



ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА MSET ДЛЯ РАННЕГО ОБНАРУЖЕНИЯ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ТРАНСПОРТЕ

Существующие системы телематического наблюдения за состоянием параметров функционирования и характеристиками автомобилей и другой мобильной техники позволяют получать в режиме реального времени большое количество цифровых данных о состоянии объектов наблюдения. При этом существует возможность оценки особенностей и текущих характеристики параметров управления ими со стороны водителя или оператора. В работе предложена принципиальная возможность получения предиктивной информации об особенностях изменения характеристик управления транспортным средством водителем на основе анализа получаемой от средств телематического контроля транспорта информации, предложена структурная схема информационно-математической системы и принципы математической обработки поступающей информации. В работе представлены некоторые результаты анализа временных рядов выбранных параметров мониторинга транспорта, позволяющие применить метод Multivariate State Estimation Technique (MSET) к их оценке для получения возможности раннего обнаружения потенциальной аварийной ситуации в вождении автомобиля (засыпание, утомление водителя, стрессовые ситуации, неадекватное поведение). Результаты проведенного исследования могут стать предпосылками для более масштабного применения методов MSET при проведении мониторинга работы мобильной техники и оценки характеристик ее управления.

Автотранспортные средства, оценка действий водителей, транспортная безопасность, предиктивная диагностика.

Количество полностью автономных транспортных средств в мире растет достаточно высокими темпами в последнее десятилетие и ожидаемый переход к применению автономно управляемых транспортных средств особенно в достаточно просто алгоритмизируемых процессах (такси, грузовые междугородные перевозки) достаточно ожидаем и понятен. Вместе с тем на это уйдет еще достаточно долгое время и кроме того ряд транспортных задач достаточно сложно перевести в полностью цифровую форму и заменить водителя или оператора на компьютер [1]. К таким транспортным задачам относятся перевозки пассажиров и грузов в особо сложных дорожных, погодных или транспортных условиях, перевозки с высокой степенью риска и ответственности, а также случаи там, где применение полностью автономных транспортных средств нерентабельно. В этой связи с целью дальнейшего снижения транспортных и социальных рисков для реализации концепции Vision Zero необходимы механизмы контроля действий и состояния водителей/операторов и раннего обнаружения потенциальных рисков, связанных с возможными неумышленными или умышленными ошибками управления транспортными средствами. Подобные системы, как правило, либо на основе носимых средств контроля психофизиологических параметров или/и средств видеofиксации с комплексами анализа изображения, во-первых, достаточно дорогие, а во-вторых не могут лишь частично выполнять функции предиктивного обнаружения наступления потенциально опасных состояний водителя.

Применение метода Multivariate State Estimation Technique (MSET) для раннего обнаружения аварийных ситуаций, связанных с нарушением нормального функционирования объектов, стало достаточно широко распространенным трендом последних лет. Метод реализуется вкуче с использованием нейросетей и иных принципов и подходов machine learning и является, как показало его применение в сложных и ответственных отраслях промышленности, достаточно эффективным. В работе [2] основное внимание уделяется алгоритму прогнозирования производительности гармонического редуктора, основанному на методе многомерной оценки состояния (MSET) и уменьшении размерности LargeVis, причем порог предупреждения об ошибке устанавливается в соответствии с разницей между построенной матрицей памяти данных о состоянии работоспособности и фактическим наблюдаемым значением. В работе [3] kalman filters, управляемые данными, использовались для оценки распределенного состояния в нескольких областях. Этап проектирования является автономным и включает в себя моделирование многомерных измерений временных рядов от PMU с использованием методов линейной и нелинейной идентификации системы.

В настоящее время нам видится потенциальная возможность применения указанных подходов к оценке характеристик процесса вождения транспортных средств с целью раннего обнаружения отклонений в параметрах управления для предупреждения возникновения транспортных аварийных ситуаций.

В качестве объекта наблюдения был выбран грузовой автомобиль КАМАЗ, управляемый одним водителем в течение одной смены (междугородные перевозки) в центральной части европейской территории России, декабрь 2022 года. Автомобиль оснащен системой телематического наблюдения Wialon, позволяющей в режиме реального времени передавать на сервер системы данные об изменении всех подключенных к системе датчиков, определяющих состояние и режимы функционирования основных систем автомобиля. Оттуда с помощью формирования отчетов можно выгружать данные в табличном виде для обработки и анализа в сторонних программах. Рабочий экран системы представлен на рисунке 1.

В качестве исходной гипотезы была использована идея о том, что в ходе длительной поездки в рамках

междугородной перевозки груза водитель к концу рабочей смены устает и его психофизиологические параметры существенно изменяются. Вышеуказанное приводит к ситуации, при которой изменение общего состояния водителя и его утомление сказывается на особенностях и характеристиках управления (ухудшение внимания, снижение частоты корректирующих действий органами управления, снижение контроля за другими участниками движения, учащение возникновения потенциально опасных ситуаций). Поэтому сравнение параметров процесса управления в начале и конце рабочей смены может быть показательным с точки зрения исследования потенциальной возможности применения метода MSET для оценки характеристик вождения и раннего определения возникающих аварийных ситуаций.

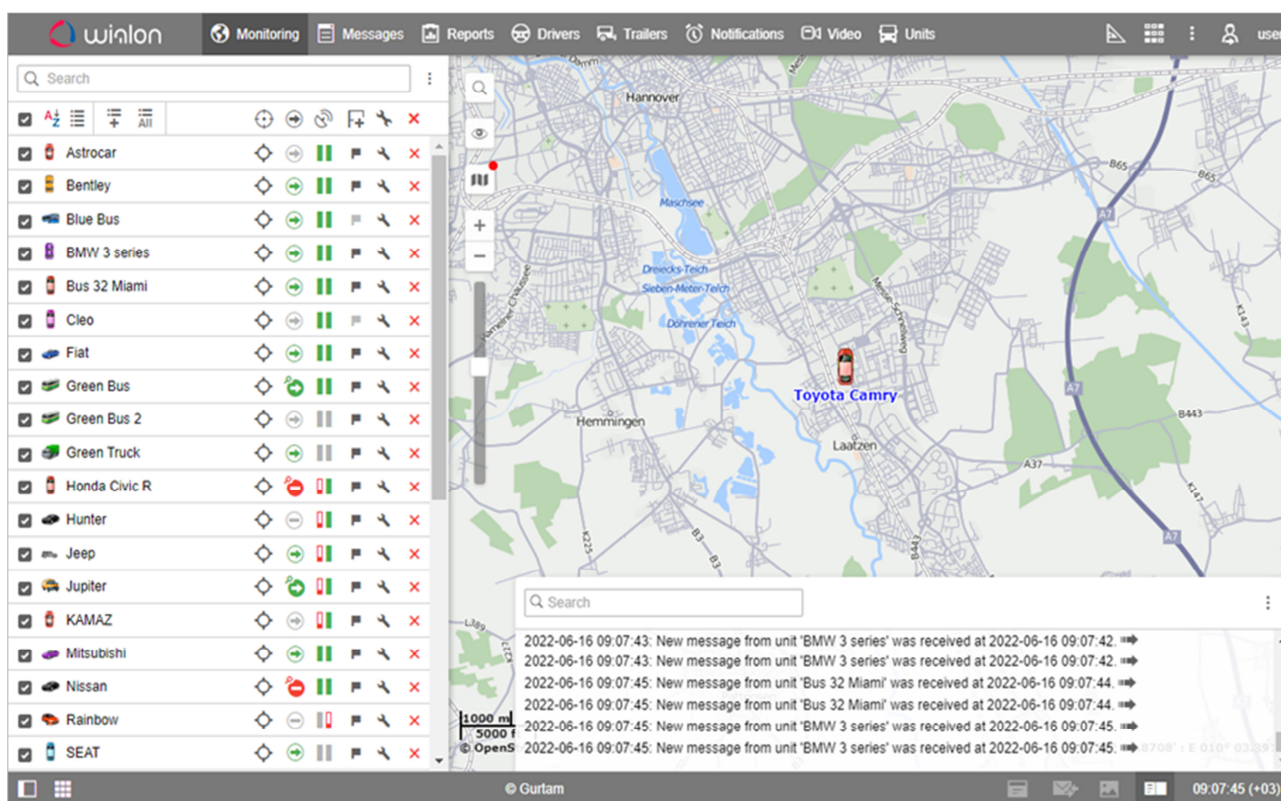


Рис. 1. Рабочий экран системы мониторинга

Процесс управления автомобилем относится к сложным многопараметрическим системам, с точки зрения системы телематического мониторинга он представляется в виде непрерывного временного ряда большого числа параметров непрерывно формируемых датчиками как самой системы, так и непосредственного анализируемого объекта. Для целей исследования нами были отобраны следующие показатели: скорость автомобиля, км/ч, обороты двигателя, об/мин, величина бокового ускорения, m/s^2 , величина продольного ускорения, m/s^2 . Первый параметр определяет режим движения автомобиля, второй – режим, задаваемый водителем, в т.ч. реагирует на степень и скорость манипуляций водителя органом управления. Третий параметр опосредованно характеризует наличие или отсутствие действий водителем рулевым колесом при отсутствии датчика поворота

руля, а также возможный аварийный режим – боковой занос автомобиля. Четвертый параметр характеризует режим движения автомобиля – разгон, равномерное движение или торможение. Преимущество этих показателей: с одной стороны, достаточная показательность и универсальность наличия на любой технике, подключенной к системе транспортной телематики, с другой – они достаточно сильно коррелируют с друг другом. В связи с этим возможность их применения в MSET модели будет проверена в рамках данного исследования.

Вид временного ряда показателя частоты вращения двигателя автомобиля в об/мин в начале рабочей смены показан на рисунке 2, в конце рабочей смены – на рисунке 3.

Состояние наблюдаемого объекта (автомобиля) характеризуется указанными выше и предварительно

выбранными параметрами в любой момент времени, система телематического наблюдения регистрирует их через достаточно частые промежутки времени (до 1 раза в секунду) и в результате формирует многомерный временной ряд, представляемый в виде системы $y_1(t), y_2(t), \dots, y_N(t)$. Предположим, что одномерный временной ряд $y_i(t)$, наблюдаемый в равноотстоящие моменты времени t_1, t_2, \dots, t_n , может быть представлен в виде суммы функций:

$$y^i(t) = f^i(t) + g^i(t) + \psi^i(t) + \varepsilon^i(t), \quad (1)$$

при этом $f^i(t)$ – неслучайная (долговременная) функция тренда соответствующего ряда, $g^i(t)$ – неслучайная периодическая функция – совместная гармоническая составляющая ряда, $\psi^i(t)$ – случайная с

элементами регулярности функция – векторная авторегрессия, $\varepsilon_i(t)$ – нерегулярная компонента (ошибка).

На первом этапе обработки данных всех временных рядов был выполнен анализ наличия трендовой составляющей с выделением соответствующей функции $f^i(t)$ и приближением полиномом 2 или 2 степени. Далее для каждого ряда методом пошаговой регрессии находятся значимые гармоники и производится моделирование остатков случайной с учетом элементов регулярности функции $\psi^i(t)$, представляемой в данном случае в виде модели векторной авторегрессии.

В итоге для каждого из временных рядов N мы получаем комплексную аналитическую модель, составляющую регулярную составляющую (тренд, гармоники) и векторную авторегрессию.

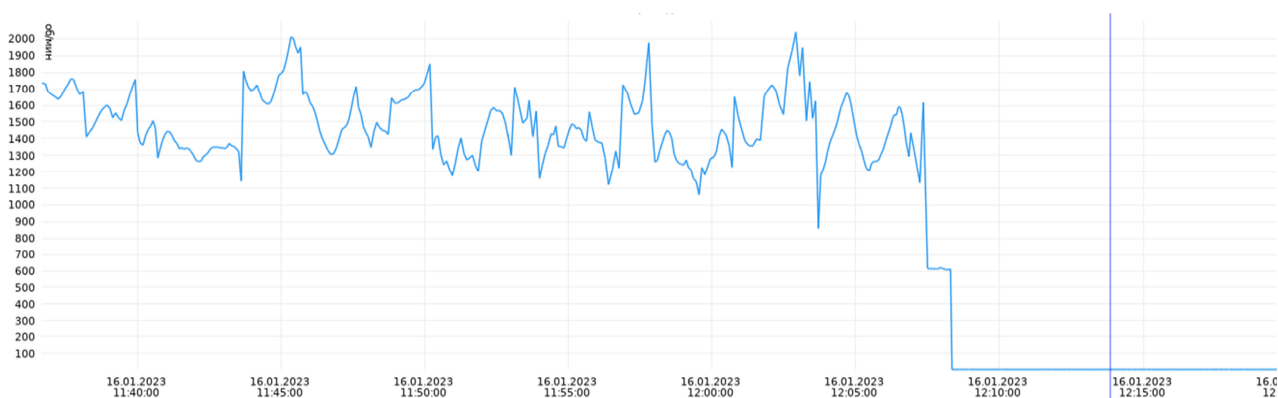


Рис. 2. Временной ряд по показателю «обороты двигателя» в начале рабочей смены

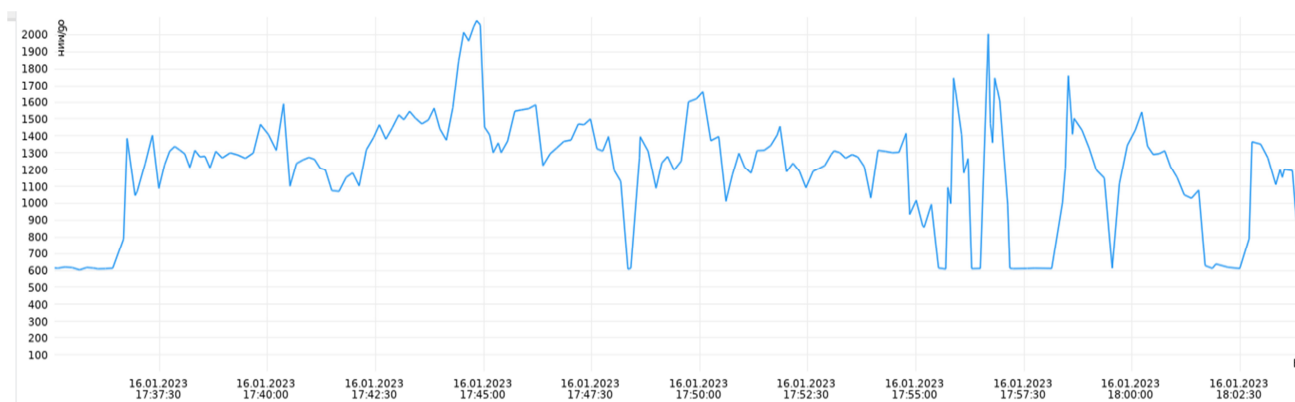


Рис. 3. Временной ряд по показателю «обороты двигателя» в конце рабочей смены

Полученные модели могут быть использованы как для оценки качества вождения и динамики изменений в стиле/особенностях вождения на длительных промежутках времени или установлении индивидуальных особенностей водителя, так и для сравнения параметров управления в ходе непрерывного мониторинга действий водителя с целью недопущения потенциального возникновения аварийных ситуаций. Так как любое устойчивое отклонение от имеющихсся и постоянно корректируемых автоматически моделей может быть трактовано как сигнал к возможным ошибочным или непредумышленным действиям водителя. Пример получаемых аналитических моделей для одного из отобранных показателей:

$$y_1(t) = -0,156t + 1,142 \sin(2\pi t/23) + 543,45$$

$$\sin(2\pi t/36) + 0,567 y_3(t-1) + \varepsilon_1(t). \quad (2)$$

Полученные аналитические модели позволяют прогнозировать параметры с достаточной точностью (отклонения до 12–14 %) на период до 8–9 секунд при работе на временных рядах, полученных во время движения автомобиля по трассе.

Традиционный метод анализа временных рядов в данном случае представляется рабочим, но не наилучшим результатом для анализа имеющихся многопараметрических зависимостей в т.ч. по причине невысокой предиктивной способности (малый интервал прогнозных данных с достаточной точностью прогноза), так и по причине фактически отсутствия тесной связи любого отклонения от аналитической модели и аварийности функционирования объекта.

Модели, полученные во время равномерного движения по прямолинейной траектории, не учитывают движения в повороте и неправильно трактуют его как аварийную ситуацию. В этой связи интересным представляется использование именно метода MSET (принципиальная схема представлена на рисунке 4).

Исходные данные для его реализации те же, что и для предыдущего этапа: значения $y_i(t)$ последовательные i параметры функционирования в момент времени t . Указанные значения формируют входную матрицу данных наблюдения для тренирующей выборки для

обучения системы. В качестве инструмента MSET-анализа был выбран разработанный на Python скрипт, реализация метода многомерной оценки состояния; в частности, «онлайн»-подход в сочетании с вложениями с временной задержкой для обнаружения аномалий со скалярными временными рядами.

С его помощью были проанализированы имеющиеся во временных рядах аномалии с выдачей их расположения в рамках ряда и плотности распределения. Пример тестового прогона представлен на рисунке 5. Для анализа был выбран показатель «обороты двигателя».

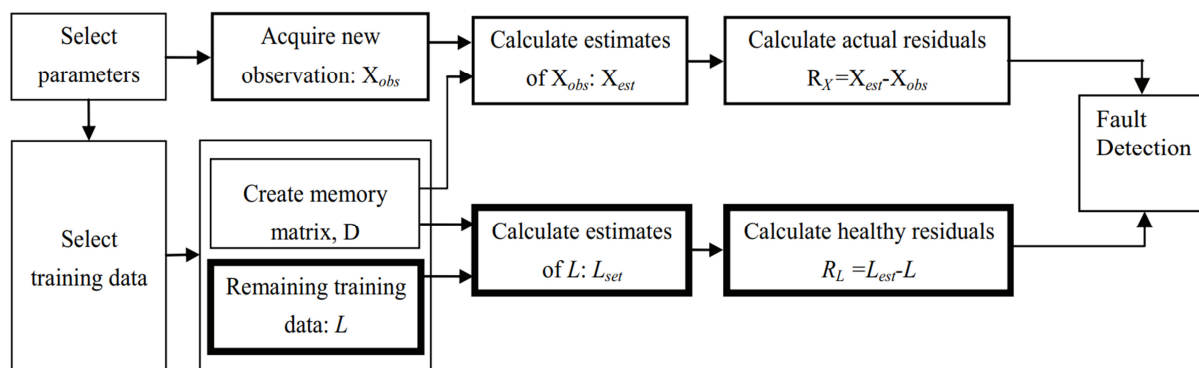


Рис. 4. Структурная схема метода MSET

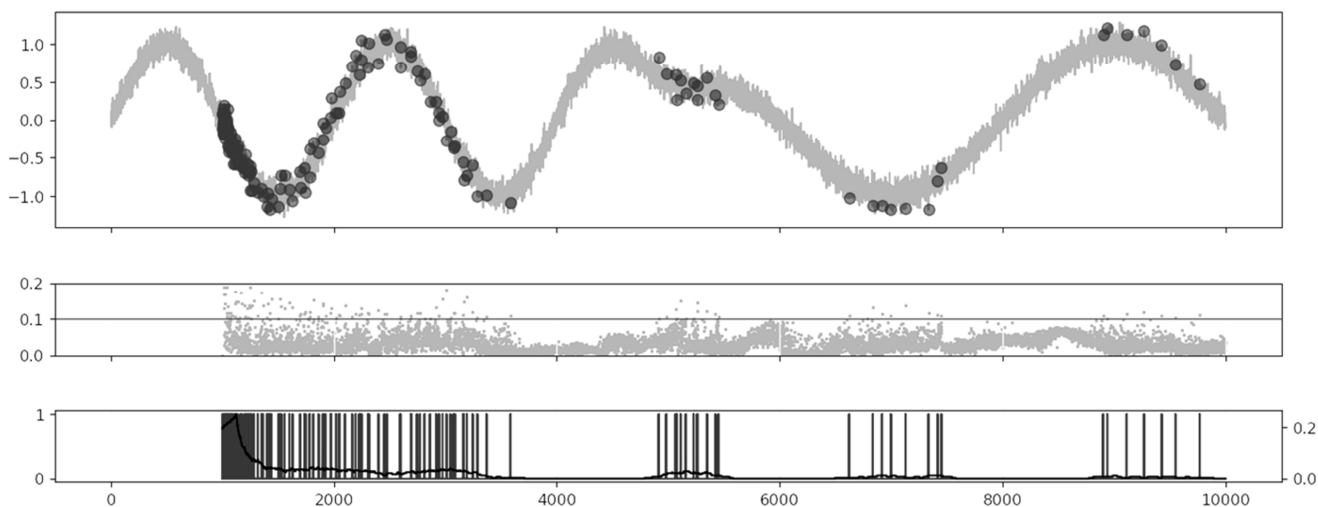


Рис. 5. Тестовый прогон скрипта на обучающей выборке

Среднее значение коэффициентов детерминации R^2 построенных моделей по методу MSET на обучающей выборке D1 равно 0,97 (среднеквадратичное отклонение 0,04), на выборке D2 (тестовой) – 0,94 (среднеквадратичное отклонение 0,07). Полученные значения свидетельствуют о том, что построенные регрессионные модели в среднем обладают хорошей обобщающей способностью, т.е. вероятность ошибки на тестовой выборке не сильно отличается от ошибки на обучающей выборке.

Достигнутое значение показателя AUC ROC обученной регрессионной модели на обучающей выборке D2 равно 0,98, на тестовой выборке Dtest – 0,95.

Применение метода MSET в отличие от традиционных способов анализа и моделирования временных

рядов дает более репрезентативные результаты в случае применения их к оценке и исследованию параметров управления мобильной техникой, в частности грузовым автомобилем. Применение полученных первым способом моделей позволяет получить прогнозные данные для интервала порядка 8–9 секунд в случае движения в трассовом режиме. Однако этот метод категорически плохо справляется с интерпретацией отклонений от моделируемого поведения объекта в виду специфики процесса движения и трактует штатные ситуации (плавный поворот, замедление перед спуском) как аварийные. Применение метода MSET в рамках тестовых прогонов и построения обучающей и тестовой выборки для параметра «обороты двигателя» дало обнадеживающие результаты, метод

достаточно хорошо определяет имеющиеся аномалии во временном ряде показателя и более эффективен при применении в случаях, когда аварийные ситуации достаточно редки и трудно формализуемы [3].

В рамках исследований не были проанализированы полные модели, описывающие процесс управления грузовым автомобилем в рамках использования метода MSET, поэтому остается открытым вопрос об интервале прогнозирования поведения системы при использовании этой методологии. Также требующим дополнительного изучения представляется вопрос создания перечня показателей аномальности функционирования объекта при учете многопараметрической модели вождения автомобиля.

Гипотеза, поставленная в начале экспериментальных исследований, была проверена и расчетные данные показывают, что применение метода MSET при оценке и анализе параметров управления транспортными средствами более выигрышно по сравнению с применением стандартного инструментария для анализа временных рядов по причине того, что аварийные ситуации на транспорте не однотипны, трудно обнаруживаются заранее, возникают и развиваются стреми-

тельно, как правило не позволяя совершить устраняющих или предупреждающих действий. В этой связи применение метода MSET, достаточно хорошо показавшего себя в практике работы промышленных объектов, возможно, хотя и требует дополнительных исследований в части формирования исходных параметров и критериев аномальности функционирования транспортных средств различных типов.

Литература

1. Комбаров, М. В. Беспилотные автомобили и повышение качества автомобильного транспорта / М. В. Комбаров, М. А. Севостьянов // Символ науки: международный научный журнал. – 2017. – № 5. – С. 222–225.
2. Yiyang, Z. Harmonic Reducer Performance Prediction Algorithm Based on Multivariate State Estimation and LargeVis Dimensionality Reduction / Z Yiyang, L Peixing, D Haolun и др. // IEEE Access. – 2022. – С. 1–1. 10.1109/ACCESS.2022.3166921.
3. Jakir, H. Multi-Area Distributed State Estimation in Smart Grids Using Data-Driven Kalman Filters / H. Jakir, N. Mia. Energies. – 2022. – С. 15. 7105.10.3390/en15197105.

P.I. Smirnov

Vologda State University

APPLYING MSET METHOD FOR EARLY DETECTION AND PREVENTION OF EMERGENCY SITUATIONS IN TRANSPORT

Existing telematic monitoring systems for the state of functioning parameters and characteristics of cars and other mobile equipment make it possible to obtain a large amount of digital data on the state of objects of observation in real time. At the same time, it is possible to evaluate the features and current characteristics of their control parameters by a driver or operator. The paper proposes a fundamental possibility of obtaining predictive information about the features of changes in the characteristics of driving a vehicle by a driver based on the analysis of information received from telematic control of transport information. A block diagram of an information-mathematical system and the principles of mathematical processing of incoming information are proposed. The paper presents some results of the analysis of the time series of the selected vehicle monitoring parameters, which allow applying the Multivariate State Estimation Technique (MSET) method to their assessment in order to obtain the possibility of early detection of a potential emergency situation in driving a car (falling asleep, driver fatigue, stressful situations, inappropriate behavior). The results of the study can become prerequisites for a wider application of MSET methods in monitoring the operation of mobile equipment and assessing the characteristics of its control.

Vehicles, assessment of the actions of drivers, transport security, predictive diagnosis.