
РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНЫХ ВАХТОВЫХ МАРШРУТОВ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА НИЖНЕКАМСКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

**И.В. Макарова, Э.И. Беляев, О.А. Жданова, Е.Д. Иванова, Т.В. Ушкова.
(Набережные Челны)**

Транспортная инфраструктура - одна из важнейших инфраструктур, обеспечивающих жизнь городов и регионов. Поскольку в последние десятилетия во многих крупных городах исчерпаны или близки к исчерпанию возможности экстенсивного развития транспортных систем, особую важность приобретают проблемы их оптимального планирования, совершенствование механизмов организации движения, оптимизация маршрутных сетей общественного транспорта.

Объектом исследования явилась система вахтовых перевозок города Нижнекамска - крупнейшего в России центра нефтехимической промышленности. В городе действуют нефтеперерабатывающие заводы, заводы по производству химической продукции, в том числе, каучуков, смол, углерода и многих других химических соединений. Кроме того, в городе размещены предприятия пищевой промышленности и по производству строительных материалов [1].

На данный момент в городе Нижнекамск функционируют 7 трамвайных, 14 городских и 10 пригородных автобусных маршрутов, 13 автобусных спецмаршрутов в промышленную зону. В городе действует единственное автотранспортное предприятие - «НПАТП», которое осуществляет городские пассажирские автобусные перевозки, а также вахтовые перевозки. Как показал анализ существующей на сегодняшний день вахтовой маршрутной сети, ее расписание и маршруты не оптимальны. Об этом свидетельствует перерасход ГСМ, а также частые сбои в расписании большинства рейсов в связи со сложной ситуацией на участках дорог в период повышенной интенсивности движения.

Для оптимизации функционирования вахтовых маршрутов на территории города Нижнекамск была разработана имитационная модель вахтовой сети. Для построения модели маршрутов применялся программный продукт PTV Vision VISUM [2], который используется для моделирования транспортных потоков, транспортного планирования и оптимизации общественного транспорта: в городах, регионах, мегаполисах. Преимущества данного пакета состоит в том, что VISUM интегрирует всех участников движения в единую математическую транспортную модель.

На начальном этапе для определения оптимальных маршрутов была построена матрица корреспонденций [3]. Данные матрицы являются важнейшей информацией, которая характеризует распределение транспортных потоков на территории города. В матрице вершинами графа являются остановки города Нижнекамска в жилых районах, а ребра – это показатели оптимальности для построения маршрутов. Для построения матрицы были определены места расположения остановок, с которых вахты будут забирать работников и параметры, по которым будет рассчитываться оптимальный маршрут. Определение местонахождения остановок выполнялись с соблюдением следующих принципов:

1. Остановки должны находиться на менее загруженных участках дорог, это необходимо для уменьшения временных затрат на осуществления посадки-высадки пассажиров;

2. Остановки должны находиться в местах с высоким пассажиропотоком. Таким образом, было определено местонахождение 14 остановок, которые соответствуют вышеперечисленным принципам. Остановки отмечены на рисунке 1.

Одним из основных параметров модели является интенсивность движения на участках. Данный параметр был рассчитан на основе результатов натурных исследований. Учёт интенсивности потока на автомобильных дорогах выполнялся с автоматизированных пунктов с помощью автоматических средств регистрации движения [4]. Интенсивность на участках была рассчитана относительно максимальной интенсивности, которая принималась равной 100% [5].

В качестве второго параметра принималось время, затраченное на проезд данного участка, которое рассчитывается следующим образом:

$$t = \frac{S}{v},$$

где S – расстояние от одной остановки до другой,

v – максимальная разрешенная скорость движения на данном участке дороге.

Третий параметр - затраты на ГСМ, в основе которого лежит средний расход топлива транспортными средствами рассматриваемого транспортного предприятия и расстояния между остановками на участке.

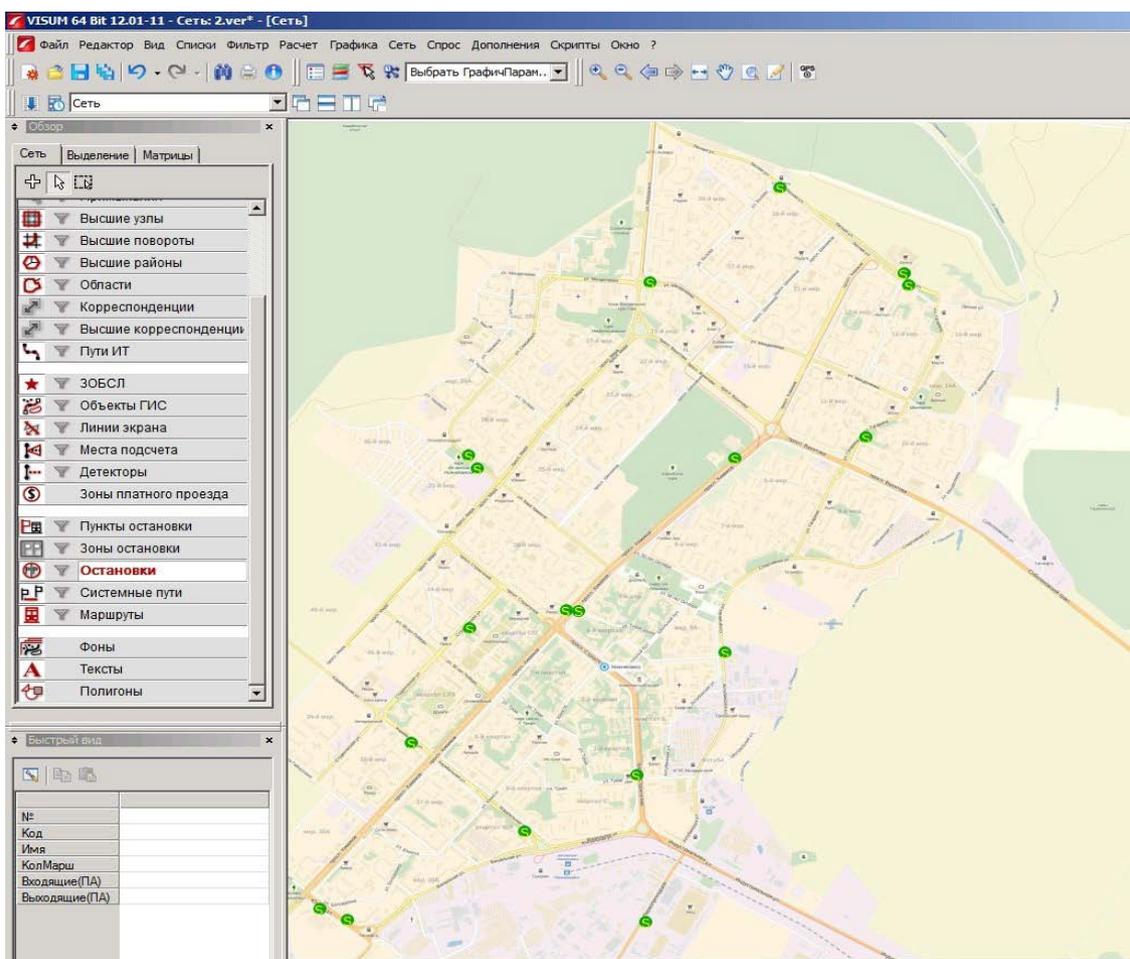


Рис. 1. Выделение остановок на карте Нижнекамска в программном продукте VISUM

Для каждого отдельно взятого критерия были построены матрицы корреспонденций, которые затем объединялись в общую матрицу корреспонденций.

Главным критерием оптимизации является минимизация времени доставки работников до предприятий при условии максимального количества пройденных остановок. Как показывают результаты обследования, время доставки пассажиров - это основной фактор, определяющий оптимальность маршрута. Другие факторы являются корректирующими и количественно выражаются в условных минутах, добавляемых ко времени передвижения. Поэтому путь между двумя точками сети, имеющий минимальную обобщенную цену среди всех возможных путей, часто для простоты называют кратчайшим путем [6, 7].

С учетом данного критерия была построена матрица корреспонденций, отображенная в таблице 1. Здесь буквой «М» обозначено расстояние от остановки до самой себя. В обозначениях также используется знак бесконечности, который показывает условное расстояние между остановками, которые никак не связаны между собой. Это позволяет принять длину данного отрезка пути в качестве условно бесконечно длинного.

С помощью оптимизационного аппарата VISUM была создана новая матрица корреспонденции, после анализа которой, были сформированы новые маршруты.

Остановки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	М	42	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	54	42	55
2	42	М	57	∞	∞	∞	∞	78	∞	∞	∞	∞	78	90
3	∞	54	М	36	96	108	∞	42	∞	∞	∞	∞	∞	∞
4	∞	∞	34	М	18	60	∞	72	∞	∞	∞	∞	∞	∞
5	∞	∞	98	20	М	54	∞	72	∞	∞	∞	∞	∞	∞
6	∞	∞	106	61	54	М	60	78	∞	∞	∞	∞	∞	∞
7	∞	∞	∞	∞	∞	58	М	120	102	54	∞	∞	∞	∞
8	∞	79	42	75	76	80	118	М	84	∞	∞	∞	∞	∞
9	∞	∞	∞	∞	∞	∞	97	87	М	42	66	∞	∞	60
10	∞	∞	∞	∞	∞	∞	55	∞	43	М	42	∞	∞	90
11	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	70	45	М	78	78	114
12	55	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	80	М	42	∞
13	43	77	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	76	44	М	60
14	54	87	∞	∞	∞	∞	∞	∞	61	87	112	∞	60	М

Таблица 1. Матрица корреспонденций

Новая матрица корреспонденций приведена в таблице 2. В данной матрице 1-параметр оптимальности маршрута, 0 – параметр, свидетельствующий о не оптимальности движения к следующей остановке. Так как в матрице используется переменная времени, то расписание определяется в зависимости от суммы затраченного времени между остановками всего маршрута.

Остановки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
8	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1
14	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0

Таблица 2. Новая матрица корреспонденций

Полученная матрица, позволила оптимизировать маршрутную сеть. Сравнение полученного варианта с имеющимся показывает, что оптимизированный вариант отвечает необходимым критериям: маршруты проходят через требуемые остановки города Нижнекамска, при этом затрачивается минимальное количество временных и материальных ресурсов на дорогу. Новая маршрутная сеть приведена на рисунке 2.

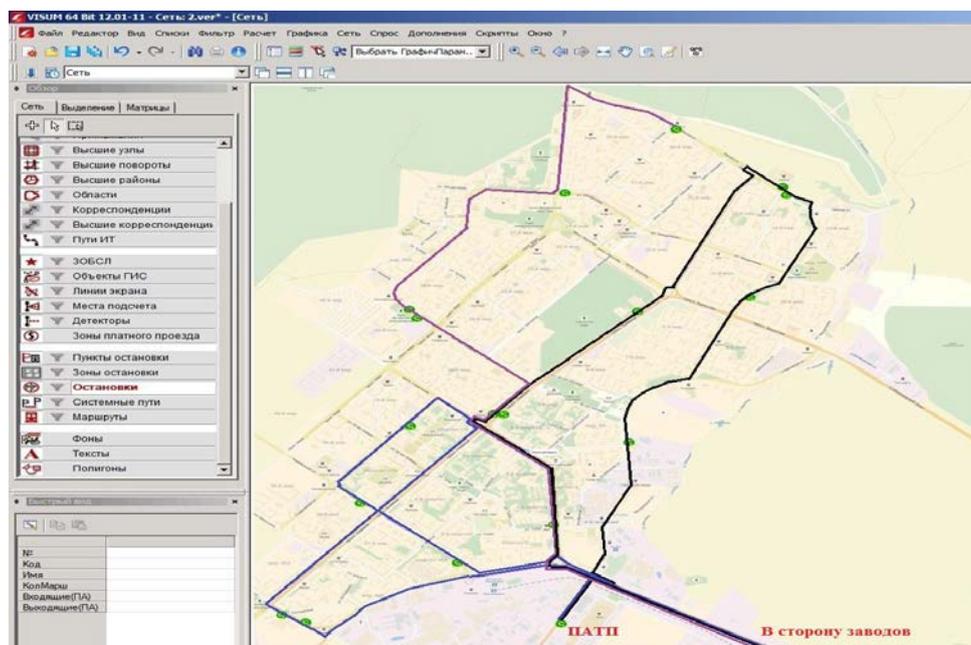


Рис. 2. Полученные оптимальные маршруты

В таблице 3 приведено сравнение характеристик исходного и оптимизированного вариантов вахтовых маршрутов.

Показатели	Начальный вариант	Конечный (полученный) вариант	Абсолютная величина отклонения (+/-)
Количество маршрутов	2	3	+1
Средняя длина одного рейса, км	17	12	-5
Среднее количество остановок одного рейса	8	5	-3
Общее время одного рейса, мин	50	30	-20
Рейсы, выходящие за рамки требуемого времени, %	40	5	-35
Перерасход ГСМ, %	60	10	-50
Вероятность ДТП, %	37	11	-26

Таблица 3. Показатели начальных и конечных маршрутов

Как следует из таблицы 3, поскольку маршруты станут укороченными, то снизится вероятность нарушения графика движения. Это положительно скажется на здоровье работников, которым не придется подолгу ждать автобуса на остановках. Уменьшение протяженности совпадающих участков для разных маршрутов снизит нагрузку на улично-дорожную сеть города, что приведет к снижению вероятности ДТП. Кроме того, снижение вероятности движения автобусов в условиях «заторовой ситуации» на дорогах, приводящих к работе двигателя в неоптимальных режимах, снизит расход топлива и уменьшит негативное воздействие на окружающую среду.

Выводы

Таким образом, полученная путем моделирования маршрутная сеть, удовлетворяя всем вышеуказанным критериям, является более рациональной по ряду факторов. Внедрение предложенного варианта вахтовых перевозок в г. Нижнекамске позволит не только повысить эффективность и устойчивость системы общественного транспорта, но и будет иметь положительные экологический и социальный эффекты.

Литература

1. Промышленность Нижнекамска URL: <http://www.wiki-prom.ru/city/219city.html>. Дата обращения 5.08.15
2. Visum: [Электронный ресурс] // PTV PARTNER. URL: <http://www.ptv-vision.ru/produkty/visum>. (Дата обращения 19.04.2015).
3. Методика построения матрицы корреспонденций URL: http://nctmp.ru/Postnov-Metodika_postroeniya_matritsy_korrespondentsiy_novykh_planiruemykh_rayonov.pdf

- f. Дата обращения 12.08.15
4. Irina Makarova, Rifat Khabibullin, Eduard Belyaev and Vadim Mavrin Increase of City Transport System Management Efficiency with Application of Modeling Methods and Data Intellectual Analysis // Intelligent Transportation Systems – Problems and Perspectives, Springer International Publishing AG Switzerland is part of Springer Science+Business Media. 2015, P. 37-80
 5. Методика определения интенсивности движения по результатам краткосрочных наблюдений URL: <http://www.dissercat.com/content/metodika-opredeleniya-intensivnosti-dvizheniya-po-rezultatam-kratkosrochnykh-nablyudenii>. Дата обращения 4.08.15
 6. Введение в математическое моделирование транспортных потоков, А.В. Гасникова – Москва: Мир, 2010.
 7. Имитационное моделирование URL: Имитационное моделирование систем, В.П. Строгалева, И.О. Толкачева – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2008. <http://www.anylogic.ru/use-of-simulation>. Дата обращения 14.08.15