

DOI: 10.12731/2227-930X-2018-3-9-23**УДК 519.688**

**РЕАЛИЗАЦИЯ ФИЛЬТРА КАЛМАНА
ПРИ ОБРАБОТКЕ ДАННЫХ ОТ ДАТЧИКА УРОВНЯ
ТОПЛИВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ
ИНФОРМАЦИИ ОТ НАВИГАЦИОННО-СВЯЗНОГО
ТЕРМИНАЛА**

*Алексеев Н.Ю., Кудрявцев А.А.,
Асмолов Г.И., Лобов О.П.*

Все измерительные приборы обладают некоторой погрешностью, составляющими которой могут быть внешние и внутренние воздействия. Это приводит к тому, что информация, считываемая с измерительных устройств, оказывается искаженной. Чем сильнее зашумлены данные, тем сложнее их обрабатывать. Одной из задач мониторинга параметров работы транспортных средств является измерение уровня топлива в баке, определение заправок и сливов, а также расчет расхода топлива. В данной статье рассматриваются данные от датчика уровня топлива с последующей обработкой этих данных.

***Цель** – получение достоверных значений уровня топлива в баке транспортных средств с использованием фильтра Калмана.*

***Метод или методология проведения исследования:** в статье предложен метод фильтрации данных уровня топлива, подразумевающий использование данных от датчика топлива и дополнительной информации от навигационно-связного терминала.*

***Результаты:** получены отфильтрованные значения уровня топлива в баке транспортных средств.*

***Область применения результатов:** полученные результаты целесообразно применять в автотранспортных предприятиях для контроля расхода топлива транспортных средств.*

***Ключевые слова:** фильтр Калмана; уровень топлива; датчик уровня топлива.*

IMPLEMENTATION OF THE KALMAN FILTER FOR DATA PROCESSING FROM THE FUEL LEVEL SENSOR WITH THE USE OF ADDITIONAL INFORMATION FROM THE NAVIGATION COMMUNICATION TERMINAL

*Alekseev N. Yu., Kudryavtsev A. A.,
Asmolov G. I., Lobov O. P.*

All measuring instruments have a certain error, the components of which can be external and internal effects. This leads to the fact that the information read from the measuring devices is highly distorted. The noisier the data, the more difficult it is to rely on it. One of the tasks of monitoring vehicles is to measure the fuel level in the tank, determine fueling and discharges, and calculate fuel consumption. In this article, we'll look at the data from the fuel level sensor and then process it to remove the noise.

Purpose: *the goal is to obtain reliable fuel level values in the tank of vehicles using the Kalman filter.*

Methodology *in the article proposes a method for filtering fuel level data, which implies the use of data from fuel sensors and additional information from navigation and communication terminals.*

Results: *the most accurate values of fuel level in the tank of vehicles are obtained.*

Practical implications: *it is advisable to use the results obtained in motor transport enterprises to control the fuel consumption of vehicles.*

Keywords: *Kalman filter; fuel level; fuel level sensor.*

Введение

На сегодняшний день на территории Российской Федерации используются различные системы мониторинга транспорта, позволяющие эффективно управлять автотранспортным предприятием и контролировать расход топлива транспортными средствами.

Контроль уровня топлива в баке является важным аспектом контроля параметров работы транспортных средств, так как при выявлении резервов экономии топлива получаемый экономический эффект позволяет окупить затраты на покупку и эксплуата-

цию соответствующей системы мониторинга от 5-ти месяцев, и выйти предприятию на иной уровень рентабельности.

Материалы и методы

Расход топлива в баке транспортных средств можно контролировать несколькими методами.

1. Расчетный метод учета расхода топлива на транспортных средствах.

Данный способ является самым дешевым и простым. Он не требует никакого вмешательства в топливную систему. Для реализации расчетного метода используется программное обеспечение, в которое вносятся значения нормативного расхода топлива для конкретного транспортного средства, оборудованного навигационно-связным терминалом (например, 30 литров на 100 км). Информация о фактическом пробеге транспортного средства рассчитывается навигационно-связным терминалом по данным спутниковой навигации и передаются на сервер в соответствующее программное обеспечение.

В программном обеспечении производится простое умножение нормативного расхода топлива на пробег. Таким образом, производится расчет расхода топлива за заданный период времени.

Несмотря на простоту данный метод точнее на 5-10 % аналогичного расчета, проведенного на основе данных о пробеге со штатного одометра транспортного средства, за счет более точного определения пробега.

Однако, необходимо отметить, что описанный расчетный метод не позволяет контролировать место, время и величину заправок и сливов.

2. Метод, подразумевающий использование дополнительных датчиков топлива.

Существует возможность использования нескольких типов датчиков топлива на транспортном средстве:

- Штатный датчик уровня топлива
- Емкостной датчик уровня топлива

- Ультразвуковой датчик уровня топлива
- Датчик расхода топлива

Штатный датчик топлива

Использование штатного датчика топлива является наиболее дешевым способом контроля топлива на транспортных средствах. Использование штатного датчика топлива не требует никакого вмешательства в топливную систему транспортного средства. При этом подразумевается, что штатный датчик топлива подключается к навигационно-связному терминалу, отправляющему телематические данные на сервер, в том числе данные об уровне топлива в баке транспортного средства. Однако, погрешность измерения при использовании штатного датчика топлива достаточно велика: для отечественных производителей транспортных средств с механическими поплавковыми датчиками погрешность составляет от 15% до 25%, для иностранных производителей транспортных средств от 7% до 15%. Минусом штатного датчика топлива является то, что по мере эксплуатации точность измерения существенно ухудшается.

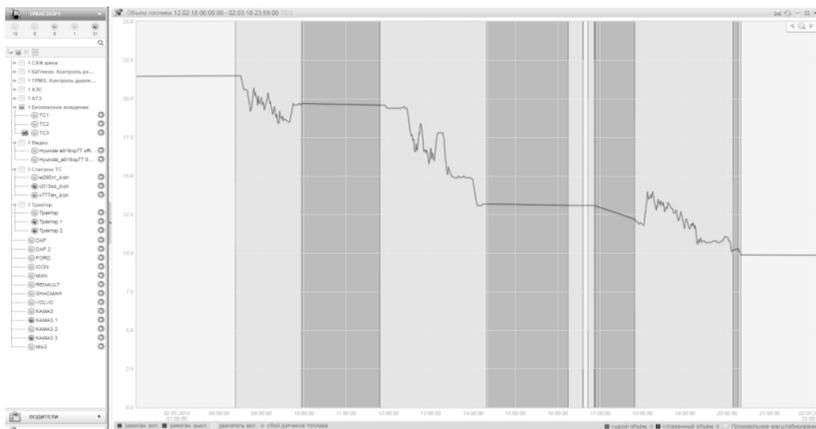


Рис. 1. Показания работы штатного датчика топлива

Также, существует возможность подключения навигационно-связного терминала к CAN-шине транспортного средства, из кото-

рой можно получать информацию от многочисленных датчиков, в том числе уровня топлива.

Таким образом, подключение штатного датчика топлива к навигационно-связному терминалу позволяет с определенной точностью контролировать расход топлива и определять факт, а именно, место и время заливок или сливов.

Емкостной датчик уровня топлива

Емкостной датчик уровня топлива представляет собой длинный конденсатор переменной емкости, погруженный в бак. Его емкость, а соответственно и уровень выходного сигнала меняются в зависимости от того, какая часть датчика погружена в топливо. О точности емкостного датчика можно судить по количеству точек измерения: у современных датчиков диапазон измерения составляет до 4000 значений, что составляет шаг шкалы в 75 мл. для бака в 300 л.

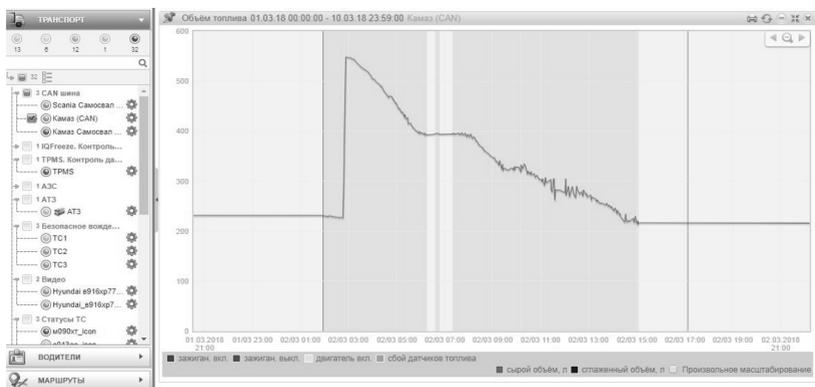


Рис. 2. Показания работы емкостного датчика уровня топлива

Несмотря на это, во время движения с учетом колебаний уровня, связанных с наклоном транспортного средства, его разгоном, торможением, в мониторинговом программном обеспечении можно наблюдать многочисленные всплески, затрудняющие определение точного значения уровня топлива. По этой причине в серверном программном обеспечении контроля топлива, также, как и в

случае со штатным датчиком, необходимо использовать специальные математические алгоритмы обработки данных.

Ультразвуковой датчик уровня топлива

Ультразвуковой датчик уровня топлива работает по следующему принципу: излучатель направляет сигнал, который отражается от границы топлива и возвращается обратно. В настоящее время применяются два метода ультразвукового контроля уровня топлива:

- Ультразвуковой излучатель монтируется в верхнюю часть бака. Сигнал поступает сверху до границы с топливом, отражается от него и возвращается обратно.
- Ультразвуковой излучатель крепится под дном бака, снаружи и излучает сквозь дно бака.

Из минусов данных двух методов установки следует отметить необходимость профилактической чистки излучателя. Что касается второго метода, то несомненным плюсом является отсутствие необходимости проведения монтажных работ со сверлением бака и возможность измерения уровня не только дизельного топлива, но и бензина и других жидкостей.

Минусом работы ультразвукового датчика уровня топлива является сильная зависимость от состояния внутренней поверхности бака. Если поверхность бака гладкая, то датчик будет выдавать верные значения. Если поверхность шероховатая, то ультразвуковой сигнал будет рассеиваться на поверхности.

Датчик расхода топлива (расходомер)

Существует группа транспортных средств, которые характеризуются относительно высоким расходом топлива и одновременно малым перемещением по местности, (например – экскаваторы, бульдозеры, погрузчики). Также существует еще одна группа транспортных средств, имеющих независимый от скорости расход топлива (например – дизель-генератор, дополнительный двигатель миксера бетономешалки или рефрижератора). В таких случаях для контроля топлива используются датчики расхода топлива.

В отличие от датчика уровня топлива, устанавливаемого непосредственно в бак, данные датчики устанавливаются в разрыве топливной системы и показывают не уровень топлива, а количество израсходованного топлива. Для точного измерения расхода дизельного топлива необходима установка двух датчиков (или одного двухканального) на подачу топлива и на его обратное движение в бак. Датчики расхода топлива конструктивно содержат пластмассовые или металлические шестерни, которые вращаются под воздействием набегающего потока топлива. Датчики необходимо периодически очищать, чтобы точность измерения не менялась со временем, и сам датчик не оказывал влияния на мощность двигателя. Перед датчиками расхода дополнительно рекомендуется ставить фильтр тонкой очистки, увеличивающий периоды межсервисного обслуживания датчика. Датчики расхода топлива могут точно измерять мгновенный расход топлива и расход за период, но не могут отображать место, время и объем заправок или сливов.

Из всего вышеперечисленного можно сделать вывод, что не существует датчиков, которые выдают достоверные значения, которые сразу можно брать в расчет без предварительной обработки в части фильтрации выбросов и оценки достоверности полученных данных. Авторы предлагают подход к решению задачи определения расхода топлива с использованием емкостного датчика уровня топлива, первичные данные от которого фильтруются с использованием фильтра Калмана.

Фильтр Калмана – эффективный фильтр, оценивающий вектор состояния динамической системы, используя ряд неполных и зашумленных измерений.

Фильтр Калмана предназначен для обработки данных, который устраняет шумы и погрешности. В фильтре Калмана существует возможность задать априорную информацию о характере системы, связи переменных, на основании которых можно получать более точные данные.

Ниже представлен математический аппарат фильтра Калмана.

Предсказание

1. Предсказание состояния системы

$$\hat{x}_k = F\hat{x}_{k-1} + Bu_{k-1} \quad (1)$$

2. Предсказание ошибки ковариации

$$P_k = FP_{k-1}F^T + Q \quad (2)$$

где,

\hat{x}_k – предсказание состояния системы в текущий момент времени

\hat{x}_{k-1} – состояние системы в прошлый момент времени

F – матрица перехода между состояниями (динамическая модель системы)

B – матрица применения управляющего воздействия

u_{k-1} – управляющее воздействие в прошлый момент времени

Q – матрица ковариации шума процесса

P_k – предсказание ошибки

P_{k-1} – ошибка в прошлый момент времени

Корректировка

1. Вычисление усиления Калмана (Kalman Gain)

$$HP_kH^T + R \quad (3)$$

$$K_k = P_kH^T$$

2. Обновление оценки с учетом измерения

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k + K_k(z_k - H\hat{x}_k) \quad (4)$$

3. Обновление ошибки ковариации

$$P_k = (I - K_kH)P_k \quad (5)$$

где,

K_k – усиление Калмана (Kalman Gain)

H – матрица изменений отображающая отношение измерений и состояний

R – ковариация шума измерения

I – матрица идентичности

z_k – измерение в текущий момент времени

В данной работе авторы предполагают, что использование дополнительной информации от навигационного оборудования,

установленного на транспортных средствах, позволит значительно повысить точность определения фактического объема топлива в баке в каждый момент времени.

Параметры, характеризующие движение транспортного средства, получаемые с помощью навигационного оборудования, представлены ниже:

1. **Дата и время** – дата и время совершения событий
2. **Зажигание** – состояние зажигания в определенный момент времени (включено или выключено).
3. **Координаты**, (градусы) – координаты (широта и долгота) местонахождения транспортного средства в указанный момент времени.
4. **Высота**, (м) – высота нахождения ТС над уровнем моря.
5. **Пробег**, (км) – путь, пройденный ТС с встроенного в навигационное оборудование акселерометра.
6. **Скорость**, (км/час) – скорость ТС в определенный момент времени, определенная по GPS/ГЛОНАСС.
7. **Ускорение**, (m/c^2) – значение ускорения ТС по GPS/ГЛОНАСС.
8. **Обороты**, (об./мин.) – уровень оборотов по данным от тахометра.
9. Значения по универсальному входу:
 - LLS1 – код, выдаваемый с датчика уровня топлива;
 - T (LLS1) – температура (градусы).

Из описанных параметров на режим расхода топлива влияют следующие их них:

Дата и время позволяют использовать привязку ко времени измеряемых параметров. Дата и время, получаемые с прибора, задают шаг, с которым данные о уровне топлива и других параметров поступают в алгоритм фильтрации для уточнения значения объема топлива в баке.

Зажигание позволяет принципиально определять работает ли двигатель, либо не работает. Значение зажигания позволяет определять равен ли расход топлива в данный момент времени нулю, либо больше нуля.

Координаты – это параметр, позволяющий фильтровать недо-
стоверное увеличение объема топлива в баке вне зоны АЗС.

Пробег также необходим для уточнения измеряемых значений
объема топлива через сравнение текущих значений изменения
фактического расхода и расхода по норме.

Исходя из физики процесса, имеем три режима изменения
уровня топлива в баке:

1. Расход топлива равен нулю, уровень топлива в баке транс-
портного средства не изменяется.

Для вычисления динамики изменения уровня топлива в баке
используем следующие значения:

$B=0$. Данное значение матрицы B присваивается по причине
отсутствия управляющих воздействий, а также отсутствия допол-
нительных параметров, таких как обороты двигателя, степень на-
жатия на педаль акселератора и т.д.

$Q=3$. Для определения ковариации шума процесса авторами
были подобраны указанное значение Q , при котором отсутствуют
всплески топлива для отфильтрованных значений.

$H=1$. В связи с тем, что отношение между измерениями и со-
стоянием системы равно 1, то и значение H принимаем за 1.

$R=10$. Ошибка измерения подобрана авторами в результате про-
цесса исследования.

$I=1$. Единичная матрица равна 1.

$F=1$. Данное значение переменной F описывает динамическую
модель системы. Для данного режима (при нулевом расходе то-
плива) предсказываемое значение приравнивается предыдущему,
 $F = 1$.

2. Транспортное средство находится в движении. Объем топли-
ва в баке меняется прямо пропорционально пройденному рассто-
янию от предыдущего измерения. Исходя из полученных данных,
можно определить нормы расхода топлива, (например, 40 л на 100
км) на каждый вид транспортного средства.

При расчетах используем следующие значения: $B=0$, $Q=0,5$,
 $H=1$, $R=20$, $I=1$, $F=1$.

В данном случае для определения матрицы перехода между состояниями используем нижеуказанную формулу:

$$F = \frac{\Delta f}{\Delta S} = 0,00104 \tag{6}$$

где,

Δf (л) – изменение уровня топлива в баке транспортного средства,

ΔS (м) – изменение пройденного расстояния транспортным средством.

3. Транспортное средство находится на территории АЗС, определяемой по координатам. В данный момент времени возможно достоверное увеличение объема топлива в баке (т.е. заправка топлива).

При расчетах используем следующие значения: $V=0$, $Q=15$, $H=1$, $R=5$, $I=1$, $F=1$.

Результаты исследования

Таблица 1.

Исходные данные и результаты работы фильтра

dT	dT в сек	Дата	Время	Ключ	LLS1	Исходные данные (л)	x_k (л)	P_k	K_k	Скоррект. данные (л)	P_k	$F(df/ds)$	Q	R
00:00:30	30	24.05.2018	09:38:10	Вкл	2133	89,68738574	89,58161	3,0001	0,2308	89,60602156	0,077	0,00104	3	10
00:00:30	30	24.05.2018	09:38:40	Вкл	2133	89,68738574	89,57488	3,0001	0,2308	89,60084313	0,077	0,00104	3	10
00:00:30	30	24.05.2018	09:39:10	Вкл	2133	89,68738574	89,5697	3,0001	0,2308	89,59685975	0,077	0,00104	3	10
00:00:30	30	24.05.2018	09:39:40	Вкл	2133	89,68738574	89,56572	3,0001	0,2308	89,59379562	0,077	0,00104	3	10
00:00:30	30	24.05.2018	09:40:10	Вкл	2132	89,64533821	89,56265	3,0001	0,2308	89,58173515	0,077	0,00104	3	10
00:00:30	30	24.05.2018	09:40:40	Вкл	2132	89,64533821	89,55059	3,0001	0,2308	89,57245792	0,077	0,00104	3	10
00:00:30	30	24.05.2018	09:41:10	Вкл	2131	89,60329068	89,54132	3,0001	0,2308	89,55561817	0,077	0,00104	3	10
00:00:30	30	24.05.2018	09:41:40	Вкл	2130	89,56124314	89,52448	3,0001	0,2308	89,53296113	0,077	0,00104	3	10
00:00:30	30	24.05.2018	09:42:10	Вкл	2129	89,51919561	89,50182	3,0001	0,2308	89,50582927	0,077	0,00104	3	10
00:00:30	30	24.05.2018	09:42:40	Вкл	2128	89,47714808	89,47469	3,0001	0,2308	89,47525527	0,077	0,00104	3	10
00:00:30	30	24.05.2018	09:43:10	Вкл	2128	89,47714808	89,44411	3,0001	0,2308	89,45173694	0,077	0,00104	3	10
00:00:30	30	24.05.2018	09:43:40	Вкл	2128	89,47714808	89,4206	3,0001	0,2308	89,43364602	0,077	0,00104	3	10
00:00:30	30	24.05.2018	09:44:10	Вкл	2128	89,47714808	89,4025	3,0001	0,2308	89,41973001	0,077	0,00104	3	10
00:00:30	30	24.05.2018	09:44:40	Вкл	2127	89,43510055	89,38859	3,0001	0,2308	89,39932199	0,077	0,00104	3	10
00:00:30	30	24.05.2018	09:45:10	Вкл	2127	89,43510055	89,36818	3,0001	0,2308	89,3836236	0,077	0,00104	3	10
00:00:30	30	24.05.2018	09:45:40	Вкл	2127	89,43510055	89,35248	0,5001	0,0244	89,354449712	0,098	0,00104	0,5	20
00:00:30	30	24.05.2018	09:46:10	Вкл	2127	89,43510055	89,32336	0,5001	0,0244	89,32608216	0,098	0,00104	0,5	20
00:00:30	30	24.05.2018	09:46:40	Вкл	2126	89,39305302	89,29494	0,5001	0,0244	89,29733286	0,098	0,00104	0,5	20
00:00:30	30	24.05.2018	09:47:10	Вкл	2126	89,39305302	89,26619	0,5001	0,0244	89,26928576	0,098	0,00104	0,5	20
00:00:30	30	24.05.2018	09:47:40	Вкл	2126	89,39305302	89,23814	0,5001	0,0244	89,24192287	0,098	0,00104	0,5	20
00:00:30	30	24.05.2018	09:48:10	Вкл	2125	89,35100548	89,21078	0,5001	0,0244	89,21420175	0,098	0,00104	0,5	20
00:00:30	30	24.05.2018	09:48:40	Вкл	2125	89,35100548	89,18306	0,5001	0,0244	89,18715688	0,098	0,00104	0,5	20
00:00:30	30	24.05.2018	09:49:10	Вкл	2125	89,35100548	89,15602	0,5001	0,0244	89,16077177	0,098	0,00104	0,5	20
00:00:30	30	24.05.2018	09:49:40	Вкл	2124	89,30895795	89,12963	0,5001	0,0244	89,13400457	0,098	0,00104	0,5	20
00:00:30	30	24.05.2018	09:50:10	Вкл	2123	89,26691042	89,10286	0,5001	0,0244	89,10686461	0,098	0,00104	0,5	20
00:00:30	30	24.05.2018	09:50:40	Вкл	2129	89,51919561	89,07572	0,5001	0,0244	89,08654116	0,098	0,00104	0,5	20
00:00:30	30	24.05.2018	09:51:10	Вкл	2133	89,68738574	89,0554	0,5001	0,0244	89,07081465	0,098	0,00104	0,5	20
00:00:30	30	24.05.2018	09:51:40	Вкл	2136	89,81352834	89,03967	0,5001	0,0244	89,05856255	0,098	0,00104	0,5	20
00:00:30	30	24.05.2018	09:52:10	Вкл	2139	89,93967093	89,02741	0,5001	0,0244	89,04966505	0,098	0,00104	0,5	20
00:00:30	30	24.05.2018	09:52:40	Вкл	2136	89,81352834	89,01852	0,5001	0,0244	89,03791714	0,098	0,00104	0,5	20
00:00:30	30	24.05.2018	09:53:10	Вкл	2138	89,8976234	89,00678	0,5001	0,0244	89,02850729	0,098	0,00104	0,5	20

Используя вышеуказанные формулы, получаем сглаженные данные.

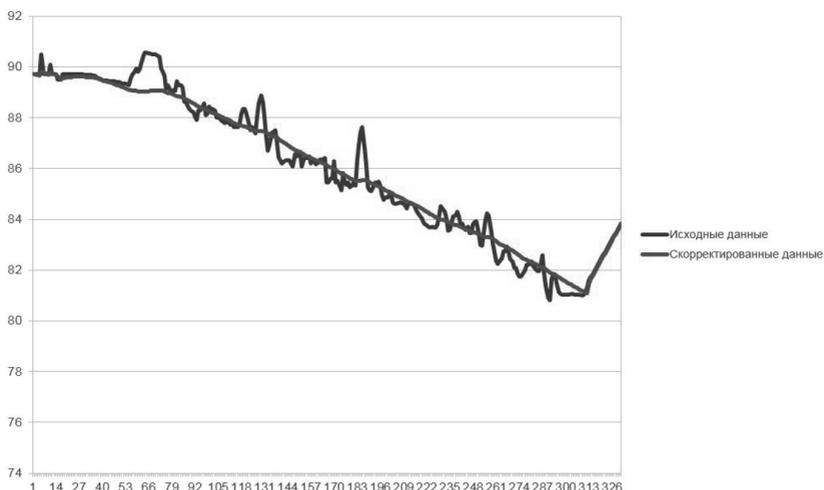


Рис. 3. График исходных и скорректированных данных

Заключение

В данной статье были предложены три режима работы фильтра Калмана в зависимости от режимов изменения уровня топлива в баке транспортного средства и были обработаны топливные данные от емкостного датчика уровня топлива, установленного на транспортном средстве, при помощи фильтра Калмана.

Полученные значения для всех трех режимов являются точными и позволяют в режиме реального времени определять уровень топлива в баке транспортного средства.

Список литературы

1. Браммер К., Зиффлинг Г. Фильтр Калмана-Бьюси. М.: Наука, 1982. 200 с.
2. Куршин В. В. Математическое и программное обеспечение навигации с использованием систем ГЛОНАСС/GPS/WAAS. 2003. 339 с.
3. Медведев А. Г. Разработка и исследование поверхностных емкостных датчиков для измерения уровня топлива. 2008. 235 с.
4. Сирота А.А. Методы и алгоритмы анализа данных и их моделирование в MATLAB. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2016. 380 р.

5. Brown R.G., Hwang P.Y. C. Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filtering. John Wiley & Sons, 2012. 397 p.
6. Grewal M.S., Andrews A.P. Kalman Filtering Theory and Practice. NJ: John Wiley & Sons, 2001. 410 p.
7. Grewal M.S., Andrews A.P. Kalman Filtering: Theory and Practice Using MATLAB. John Wiley & Sons, 2001. 401 p.
8. Jacobs O.L.R. Introduction to Control Theory. Oxford University Press, 1993. 390 p.
9. Welch G., Bishop G. An Introduction to the Kalman Filter. Chapel Hill: Department of Computer Science University of North Carolina at Chapel Hill, 2001. 16 p.

References

1. Brammer K., Ziffling G. *Fil'tr Kalmana-B'yusi* [Kalman-Bucy Filter]. M.: Science, 1982. 200 p.
2. Kurshin V.V. *Matematicheskoe i programnoe obespechenie navigatsii s ispol'zovaniem sistem GLONASS/GPS/WAAS* [Mathematical and navigation software using GLONASS / GPS / WAAS systems]. 2003 339 p.
3. Medvedev A.G. *Razrabotka i issledovanie poverkhnostnykh emkostnykh datchikov dlya izmereniya urovnya topliva* [Development and research of surface capacitive sensors for measuring fuel level]. 2008. 235 p.
4. Sirota A.A. *Metody i algoritmy analiza dannykh i ikh modelirovanie v MATLAB* [Methods and algorithms for data analysis and their modeling in MATLAB]. St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2016. 380 p.
5. Brown R.G., Hwang P.Y. C. *Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filtering*. John Wiley & Sons, 2012. 397 p.
6. Grewal M.S., Andrews A.P. Kalman Filtering Theory and Practice. NJ: John Wiley & Sons, 2001. 410 p.
7. Grewal M.S., Andrews A.P. *Kalman Filtering: Theory and Practice Using MATLAB*. John Wiley & Sons, 2001. 401 p.
8. Jacobs O.L.R. *Introduction to Control Theory*. Oxford University Press, 1993. 390 p.

9. Welch G., Bishop G. Chapel Hill: Department of Computer Science University of North Carolina at Chapel Hill, 2001. 16 p.

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Алексеев Николай Юрьевич, аспирант

*Московский автомобильно-дорожный государственный
технический университет МАДИ*

*Ленинградский проспект, 64, г. Москва, 125319, Российская
Федерация*

alekseev-trn@mail.ru

Кудрявцев Александр Александрович, доцент кафедры «Транс-
портная телематика», кандидат технических наук

*Московский автомобильно-дорожный государственный
технический университет МАДИ*

*Ленинградский проспект, 64, г. Москва, 125319, Российская
Федерация*

ttr_madi@inbox.ru

Асмолов Геннадий Иванович, доцент кафедры «Транспортная
телематика», кандидат технических наук

*Московский автомобильно-дорожный государственный
технический университет МАДИ*

*Ленинградский проспект, 64, г. Москва, 125319, Российская
Федерация*

ttr_madi@inbox.ru

Лобов Олег Павлович, доцент кафедры «Транспортная телема-
тика», кандидат технических наук

*Московский автомобильно-дорожный государственный
технический университет МАДИ*

*Ленинградский проспект, 64, г. Москва, 125319, Российская
Федерация*

ttr_madi@inbox.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Alekseev Nikolai Yurevich, graduate student

*Moscow Automobile and Road State University MADI
Leningradsky Prospect, 64, Moscow, 125319, Russian Federation
alekseev-trn@mail.ru*

Kudryavtsev Alexander Aleksandrovich, Associate Professor of the
Department of Transport Telematics, Ph.D.

*Moscow Automobile and Road State University MADI
64, Leningradsky Prospect, Moscow, 125319, Russian Federation
ttr_madi@inbox.ru
SPIN-code: 8919-5997
Scopus Author ID: 683933*

Asmolov Gennadiy Ivanovich, Associate Professor of the Department
of Transport Telematics, Ph.D.

*Moscow Automobile and Road State University MADI
64, Leningradsky Prospect, Moscow, 125319, Russian Federation
ttr_madi@inbox.ru*

Lobov Oleg Pavlovich, Associate Professor of the Department of
Transport Telematics, Ph.D.

*Moscow Automobile and Road State University MADI
64, Leningradsky Prospect, Moscow, 125319, Russian Federation
ttr_madi@inbox.ru*