

УДК 656.072.53

Ощепкова Елена Александровна, старший преподаватель
(КузГТУ, г. Кемерово)
Oshepkova Elena, educator
(KuzSTU, Kemerovo)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАВИГАЦИОННЫХ ДАННЫХ МАРШРУТНЫХ АВТОБУСОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОГНОЗНОГО ВРЕМЕНИ ПРИБЫТИЯ НА ОСТАНОВОЧНЫЕ ПУНКТЫ ГОРОДА

USING THE NAVIGATION DATA BUSES TO DETERMINE THE FORECAST ARRIVAL TIME AT THE STOPPING POINTS OF THE CITY

На пассажирском транспорте использование навигационных систем связано с комплексными технологическими решениями, основанными на планировании транспортной работы (построение маршрутной сети, расчет расписания, формирование суточных нарядов), автоматическом мониторинге движения транспортных средств и оперативном диспетчерском управлении, получении выходных форм о работе подвижного состава.

Выделяют следующие основные технологические составляющие автоматизированной диспетчерской системы (АСДУ) на базе спутниковой навигации (рис.1):

- средства получения навигационных отметок;
- средства фиксации и хранения навигационных отметок на борту ПЕ;
- средства передачи данных с борта ПЕ в диспетчерские пункты;
- программно-технические средства обработки информации.

Но все технологические решения, связанные с оперативным диспетчерским управлением, реализуются только *после* обнаружения отклонения от расписания в системе, следовательно, эти решения являются *заведомо отстающими* по своей природе. В целях повышения эффективности работы АСДУ-РН предлагается использовать *превентивный* подход к управлению перевозками, который может позволить диспетчеру осуществить профилактические стратегии *до* фактического возникновения отклонения. Этот инновационный подход требует создания, и использования модели времени прибытия подвижной единицы на остановочные пункты города [1].

Актуальность данной темы обусловлена с одной стороны повышением транспортного обслуживания за счет повышения информативности о работе транспорта внутригородского и пригородного сообщения, повышения оперативности информирования о задержках рейса, вызванных дорож-

ной ситуацией, а с другой стороны увеличением приоритета развития городского общественного транспорта.



Рисунок 1 – Система управления ГПТ на основе данных GLONASS

Данные, используемые для работы, были собраны на автобусном маршруте № 81 г. Кемерово в феврале 2015 г. Протяженность рейса в направлении Вокзала составляет 12,8 км. Маршрут начинается на остановочном пункте «д/п Комсомольский» и заканчивается на остановочном пункте «д/п Вокзал», соединяя такие районы, как Центральный и Ленинский. В период обследования собирались данные с четырех автобусов на маршруте. Каждый раз, когда автобус останавливался, его местоположение регистрировалось с использованием спутниковой системы. Для расчета моделирования времени движения автобуса взяли все остановки маршрута. Протяжённость перегонов между остановочными пунктами сведена в таблицу (Рисунок 2.).

Система прогнозного моделирования состоит из алгоритма, который базируется на методе, использующем фильтр Калмана. Для прогнозирования продолжительности движения транспортных средств по конкретному перегону в текущий момент времени $k+1$ используется *Алгоритм прогноза продолжительности движения по перегону*, использующий накопленные данные о продолжительности движения транспортных средств по этому перегону за три предыдущие дня в этот же момент прогнозирования $k+1$, а так же данные о продолжительности движения по перегону предыдущего транспортного средства в этот же день в предыдущий момент времени k .

Прямое направление		Наименование остановочного пункта	Обратное направление	
Расстояние между ОП	Расстояние от начального пункта		Расстояние между ОП	Расстояние от начального пункта
		Д/Д Комсомольский	0,1	12,1
0,2	0,2	пр. Комсомольский	0,6	12,0
0,6	0,8	Гаражи	0,6	11,4
0,6	1,4	Проспект	0,9	10,8
0,9	2,3	Променад-2	0,4	9,9
0,5	2,8	Стоматология	0,4	9,5
0,6	3,4	Поликлиника №12	0,6	9,1
0,5	3,9	Сельскохозяйственный	0,4	8,5
0,4	4,3	КемТИПП	0,4	8,1
0,3	4,6	Магазин №1	0,5	7,7
0,3	4,9	ТУЛР	0,4	7,2
0,5	5,4	Магазин Богатырь	0,4	6,8
0,6	6,0	Бульвар Строителей	0,3	6,4
0,4	6,4	СКБ Банк	0,5	6,1
0,6	7,0	Универсам №2	0,7	5,6
0,4	7,4	Поликлиника №5	0,4	4,9
0,4	7,8	Энергосбыт	0,2	4,5
0,5	8,3	Киноцентр Юбилейный	0,3	4,3
0,4	8,7	Универмаг	0,4	4,0
0,4	9,1	Фабричная	0,4	3,6
0,4	9,5	Стомат. кл. ф. «Улыбка»	0,6	3,2
0,5	10,0	Цирк	0,9	2,6
0,8	10,8	Искитимский мост	0,4	1,7
0,8	11,6	Швейная фабрика	1,3	1,3
1,2	12,8	Ж/Д вокзал		

Рисунок 2 – Протяженность перегонов на маршруте

Для лучшего понимания структуры моделирования прогнозирования показана схема гипотетического автобусного маршрута (рис.3). Маршрут разделён на множество перегонов между остановочными пунктами. Когда автобус n покидает остановочный пункт i , то фактическое время отъезда становится известным благодаря системе GLONASS. В этот момент алгоритм расчёта продолжительности движения по перегону на основе фильтра Калмана спрогнозирует продолжительность движения по следующему перегону $RT_{n(i, i+1)}$. Впоследствии, может быть определено прогнозируемое время прибытия автобуса на следующий остановочный пункт $i+1$.



Рисунок 3 – Схема автобусного маршрута с несколькими остановками

Предположим, что транспортное средство n проходит в настоящий момент через виртуальную отметку i , тогда:

$$AT_{n(i+1)} = DT_{n(i)} + RT_{n(i,i+1)} \quad (1)$$

где, $AT_{n(i+1)}$ – прогнозируемое время прибытия транспортного средства n на виртуальную отметку $i+1$;

$RT_{n(i,i+1)}$ – прогнозируемая продолжительность времени движения между отметками i и $i+1$, рассчитанная с помощью алгоритма на основе фильтра Калмана ;

$DT_{n(i)}$ – фактическое время отъезда транспортного средства n от виртуальной отметки i .

Фильтром Калмана является линейный рекурсивный прогнозирующий алгоритм, обычно применяющийся для оценки параметров моделей каких-либо процессов. Начиная с первичной оценки, фильтр Калмана позволяет параметрам модели быть предсказуемыми и откорректированными после каждого нового измерения. Его способность учитывать влияния «шума» как собственно процесса, так и «шума» измерений, в дополнение к его вычислительной простоте, сделали его очень популярным во многих областях исследований и применений, особенно в области как автономных (статических), так и корректируемых (динамических) навигационных систем [2].

Главное предположение, используемое в фильтре Калмана – это то, что значения продолжительности движения по перегону являются *циклическими* для определённого периода смены. Другими словами, знания времени движения по перегону в некоторый период времени позволяют прогнозировать эти переменные для следующего транспортного средства в течение того же самого периода, пока условия движения и спрос остаются устойчивыми (неизменными). Когда происходит изменение *внешних* условий, то модель может учесть эффект новых условий на прогноз, пока новые условия сохраняются в течение достаточного отрезка времени (не менее величины одного интервала).

Алгоритм на основе фильтра Калмана концептуально работает следующим образом. Для прогноза продолжительности движения по перегону в момент времени $k+1$ используются последние из трёхдневных данных о фактической продолжительности движения по конкретному перегону в момент времени $k+1$ и последняя измеренная по предыдущему транспортному средству продолжительность движения по перегону в момент времени k в текущий день.

Алгоритм на основе фильтра Калмана для определения продолжительности движения по перегону имеет следующую структуру:

$$g(k+1) = \frac{e(k) + \text{VAR}[data_{out}]}{\text{VAR}[data_{in}] + \text{VAR}[data_{out}] + e(k)} \quad (2)$$

$$a(k+1) = 1 - g(k+1) \quad (3)$$

$$e(k+1) = \text{VAR}[data_{in}] * g(k+1) \quad (4)$$

$$P(k+1) = a(k+1) * art(k) + g(k+1) * art_1(k+1) \quad (5)$$

где, g – приращение фильтра;

a – приращение цикла;

e – ошибка фильтра;

P – прогноз;

$art(k)$ – фактическая продолжительность движения по перегону предыдущего транспортного средства в момент времени (k);

$art_1(k+1)$ – фактическая продолжительность движения по перегону в предыдущий день в момент времени ($k+1$);

$\text{VAR}[data_{out}]$ – дисперсия прогноза;

$\text{VAR}[data_{in}]$ – дисперсия за три предыдущих дня “ $art_3(k+1)$, $art_2(k+1)$ и $art_1(k+1)$ ”.

Чтобы оценить прогнозирующую работу модели фильтра Калмана, она должна быть сравнена с фактическим временем прибытия подвижной единицы на остановочный пункт по данным системы GLONASS (табл. 1).

Таблица 1. Фрагмент таблицы «Время прибытие автобуса на остановочный пункт»

Дата	09.02.2015	10.02.2015	11.02.2015	12.02.2015	13.02.2015
Ост. пункты					
Д/П Комсомольский	10:41:11	10:40:46	10:42:00	10:41:33	10:41:48
Гаражи	10:44:11	10:44:16	10:44:30	10:43:03	10:44:18
Пр-т Комсомольский	10:48:11	10:48:16	10:47:30	10:45:33	10:47:48
Храм Святой Троицы	10:51:11	10:51:46	10:50:00	10:48:03	10:51:18
Променад-2	10:54:11	10:54:16	10:52:00	10:50:03	10:53:48
Стоматология	10:56:41	10:56:46	10:54:30	10:52:33	10:56:18
Поликлиника №12	10:58:41	10:58:16	10:55:30	10:55:03	10:57:48

Таким образом, используя модель прогноза прибытия, представляется возможным рассчитать, приедет ли автобус раньше или позже на остановочный пункт.

Таблица 2. Фрагмент таблицы «Прогнозируемое время перегона»

Остановочные пункты	$g(k+1)$	$a(k+1)$	$e(k+1)$	$P(k+1)$
д/п Комсомольский				
Гаражи	0,999883	0,000117	2E-07	0:02:30
Проспект Комсомольский	0,999931	6,94E-05	2E-07	0:03:30
Храм Святой Троицы	0,999942	5,79E-05	1E-07	0:03:30
Променад-2	0,999959	4,05E-05	7E-08	0:02:30
Стоматология	1	0	2E-31	0:02:30
Поликлиника №12	0,999894	0,000106	1E-07	0:01:30
Сельскохоз. институт	0,999975	2,45E-05	3E-08	0:01:30

На Рисунок 4 изображен сравнительный график «План-Факт-Прогноз» прибытия автобусов на остановочные пункты маршрута. Как мы можем наблюдать, графически подтверждается точность определения прогнозного времени прибытия посредством расчетов Алгоритмом Калмана.

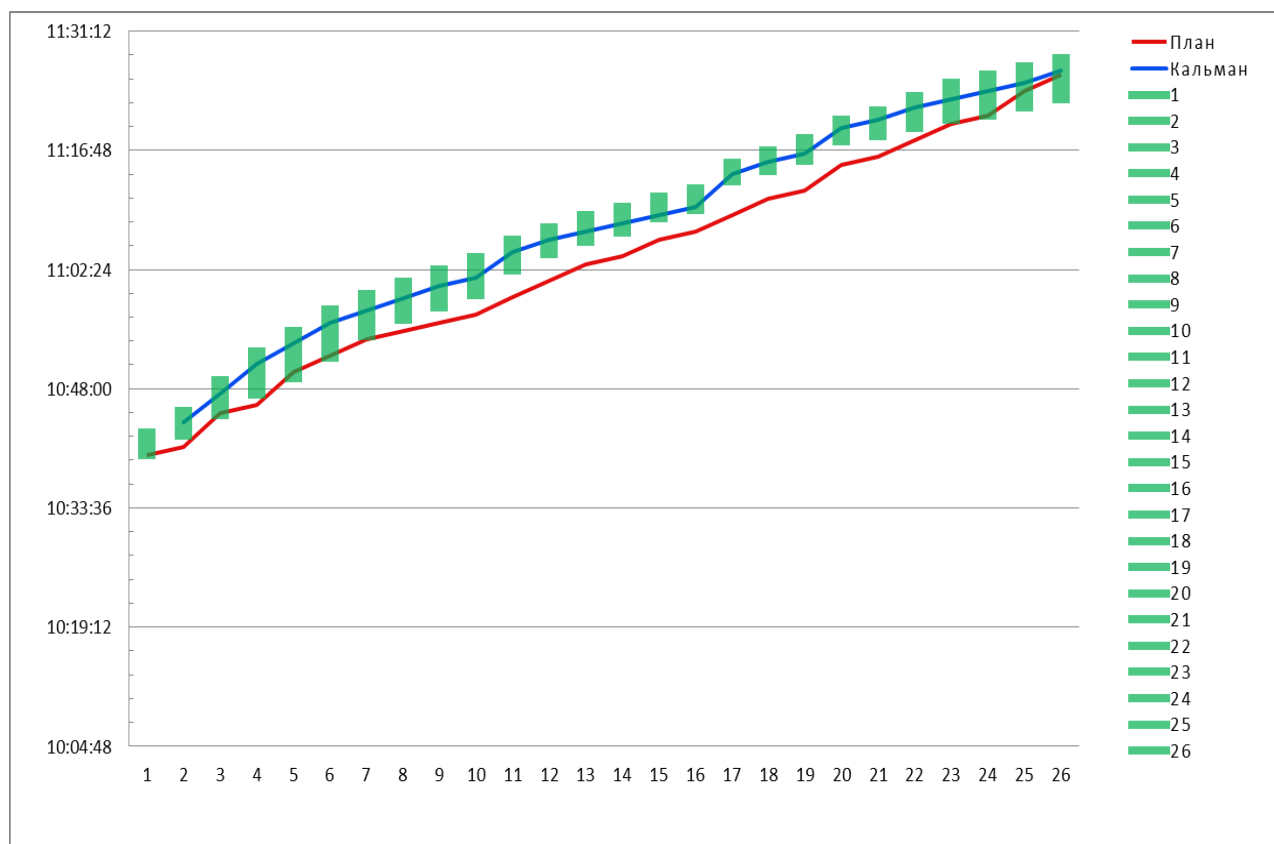


Рисунок 4 – Сравнительный график «План-Факт-Прогноз»

Список литературы

1. Ощепкова Е.А. Расчет прогнозного времени прибытия подвижных единиц городского пассажирского транспорта на остановочные пункты города / Е.А. Ощепкова // Материалы XIV Международной научно-практической конференции «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. СИБРЕСУРС 2012» - 2012, с. 144-149.
2. Farhan, A., A. Shalaby, and T. Sayed. 2002. Bus travel time prediction using GPS and APC. ASCE 7th International Conference on Applications of Advanced Technology in Transportation, Cambridge, Massachusetts (August).
3. Farhan, Ali. Bus arrival time prediction for dynamic operations control and passenger information systems. 2002. Unpublished Thesis of Masters of Applied Science, Department of Civil Engineering, University of Toronto.
4. Maybeck, Peter S. 1979. *Stochastic models, estimation and control*. Vol. 1, Academic Press.