личного автомобильного транспорта с помощью инвестиций в развитие сетей общественного транспорта. Инвестиции в безопасный общественный транспорт рассматриваются также как механизм, стимулирующий рост физической активности и, следовательно, способствующий укреплению здоровья населения.

Более 100 стран приняли на национальном или субнациональном уровнях меры политики, предусматривающие инвестиции в общественный транспорт. В большинстве стран с высоким уровнем доходов общественный транспорт регулируется надлежащим образом и в силу этого существенно более безопасен, чем частный автотранспорт. Однако во многих странах с низким и средним уровнями дохода, чья экономика стремительно развивается, рост не регулируется, что ведет к повышению дорожно-транспортного травматизма среди его пользователей. Правительствам этих стран следует обеспечить безопасность, доступность и ценовую приемлемость систем общественного транспорта.

Существующий опыт в области управления общественным транспортом города. Одной из важнейших задач, которая должна быть решена в сфере управления городскими автобусными перевозками, является проблема соответствия возможностей маршрутной сети потребностям населения. Для решения задачи транспортной маршрутизации (Vehicle Routing Problem – VRP) применяются эвристические методы, которые, однако, не гарантируют нахождение оптимального решения. Учитывая этот недостаток, рядом авторов (Liang Sun [4], Huang Z.D. [5], Yavuz Y. и Ulusoy [6], Данг Х.Л. [7], Чжо Мьо Хан [8]) были предложены методы, позволяющие объединить гибкость эвристики и строгость моделей линейного программирования для решения каждого класса задач маршрутизации.

Поскольку маршрутная сеть общественного транспорта города представляет собой сложную систему, а ее оптимизация – сложная многопараметрическая задача, то научно-обоснованное решение при ее разработке и корректировке требует, наряду с натурными исследованиями и экспериментами, моделирования процессов с помощью математического аппарата. В работах ряда авторов [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16] для оптимизации маршрутных схем движения автобусного транспорта были предложены математические модели, целевой функцией в которых являлась одна из следующих характеристик:

- минимальное суммарное время, затрачиваемое пассажирами на весь процесс перемещения;
- минимальное время ожидания на остановочном пункте;
- минимум суммарных затрат на передвижение транспортных средств по маршрутам в единицу времени;
- максимальная прибыль транспортной компании с учетом затрат на эксплуатацию транспортных средств (ТС).

Однако, следует иметь в виду, что получение аналитического решения с помощью математических моделей, применяемых для описания многопараметрических процессов в многофункциональных системах может потребовать значительных ресурсов. При решении такого класса задач более рационально использование имитационных моделей транспортных систем, поскольку они могут применяться многократно для определения оптимального состояния исследуемых систем при разных значениях параметров [17].

Несмотря на обширный как зарубежный, так и российский опыт решения задач оптимизации маршрутной сети ГПТ, на сегодняшний день отсутствует комплексный подход, при котором в одной модели учитывались бы не только данные о спросе населения на перевозки, но также и информация об интенсивности движения ТС на участках улично-дорожной сети (УДС).

Математические модели для оптимизации управления общественным транспортом.

В технических системах под управлением понимается процесс воздействия на объект, в результате которого этот объект переводится в состояние, желательное субъекту [18]. Объектом управления проектируемой системы являются автобусные маршруты ГПТ, а субъектом – муниципальный орган управления городским пассажирским транспортом.

Субъект должен так организовать движение городского автобусного транспорта, чтобы удовлетворить потребности населения в перемещении за минимальное время и снизить транспортную нагрузку на проблемные участки УДС. Таким образом, целевой функционал модели представляет собой сумму двух функций:

$$Z = Z_1 + Z_2 \rightarrow \min ,$$

$Z_1 = f(X_i^1)$ – суммарное количество ТС, используемых на маршруте,

$$Z_2 = f_1(F, l_i^{\text{марш}}, X_i^2, X_i^3) + f_2(Q_{(i,j)}^{\text{вх}}, l_i^{\text{марш}}, X_i^1, X_i^2) + f_3(Q_{(i,j)}^{\text{вх}}, Q_{(i,j)}^{\text{вых}}, \bar{t}_o, X_i^2, X_i^3) + f_4(N_2, Q_{(i,j)}^{\text{вх}}, Q_{(i,j)}^{\text{вых}}, L_j^{\text{ост}}, l_{X_i^2}^n, \bar{t}_o, X_i^2, X_i^3) + f_5(\bar{l}_e, X_i^2) - \text{среднее время доставки пассажиров};$$

где f_1 – среднее время подхода пассажира к остановочному пункту, f_2 – среднее время ожидания пассажиром автобуса, f_3 – среднее время посадки-высадки пассажиров, f_4 – среднее время задержки ТС на остановочном пункте (ввиду превышения вместимости остановочного пункта числом одновременно прибывших ТС), f_5 – среднее время передвижения пассажира на автобусе;

$X_i = X_i^1, X_i^2, X_i^3$ – изменяемые параметры i -го маршрута, влияющие на систему, $i = 1, 2, \dots, I$ (X_i^1 – количество ТС на i -м маршруте; X_i^3 – количество остановочных пунктов на i -м маршруте; X_i^2 описывает, какое количество каждого типа ТС используется на i -м маршруте).

Среднее время подхода пассажира к остановочному пункту определяется по формуле:

$$f_1(F, l_{\text{марш}}, X_i^2, X_i^3) = \frac{K_{н.н.} \cdot \left(1 + \frac{v_{\text{пеш}}}{v_{X_i^2}^{\text{сообщ}}}\right)}{v_{\text{пеш}}} \cdot \frac{1}{3} F + \frac{l_i^{\text{марш}}}{4 \cdot X_i^3},$$

где $K_{н.н.}$ – коэффициент непрямолинейности подхода; $K_{н.н.} = 1, 2$ [19];

$v_{\text{пеш}}$ – скорость передвижения пешком;

$v_{X_i^2}^{\text{сообщ}}$ – скорость сообщения как функция, зависящая от типа ТС;

F – плотность маршрутной сети;

$l_i^{\text{марш}}$ – длина i -го маршрута.

Среднее время ожидания пассажиром автобуса согласно теории пассажирских перевозок [20, 21] предполагается вычислять как половину сетевого интервала движения t_u :

$$f_2(Q_{(i,j)}^{\text{вх}}, l_i^{\text{марш}}, X_i^1, X_i^2) = 0,5 \cdot \frac{l_{\text{марш}}}{v_{X_i^2}^{\text{сообщ}} \cdot X_i^1} \cdot \left(1 + \frac{Q_{(i,j)}^{\text{вх}}}{q_{X_i^2}}\right),$$

где $Q_{(i,j)}^{\text{вх}}$ – количество входящих пассажиров в ТС i -го маршрута на j -м остановочном пункте;

$q_{X_i^2}$ – вместимость ТС, как функция, зависящая от типа ТС.

Среднее время на посадку-высадку пассажиров предлагается рассчитывать по формуле:

$$f_3(Q_{(i,j)}^{ex}, Q_{(i,j)}^{vix}, \bar{t}_o, X_i^2, X_i^3) = \sum_{j=1}^{X_i^3} \frac{(Q_{(i,j)}^{ex} + Q_{(i,j)}^{vix}) \cdot \bar{t}_o}{n_{X_i^2}^{ob}},$$

где $Q_{(i,j)}^{vix}$ – количество выходящих пассажиров из ТС i -го маршрута на j -м остановочном пункте;

$j = 1, 2, \dots, X_i^3$ – остановочные пункты на i -м маршруте;

$n_{X_i^2}^{ob}$ – число дверей ТС, как функция, зависящая от типа ТС;

\bar{t}_o – среднее время, затрачиваемое одним входящим и выходящим пассажиром.

Среднее время задержки ТС на остановочном пункте в ожидании посадки/высадки зависит от количества и длины ТС, уже находящихся на данном остановочном пункте к моменту подхода очередного ТС:

$$f_4(N_2, Q_{(i,j)}^{ex}, Q_{(i,j)}^{vix}, L_j^{ocm}, l_{X_i^2}^n, \bar{t}_o, X_i^2, X_i^3) = (N_2 - \frac{L_j^{ocm}}{\sum l_{X_i^2}^n}) \cdot \sum_{j=1}^{X_i^3} \frac{(Q_{(i,j)}^{ex} + Q_{(i,j)}^{vix}) \cdot \bar{t}_o}{n_{X_i^2}^{ob}},$$

где N_2 – общее количество ТС на остановочном пункте в данный момент времени;

L_j^{ocm} – длина j -го остановочного пункта;

$l_{X_i^2}^n$ – длина n -го ТС, как функция, зависящая от типа ТС.

Среднее время передвижения пассажира на автобусе зависит от среднего расстояния перемещений пассажиров и скорости сообщения используемого ТС:

$$f_5(\bar{l}_e, X_i^2) = \frac{\bar{l}_e}{v_{X_i^2}^{coobu}},$$

где \bar{l}_e – среднее расстояние перемещений пассажиров.

На решение накладываются следующие ограничения:

1) Транспортная потребность населения должна быть полностью удовлетворена:

$\sum_{n=1}^{X_i^2} Q_{(n, X_i^2)} \cdot X_{(n, X_i^2)}^1 \geq Q_i$, где $n = 1, 2, \dots, X_i^2$ – типы ТС на i -м маршруте; $X_{(n, X_i^2)}^1$ – количество ТС типа n на i -м маршруте; Q_i – пассажиропоток на i -м маршруте; $Q_{(n, X_i^2)}$ – количество пассажиров, перевезенных n -м типом ТС на i -м маршруте, вычисляемое по формуле:

$$Q_{(n, X_i^2)} = \frac{q_{X_i^2} \cdot l_i^{марш}}{24 \cdot v_{X_i^2}^{coobu}}.$$

2) Ограничение на пропускную способность участков УДС: $\sum_{n=1}^{X_i^2} D_{(n, X_i^2)} \cdot X_{(n, X_i^2)}^1 \leq D_i$, где

D_i – суммарный резерв пропускной способности участков УДС, по которым проходит i -й маршрут; $D_{(n, X_i^2)}$ – коэффициент использования пропускной способности n -м типом ТС на i -м

маршруте, вычисляемый по формуле: $D_{(n, X_i^2)} = \frac{K_{X_i^2} \cdot l_i^{марш}}{24 \cdot v_{X_i^2}^{coobu}}$, где $K_{X_i^2}$ – коэффициент приведения

пропускной способности, используемой при движении ТС каждого типа, к величине пропускной способности, используемой при движении одного легкового автомобиля.

3) Время ожидания пассажирами автобуса i -го маршрута не должно превышать максимально допустимого значения интервала движения подвижного состава (ПС) на маршрутах t_u^{\max} : $f_2(Q_{(i,j)}^{\text{ex}}, l_i^{\text{марш}}, X_i^1, X_i^2) \leq t_u^{\max}$.

4) Поскольку время подхода пассажира к остановочному пункту зависит от нормативного значения расстояния пешего похода от наиболее удаленной точки транспортного района до остановочного пункта и не должно превышать $l_{\text{подхода}}^{\text{норм}}$: $f_1(F, l_{\text{марш}}, X_i^2, X_i^3) \leq l_{\text{подхода}}^{\text{норм}}$.

Таким образом, система управления общественным транспортом города является классическим примером класса больших систем и в связи со сложностью представления ее поведения в границах математических моделей требует интеллектуализации процесса принятия управленческих решений. В этом случае имитационное моделирование становится эффективным инструментом для решения поставленной задачи.

Исходные данные для построения имитационной модели маршрутной сети общественного транспорта.

Для создания имитационной модели маршрутной сети общественного транспорта требуется следующая информация:

- 1) Карта города с улично-дорожной сетью и точками формирования и притяжения пассажиропотоков.
- 2) Параметры существующих маршрутов ГПТ и остановочных пунктов.
- 3) Видовая и количественная структура парка ТС, обслуживающих каждый маршрут.
- 4) Техничко-экономические характеристики каждого типа ТС (пассажировместимость, скорость движения и т.д.).
- 5) Матрицы корреспонденций пассажиропотоков с учетом предпочтений способа передвижения: общественный транспорт (ОТ) или индивидуальный транспорт (ИТ).
- 6) Средняя скорость движения транспортного потока на участках УДС.
- 7) Количество полос и пропускная способность участков УДС.
- 8) Интенсивность движения на участках УДС.
- 9) Максимально допустимый интервал движения ПС t_u^{\max} .
- 10) Коэффициент неравномерности подхода пассажиров к остановке.

Поскольку получение ряда исходных данных, например, таких как матрицы корреспонденций пассажиропотоков и плотность транспортных потоков на участках УДС, требует полномасштабных натурных обследований и сопряжено со значительными денежными, людскими и временными ресурсами, возможно проведение выборочных наблюдений. В работе Лобанова Е.М. [22] обоснованы условия применимости метода выборочных обследований: адекватное определение доли генеральной совокупности, закономерности которой могут быть распространены на всю совокупность, возможность определения часовой нагрузки на УДС по данным 3-5 и 10-минутных наблюдений. Автор указывает, что плотность транспортного потока можно определить аналитическим путем на основании данных о транспортной потребности населения. Для этого необходимо решить задачи:

- выбора пассажиром способа передвижения (ОТ или ИТ) на основании определения минимальных временных или денежных затрат;
- равновесного распределения транспортных потоков по участкам УДС.

Для определения матриц корреспонденций пассажиропотоков применяют аналитические методы: гравитационный метод энтропийного моделирования [6]; сочетание выборочных натурных обследований и данных, полученных с крупных градообразующих предприятий [8]; определение трудовых транспортных корреспонденций на основании почтовых индексов работников предприятий [23]; элементы теории нечетких множеств и теории вероятностей [24] и т.д. На сегодняшний день «классической» считается четырехступенчатая модель расчета транспортного спроса, позволяющая рассчитывать матрицы корреспонденций на основе параметров каждого транспортного района:

- 1) общая численность населения;
- 2) численность трудоспособного населения;
- 3) численность учащихся;
- 4) количество рабочих мест;
- 5) количество людей, занятых в сфере услуг.

Поскольку четырехступенчатая модель расчета транспортного спроса позволяет решать такие задачи, как восстановление и уточнение матриц корреспонденций в условиях неполных исходных данных, при построении имитационной модели определения транспортной потребности населения использовался данный метод.

Применение программного комплекса PTV VISUM для построения транспортной модели г.Набережные Челны.

В основу планировочной организации города Набережные Челны была положена линейная структура открытого типа с «классическим» функциональным зонированием, с параллельным расположением промышленной и селитебной зон, пригородной зоны отдыха. Транспортно-планировочный каркас города составляют продольные магистрали, связывающие жилые районы города, что дает основание отнести планировочную схему его улично-дорожной сети к прямоугольной [25].

К достоинствам этой структуры относятся отсутствие четко выраженного центрального ядра и возможность равномерного распределения транспортных потоков по всей территории города. Недостатки этой схемы – большое число сильно загруженных пересечений, которые затрудняют организацию движения и увеличивают перепробеги ГПТ [21].

Ввиду того, что город активно развивается, существенной проблемой общественного транспорта является несоответствие скорости корректировки маршрутной сети изменениям городской инфраструктуры. Так, в последние годы в городе появились новые жилые массивы, торговые комплексы и прочие точки притяжения пассажиропотоков, в то время как маршрутная сеть не претерпевала существенных изменений с 2004 года, когда в последний раз проводились полномасштабные исследования пассажиропотоков.

Для получения научно-обоснованного решения по корректировке маршрутной сети автобусного транспорта города была построена транспортная модель города в программной среде PTV VISUM. Для этого:

1. На карту города были нанесены узловые точки, которые соединялись между собой отрезками соответствующего типа.
2. Город был разделен на 75 транспортных районов с указанием точек притяжения пассажиропотоков и ввода данных об общих объемах прибытия и отправления из каждого района города.
3. Была построена существующая маршрутная сеть автобусного городского транспорта, введены остановочные пункты.
4. Была сформирована матрица затрат, связанных с перемещениями между районами в зависимости от выбранного способа передвижения.
5. Была построена матрица корреспонденций на основании 4-х ступенчатой модели спроса: определение групп пассажиров, причин перемещений (поездка на работу, домой, к местам отдыха, на учебу и т.д.), слоев спроса и выбор способа передвижения при соблюдении условия минимизации среднего времени доставки пассажиров (рисунок 1).

База Группы Пары действий Слои спроса Матрицы выбора режима						
	Код	Имя	Группы	Пара действий	Матрица корреспонденции (результат распределения)	СерСпр
1	AP01_G04		G01,G02,G03	AP01 Дом - отдых	5 AP01_G04	
2	AP02_G04		G01,G02,G03	AP02 Дом - работа	8 AP02_G04	
3	AP03_G04		G01,G02,G03	AP03 Дом - учеба	11 AP03_G04	

Рисунок 1 – Моделирование спроса

6. Была построена модель для перераспределения движения транспорта. На рисунке 2 представлено распределение подвижного состава ГПТ по участкам УДС (цифры над каждым участком обозначают количество автобусов, проходящих по этим участкам в часы-пик).

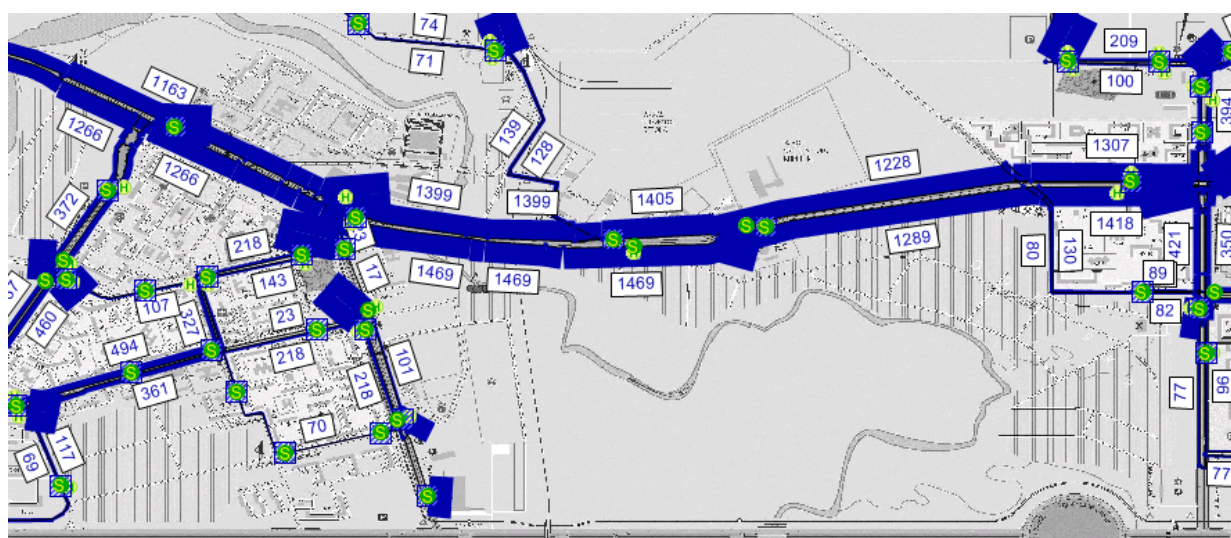


Рисунок 2 – Нагрузка УДС города при существующей маршрутной сети

Для проверки соответствия модели реальной ситуации на дорогах города была выполнена ее валидация: проведены выборочные натурные исследования транспортных потоков в будние дни в часы-пик. Замеры проводились с использованием видеонаблюдения, затем, при обработке видеоматериалов исследований были получены данные, представленные на рисунке 3. Коэффициент корреляции данных наблюдений (X_n) и значений, полученных из макромоделли (X_m), определялся с помощью статистического пакета MINITAB (рисунок 4). Поскольку полученный коэффициент корреляции Пирсона равен 0,916, а значение P-Value=0,01 меньше выбранного уровня значимости α (по умолчанию $\alpha=0.05$), это свидетельствует о достоверности гипотезы о корреляции между данными величинами.

Таким образом, построенная транспортная модель является адекватной, следовательно, может быть использована для выработки рекомендаций по совершенствованию автобусной маршрутной сети с целью минимизации времени доставки пассажиров и суммарного количества ТС, используемых на маршруте.

Название участка	Направление движения	Интенсивность движения транспорта		
		Ford, Fiat и пр.	НефАЗ, ПАЗ, Богдан и пр.	Общее число автобусов
Центральная	→	641	539	1180
	←	644	548	1192
мкрн Бумажников	→	808	609	1417
	←	801	608	1409
ГЭС-НГ	→	801	635	1436
	←	798	630	1428
Челныгорстрой	→	686	593	1279
	←	701	554	1255
Медгородок	→	725	551	1276
	←	751	548	1299
7 комплекс	→	663	508	1171
	←	608	519	1127

Рисунок 3 – Результаты выборочных натурных наблюдений

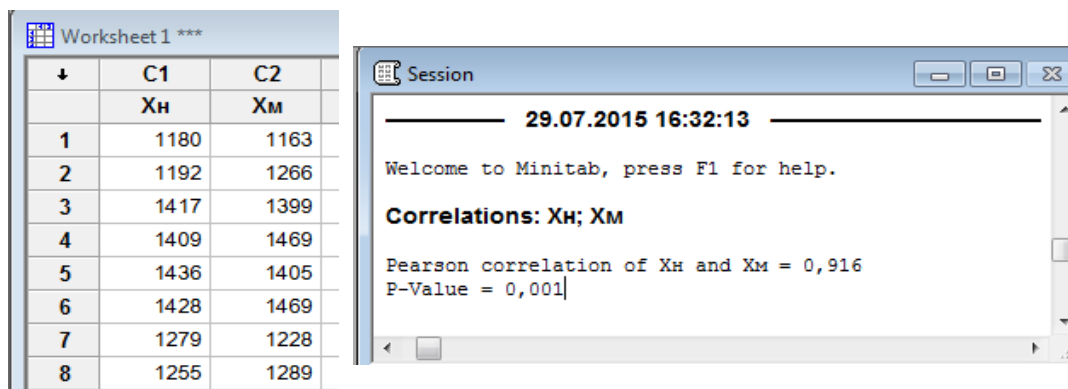


Рисунок 4 – Определение коэффициента корреляции

Выработка рекомендаций по совершенствованию маршрутной сети г. Набережные Челны.

Построенная модель позволяет выявить так называемые «узкие места», нуждающиеся в оптимизации.

Одним из наиболее перегруженных участков УДС города является место слияния четырех параллельных проспектов и, соответственно, практически всех городских маршрутов. Для разработки новой маршрутной сети городского общественного автотранспорта использовались теоретические положения об организации пассажирских перевозок и данные макро моделирования. Особенности планировки города не позволяют полностью избежать наложений маршрутов городского пассажирского транспорта. Однако, можно значительно уменьшить количество маршрутов, проходящих по одному и тому же участку УДС, при этом сохранив возможность удовлетворения мобильности населения города. Кроме того, с помощью модели были спроектированы поперечные маршруты, соединяющие между собой параллельные проспекты.



Рисунок 5 – Схема существующей маршрутной сети

На рисунке 5 представлен фрагмент существующей маршрутной сети города с указанием номеров маршрутов, проходящих по проблемному участку, а на рисунке 6 – модернизированная автобусная маршрутная сеть. Процедура перераспределения транспортного движения в городе, проведенная после изменения маршрутной схемы (рисунок 7), показывает, что существующая на сегодняшний день нагрузка на рассматриваемом участке (1469 ТС) может быть снижена до 1212 ТС.

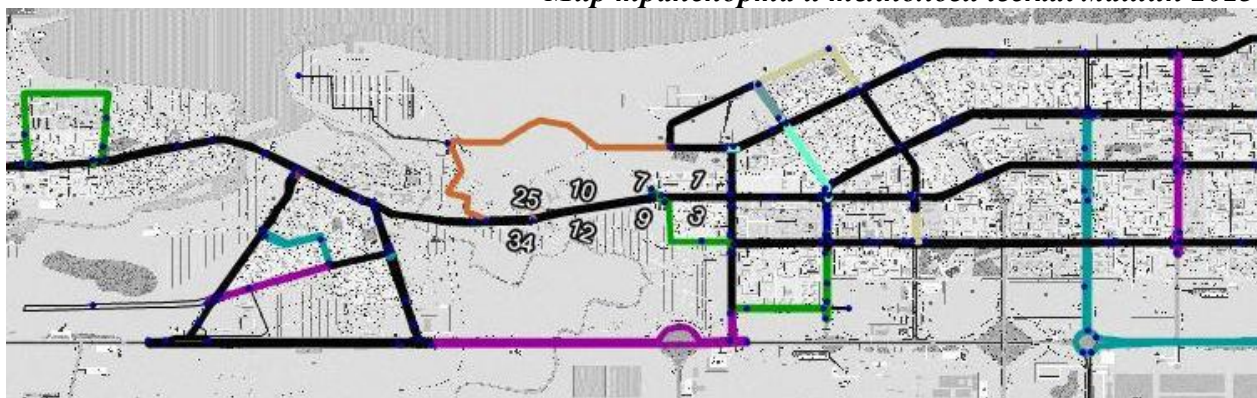


Рисунок 6 – Схема предлагаемой маршрутной сети

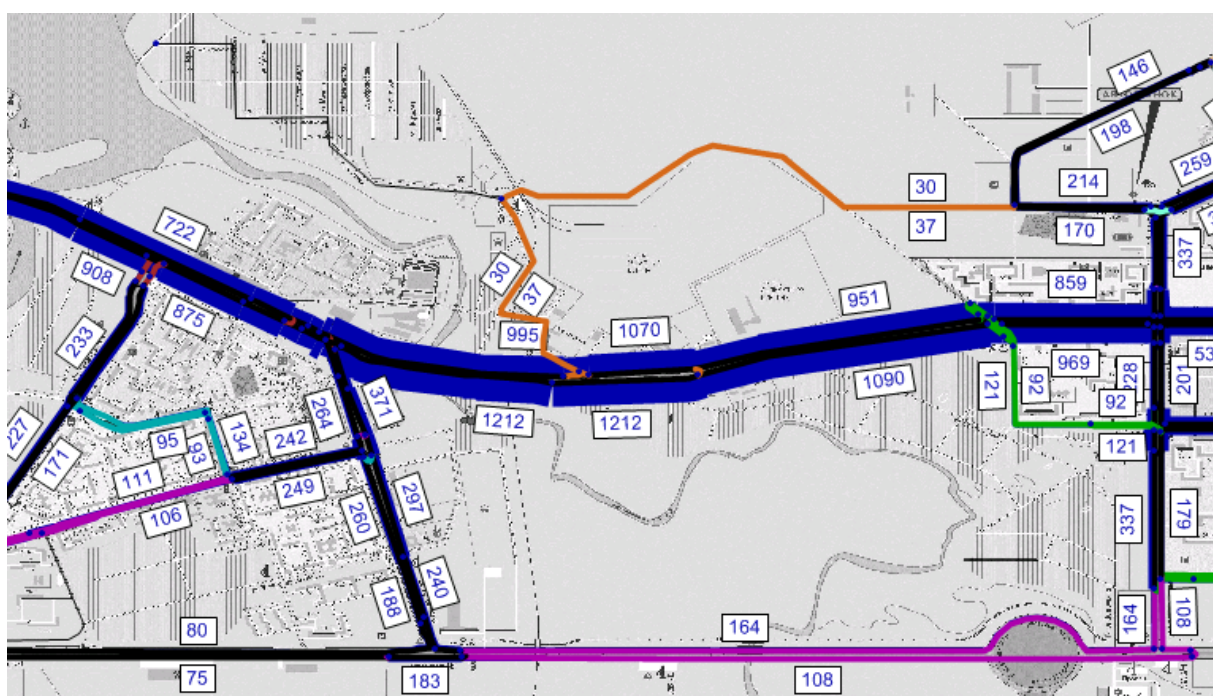


Рисунок 7 – Нагрузка УДС города при разработанной маршрутной сети

Выводы. В условиях роста автомобилизации и рядом проблем, обусловленных данной тенденцией, одной из которых является ограничение мобильности населения городов и мегаполисов при снижении качества его транспортного обслуживания, актуальной проблемой является создание инструмента для выработки научно-обоснованных решений по оптимизации управления движением общественного транспорта. Одной из задач, связанных с достижением вышеуказанной цели является оптимизация маршрутной сети городского пассажирского транспорта.

Одним из вариантов решения данной задачи является использование имитационной модели транспортной системы города. Разработанная транспортная модель позволяет оптимизировать маршрутную сеть одновременно по двум критериям эффективности и в дальнейшем может развиваться, дорабатываться и быть использована в качестве ядра для интеллектуальной транспортной системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Global "green" new deal. Policy Brief. March 2009. 29 p. URL: http://www.unep.org/pdf/GGND_Final_Report.pdf Дата обращения 10.06.2015
2. The future we want / United nations URL: 370The_Future_We_Want_10Jan_clean.pdf Дата обращения 10.07.2015
3. Preparation of the Fourth High-level Meeting on Transport, Health and Environment (April 2014) Concept note prepared by Transport, Health and Environment Pan-European Programme secretariat. ECE/AC.21/SC/2012/3 - EUDCE1206040/1.9/SC10/3 - 10 p.
4. Liang Sun. A New Robust Optimization Model for the Vehicle Routing Problem with Stochastic Demands // *Journal of Interdisciplinary Mathematics*. – 2014. – Vol. 17, Iss. 3. – p. 287-309
5. Huang Z.D. A GIS-based framework for bus network optimization using genetic algorithm / Z.D. Huang, X.J. Liu, C.C. Huang and J.W. Shen // *Annals of GIS*. – 2010. – Vol. 16, Iss. 3. – p. 185-194
6. Ulusoy Y.Y. Optimal bus service patterns and frequencies considering transfer demand elasticity with genetic algorithm / Yavuz Y. Ulusoy, Steven I-Jy Chien // *Transportation Planning and Technology*. – 2015. – Vol. 38, Iss. 4. – p. 405-424
7. Данг, Х.Л. Развитие системы городского пассажирского транспорта общего пользования (на примере г. Ханоя, Вьетнам): Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01 / Данг Хай Ле. - М.: МАДИ (ГТУ), 2010. – 20 с.
8. Чжо Мью Хан Планирование расписания и управление движением пассажирского транспорта с использованием моделирующей среды: Дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01. / Чжо Мью Хан. – Москва, 2010. – 111 с.
9. Богомолов, А.А. Оптимизация маршрутов городского пассажирского транспорта в средних городах: Дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / А.А. Богомолов. – Вологда, 2002. – 274 с.
10. Корягин, М.Е. Оптимизация потоков общественного транспорта [Электронные ресурсы] / М.Е. Корягин // *Вопросы современной науки и практики*. – 2008. – №1(11). – Т.2. – С. 70-78. - URL: <http://vernadsky.tstu.ru/pdf/2008/01t/09t.pdf> Дата обращения 20.07.2015.
11. Семенова, О.С. Математическое моделирование в задачах оптимизации движения городского пассажирского транспорта с учетом наложения маршрутных схем: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.18 / О.С. Семенова. – Новокузнецк, 2009. – 148 с.
12. Кулев, А.В. Оптимизация маршрутов городского пассажирского транспорта общего пользования [Текст] / А.В. Кулев, М.В. Кулев, Н.С. Кулева; под общей редакцией А.Н. Новикова // *Информационные технологии и инновации на транспорте*. – Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК». - 2015. - С. 253-259. URL: <http://lib.madi.ru/fel/fel11/fel15B018.pdf> Дата обращения 20.07.2015.
13. Александров, А.Э. Расчет и оптимизация транспортных систем с использованием моделей (теоретические основы, методология): дис. ... д-р техн. наук: 05.22.08. / А.Э. Александров. – Екатеринбург, 2009. – 213 с.
14. Папаскуа, А.А. Совершенствование организации пассажирского автомобильного транспорта в загруженных районах городов: дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10. / А.А. Папаскуа. – Ростов-на-Дону, 2004. – 218 с.
15. Наумова, Н.А. Теоретические основы и методы автоматизированного управления транспортными потоками средствами мезоскопического моделирования: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10. / Н.А. Наумова. – Краснодар, 2015. – 301 с.
16. Зварыч, Е.Б. Разработка и исследование равновесных математических моделей рынка городских транспортных услуг: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.18 / Зварыч Евгений Богданович. - Братск, 2010. – 23 с.
17. Макарова, И.В. Обеспечение надежного и безопасного функционирования транспортной системы города путем интеллектуализации процессов управления [Текст] / И.В. Макарова, Р.Г. Хабибуллин, К.А. Шубенкова, В.А. Мелькова // *Мир транспорта и технологических машин*. - Орел: Госуниверситет-УНПК. - №3(34). - 2011. - С. 63-72.
18. Стюгин, М. Оценка безопасности системы информационного управления Российской Федерации [Электронный ресурс] / М. Стюгин // *ПСИ-ФАКТОР*. - 2006. - URL: <http://psyfactor.org/lib/styugin0.htm>. Дата обращения 28.07.2015
19. Куприянова, А.Б. Оптимизация транспортного обслуживания центра крупного города в условиях приоритета общественного транспорта и системы перехватывающих стоянок: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Куприянова Александра Борисовна. - Иркутск: Иркутский государственный технический университет, 2008. – 19 с.
20. Блатнов, М.Д. Пассажирские автомобильные перевозки [Текст]: учебник / М.Д. Блатнов. - М.: Транспорт, 1981. - 198 с.
21. Володин, Е.П. Организация и планирование перевозок пассажиров автомобильным транспортом [Текст]: учебник / Е.П. Володин, Н.Н. Громов. - М.: Транспорт, 1982. – 198 с.
22. Лобанов, Е.М. Транспортная планировка городов [Текст]: учебник для студентов вузов / Е.М. Лобанов. – М.: Транспорт, 1990. – 240 с.

23. Федоров, С.В. Совершенствование методов проектирования транспортных сетей и маршрутных систем крупных городов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Федоров Сергей Владимирович. - М.: МАДИ, 2011. - 20 с.

24. Гринченко, А.В. Повышение эффективности управления процессами перевозок на городских автобусных маршрутах: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.08. / А.В. Гринченко. - Липецк, 2006. - 203 с.

25. Генеральный план г. Набережные Челны: Материалы по обоснованию проекта. Пояснительная записка, т.3. - Казань: 2009. - 140 с.

Макарова Ирина Викторовна

Казанский (Приволжский) федеральный университет
Адрес: Россия, 423812, г. Набережные Челны, пр.Сююмбике, 10А
Д-р техн. наук, профессор кафедры «Сервис транспортных систем»
E-mail: kamIVM@mail.ru

Хабибуллин Рифат Габдулхакович

Казанский (Приволжский) федеральный университет
Адрес: Россия, 423812, г. Набережные Челны, пр.Сююмбике, 10А
Д-р техн. наук, заведующий кафедрой «Сервис транспортных систем»
E-mail: hrg_kampi@mail.ru

Шубенкова Ксения Андреевна

Казанский (Приволжский) федеральный университет
Адрес: Россия, 423812, г. Набережные Челны, пр.Сююмбике, 10А
Старший преподаватель кафедры «Сервис транспортных систем»
E-mail: ksenia.shubenkova@gmail.com

I.V. MAKAROVA, R.G. KHABIBULLIN, K.A. SHUBENKOVA

**OPTIMIZE ROUTES PASSENGER TRANSPORT BY
TRANSPORT MODEL CITY**

The existing methods of city passenger transport's route network optimization are analyzed in the article and the optimization method based on minimization of the passenger delivery time and the total number of vehicles used on the each route is offered. To evaluate the effectiveness of this solution combined indicator is offered. It is the city transport model developed with the help of the software PTV VISUM used as an optimization tool. The adequacy of the proposed model is confirmed by the high correlation coefficient between the model values and the data on traffic load obtained during field surveys.

Experiment on the model revealed the problem areas of the road network and helped to find the best options for reducing the traffic load on the city road network while maintaining the mobility of the population and improving the quality of its transport services.

Keywords: city passenger transport, route network, transport model, demand model, traffic load

BIBLIOGRAPHY

1. Global "green" new deal. Policy Brief.March 2009. 29 p. URL: http://www.unep.org/pdf/GGND_Final_Report.pdf Data obrashcheniya 10.06.2015
2. The future we want / United nations URL: 370The_Future_We_Want_10Jan_clean.pdf Data obrashcheniya 10.07.2015
3. Preparation of the Fourth High-level Meeting on Transport, Health and Environment (April 2014) Concept note prepared by Transport, Health and Environment Pan-European Programme secretariat. ECE/AC.21/SC/2012/3 - EUDCE1206040/1.9/SC10/3 - 10 p.
4. Liang Sun. A New Robust Optimization Model for the Vehicle Routing Problem with Stochastic Demands // Journal of Interdisciplinary Mathematics. - 2014. - Vol. 17, Iss. 3. - p. 287-309
5. Huang Z.D. A GIS-based framework for bus network optimization using genetic algorithm / Z.D. Huang, X.J. Liu, C.C. Huang i J.W. Shen // Annals of GIS. - 2010. - Vol. 16, Iss. 3. - p. 185-194
6. Ulusoy Y.Y. Optimal bus service patterns and frequencies considering transfer demand elasticity with genetic algorithm / Yavuz Y. Ulusoy, Steven I-Jy Chien // Transportation Planning and Technology . - 2015. - Vol. 38, Iss. 4. - p. 405-424
7. Dang, H.L. Razvitie sistemy gorodskogo passazhirskogo transporta obshchego pol'zovaniya (na prime-re g. Hanoya, V'etnam): Avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.22.01 / Dang Hay Le. - M.: MADI (GTU), 2010. - 20 s.

8. CHzho M`o Han Planirovanie raspisaniya i upravlenie dvizheniem passazhirskogo transporta s is-pol`zovaniem modeliruyushchey sredy: Dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.13.01. / CHzho M`o Han. - Moskva, 2010. - 111 s.
9. Bogomolov, A.A. Optimizatsiya marshrutov gorodskogo passazhirskogo transporta v srednikh gorodakh: Dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.22.10 / A.A. Bogomolov. - Vologda, 2002. - 274 s.
10. Koryagin, M.E. Optimizatsiya potokov obshchestvennogo transporta [Elektronnyye resurs] / M.E. Koryagin // Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. - 2008. - №1(11). - T.2. - S. 70-78. - URL: <http://vernadsky.tstu.ru/pdf/2008/01t/09t.pdf> Data obrashcheniya 20.07.2015.
11. Semenova, O.S. Matematicheskoe modelirovanie v zadachakh optimizatsii dvizheniya gorodskogo passazhirskogo transporta s uchetom nalozheniya marshrutnykh skhem: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.13.18 / O.S. Semenova. - Novokuznetsk, 2009. - 148 s.
12. Kulev, A.V. Optimizatsiya marshrutov gorodskogo passazhirskogo transporta obshchego pol`zovaniya [Tekst] / A.V. Kulev, M.V. Kulev, N.S. Kuleva; pod obshchey redaktsiey A.N. Novikova // Informatsionnyye tekhnologii i innovatsii na transporte. - Orel: FGBOU VPO "Gosuniversitet - UNPK". - 2015. - S. 253-259. URL: <http://lib.madi.ru/fel/fel1/fel15B018.pdf> Data obrashcheniya 20.07.2015.
13. Aleksandrov, A.E. Raschet i optimizatsiya transportnykh sistem s ispol`zovaniem modeley (teoreticheskie osnovy, metodologiya): dis. ... d-r tekhn. nauk: 05.22.08. / A.E. Aleksandrov. - Ekaterinburg, 2009. - 213 s.
14. Papaskua, A.A. Sovershenstvovanie organizatsii passazhirskogo avtomobil'nogo transporta v zagruzhennykh rayonakh gorodov: dis. ... kand. tekhn. nauk : 05.22.10. / A.A. Papaskua. - Rostov-na-Donu, 2004. - 218 s.
15. Naumova, N.A. Teoreticheskie osnovy i metody avtomatizirovannogo upravleniya transportnymi potokami sredstvami mezoskopicheskogo modelirovaniya: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.22.10. / N.A. Naumova. - Krasnodar, 2015. - 301 s.
16. Zvarych, E.B. Razrabotka i issledovanie ravnovesnykh matematicheskikh modeleyrynka gorodskikh transportnykh uslug: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk : 05.13.18 / Zvarych Evgeniy Bogdanovich. - Bratsk, 2010. - 23 s.
17. Makarova, I.V. Obespechenie nadezhnogo i bezopasnogo funktsionirovaniya transportnoy sistemy goroda putem intellektualizatsii protsessov upravleniya [Tekst] / I.V. Makarova, R.G. Habibullin, K.A. Shu-benkova, V.A. Mel`kova // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - Orel: Gosuniversitet-UNPK. - №3(34). - 2011. - S. 63-72.
18. Styugin, M. Otsenka bezopasnosti sistemy informatsionnogo upravleniya Rossiyskoy Federatsii [Elektronnyy resurs] / M. Styugin // PSI-FAKTOR. - 2006. - URL: <http://psyfactor.org/lib/styugin0.htm>. Data obrashcheniya 28.07.2015
19. Kupriyanova, A.B. Optimizatsiya transportnogo obsluzhivaniya tsentra krupnogo goroda v usloviyakh prioriteta obshchestvennogo transporta i sistemy perekhvatyvyayushchikh stoyanok: Avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.22.10 / Kupriyanova Aleksandra Borisovna. - Irkutsk: Irkutskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii uni-versitet, 2008. - 19 s.
20. Blatnov, M.D. Passazhirskie avtomobil`nye perevozki [Tekst]: uchebnyk / M.D. Blatnov. - M.: Transport, 1981. - 198 s.
21. Volodin, E.P. Organizatsiya i planirovanie perevozk passazhirov avtomobil`nym transportom [Tekst]: uchebnyk / E.P. Volodin, N.N. Gromov. - M.: Transport, 1982. - 198 s.
22. Lobanov, E.M. Transportnaya planirovka gorodov [Tekst]: uchebnyk dlya studentov vuzov / E.M. Lobanov. - M.: Transport, 1990. - 240 s.
23. Fedorov, S.V. Sovershenstvovanie metodov proektirovaniya transportnykh setey i marshrutnykh sistem krupnykh gorodov: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.22.10 / Fedorov Sergey Vladimirovich. - M.: MA-DI, 2011. - 20 s.
24. Grinchenko, A.V. Povyshenie effektivnosti upravleniya protsessami perevozk na gorodskikh avtobusnykh marshrutakh: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.22.08. / A.V. Grinchenko. - Lipetsk, 2006. - 203 s.
25. General`nyy plan g. Naberezhnye Chelny: Materialy po obosnovaniyu proekta. Poyasnitel`naya za-piska, t.3. - Kazan`: 2009. - 140 s.

Makarova Irina Viktorovna

Kazan (Volga) Federal University, Kazan
Address: Russia, 423812, Naberezhnye Chelny, pr.Syuyumbike 10A
Dr. Sc. , professor of the department "Service of transport systems"
E-mail: kamIVM@mail.ru

Habibullin Rifat Gabdulhakovich

Kazan (Volga) Federal University, Kazan
Address: Russia, 423812, Naberezhnye Chelny, pr.Syuyumbike 10A
Dr. Sc. Sciences, head of the "Service of transport systems"
E-mail: hrg_kampi@mail.ru

Shubenkova Xenia Andreyevna

Kazan (Volga) Federal University, Kazan
Address: Russia, 423812, Naberezhnye Chelny, pr.Syuyumbike 10A
Senior lecturer in "Service of transport systems"
E-mail: ksenia.shubenkova@gmail.com