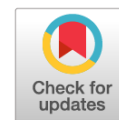


DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-123092>

Оригинальное исследование



# Математическая модель алгоритма распределения момента по осям электромобиля с двухмоторной схемой

А.М. Заватский, А.Н. Малышев, В.В. Дебелов, А.В. Келлер

Центральный научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт «НАМИ», Москва, Российская Федерация

## АННОТАЦИЯ

**Обоснование.** Развитие электрических и гибридных автомобилей невозможно без создания схем, при которых крутящий момент генерируется электромоторами независимо на переднюю и заднюю оси или на каждом колесе и достигается наилучшая динамика. Разработка функции распределения момента по осям или колесам автомобиля является актуальной технической задачей.

**Цель работы** — создание математической модели распределения запрашиваемого водителем момента на передний и задний электромотор с целью содействия системе курсовой устойчивости и противодействию пробуксовке колес при движении в повороте на грани сноса/заноса или движении по поверхностям с низким или переменным коэффициентом сцепления.

**Материалы и методы.** Модель алгоритма реализована в среде MATLAB/Simulink, протестирована в режиме model-in-the-loop на имитационной модели, разработанной в среде LMS Simcenter Amesim, протестирована в режиме hardware-in-the-loop на машине реального времени LabCar (ETAS GmbH) и испытана в составе автомобиля.

**Результаты.** Функция, основанная на вышеописанных методах, реализована в MATLAB/Simulink. Выполнено тестирование в режиме симуляции на имитационной модели, разработанной в Simcenter Amesim и определены первичные значения калибровочных параметров. Выполнено внедрение функции в структуру ПО прототипа и компиляция исполняемого кода С-кода для мастер-файла, загружаемого в блок управления. Выполнено тестирование в составе блока управления на стенде реального времени LabCar. После устранения выявленных на предыдущих этапах тестирования недочетов, выполнены калибровки и испытания в составе автомобиля, которые показали эффективность описанной модели распределения момента.

**Заключение.** Практическая ценность исследования заключается в возможности использования предложенных законов управления для разработки систем распределения момента по осям или колесам автомобиля современных транспортных средств.

**Ключевые слова:** электромобиль; полный привод; распределение момента; курсовая устойчивость; электротехнический комплекс; комбинированная энергоустановка.

## Как цитировать:

Заватский А.М., Малышев А.Н., Дебелов В.В., Келлер А.В. Математическая модель алгоритма распределения момента по осям электромобиля с двухмоторной схемой // Известия МГТУ «МАМИ». 2023. Т. 17, № 2. С. 187–194. DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-123092>

DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-123092>

Original study article

# The mathematical model of the algorithm for torque distribution between axles of an electric vehicle with the two-motor layout

Alexander M. Zavatsky, Andrey N. Malyshev, Vladimir V. Debelov, Andrey V. Keller

Central Scientific Research Automobile and Automotive Engines Institute NAMI, Moscow, Russian Federation

## ABSTRACT

**BACKGROUND:** The development of electric and hybrid vehicles is impossible without the creation of schemes in which torque is generated by electric motors independently on the front and rear axles or on each wheel and the best dynamics is achieved. The development of a function for distributing torque between the axles or wheels of a car is a relevant technical task.

**AIMS:** Creation of a mathematical model for the torque distribution requested by the driver to the front and rear electric motors in order to assist the course stability system and counteract wheel slip when driving in a turn close to drifting/skidding or driving on surfaces with a low or variable grip coefficient.

**METHODS:** The algorithm model was built in the MATLAB/Simulink environment, was tested in the model-in-the-loop mode on a simulation model developed in the Simcenter Amesim environment, was tested in the hardware-in-the-loop mode on the LabCar real-time machine (ETAS GmbH) and was tested in a vehicle.

**RESULTS:** The function based on the abovementioned methods was built in MATLAB/Simulink. Testing in simulation mode on the simulation model developed in Simcenter Amesim was performed and the initial values of calibration parameters were determined. Implementation of the function into the software structure of the prototype and compilation of the executable C-code for the master file loaded into the control unit were completed. Testing of the function implemented into the control unit on the LabCar real-time test rig was carried out. After eliminating the shortcomings identified at the previous stages of testing, calibrations and tests of the function integrated into the vehicle were carried out, which showed the effectiveness of the described torque distribution model.

**CONCLUSIONS:** The practical value of the study lies in the possibility of using the proposed control laws to develop systems for torque distribution between the axles or wheels of modern vehicles.

**Keywords:** *Electric vehicle; four-wheel drive; torque distribution; stability control; electrotechnical unit; hybrid power unit.*

## To cite this article:

Zavatsky AA, Malyshev AN, Debelov VV, Keller AV. The mathematical model of the algorithm for torque distribution between axles of an electric vehicle with the two-motor layout. *Izvestiya MGTU «MAMI»*. 2023;17(2): 187–194. DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-123092>

Received: 16.01.2023

Accepted: 01.04.2023

Published online: 15.07.2023

## ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день специалисты разных направлений в России и за рубежом так и не пришли к общему мнению о перспективах и экологичности электромобилей. Однако, невозможно не принять во внимание факт увеличения доли электромобилей и подзаряжаемых гибридов на мировом авторынке [1]. Уже сегодня на рынке присутствует широкий выбор моделей, от эконом до премиум класса, с разными кинематическими схемами, как моноприводные, так и полноприводные.

Кинематическую схему с двумя электромоторами, изображенную на рис. 1, используют многие производители полноприводных электромобилей премиум-класса, в частности, такая схема применяется на Audi e-tron quattro, Jaguar I-Pace, Mercedes-Benz EQC, Tesla Model X.

Неотъемлемой частью полноприводных электромобилей с независимым приводом на каждую ось или каждое колесо является функция распределения, запрашиваемого водителем, момента между тяговыми электромоторами.

Каждый из мировых производителей разрабатывает своё программное обеспечение, включающее данную функцию с учетом особенностей транспортного средства, а также поставленных целей по управляемости и другим потребительским качествам.

В НАМИ разрабатывается новый полноприводный гибридный автомобиль с уникальными

характеристиками, выполненный по схеме с двумя электромоторами. Следовательно, для этого вновь разрабатываемого транспортного средства необходима разработка новой функции распределения запрашиваемого водителем момента между передним и задним электромотором.

В данной статье представлено математическое описание основных методов, применяемых в разрабатываемой функции, которая уже прошла ряд испытаний, подтверждающих её работоспособность

## ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧ ДЛЯ РАЗРАБАТЫВАЕМОЙ ФУНКЦИИ

Функция распределения момента может оказывать влияние на следующие группы потребительских свойств автомобиля: управляемость, устойчивость, поведение автомобиля при разгоне, плавность хода.

Чтобы улучшить обозначенные потребительские свойства, функция распределения момента должна выполнять следующие две основные задачи:

- предотвращение пробуксовок;
- противодействие сносу/заносу.

Для сохранения потребительских свойств функция должна соответствовать основным требованиям при выполнении поставленных задач:

- обеспечение максимальной реализации запрашиваемого момента;
- обеспечение плавности регулирования, предотвращающее ощутимые рывки автомобиля.

Для реализации поставленных задач, функция распределения момента, общая структура которой представлена на рис. 2, имеет блок ограничений (Limiter) и три регулятора:

- PreControl – регулятор с прямой связью, снижающий вероятность пробуксовок и сноса/заноса;
- YawControl – регулирование с обратной связью по ошибке скорости рыскания;
- SlipControl – регулирование с обратной связью по ошибке разницы скоростей осей.

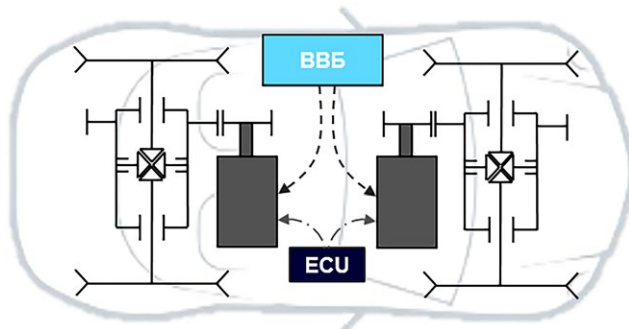


Рис. 1. Схема полноприводного электромобиля.

Fig. 1. The all-wheel drive electric vehicle layout.

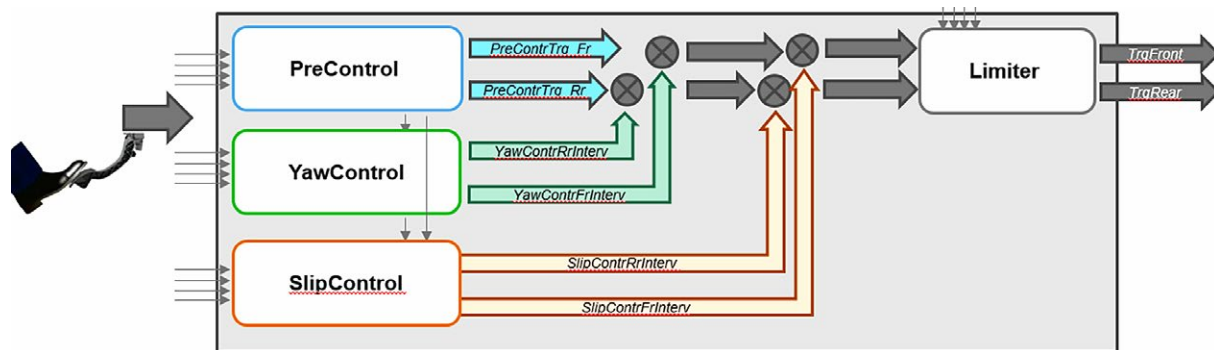


Рис. 2. Общая структура функции распределения момента.

Fig. 2. The main structure of the torque distribution function.

## БЛОК С ПРЯМОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ (PRECONTROL)

Задача блока PreControl состоит в снижении вероятности возникновения пробуксовок, сноса или заноса на основе данных о движении автомобиля.

Пробуксовка возникает, когда крутящий момент на колесе превышает максимально-реализуемый по сцеплению. На горизонтальной поверхности с одинаковым коэффициентом сцепления под всеми колёсами максимально-реализуемый момент на колесе пропорционален его вертикальной реакции. При прямолинейном движении распределение вертикальных реакций на колёсах изменяется, главным образом, в зависимости от продольного ускорения, как показано в формулах (1) и (2), построенных на основании расчетной схемы, представленной на рис. 3.

$$F_{z_F} = \frac{mg \cdot L_F - ma \cdot h}{L_F + L_R}, \quad (1)$$

$$F_{z_R} = \frac{mg \cdot L_R + ma \cdot h}{L_F + L_R}. \quad (2)$$

Для того, чтобы снизить вероятность пробуксовки на передней и задней оси запрашиваемый момент распределяется между передним и задним электромотором пропорционально оценочным значениям вертикальных нагрузок согласно формуле

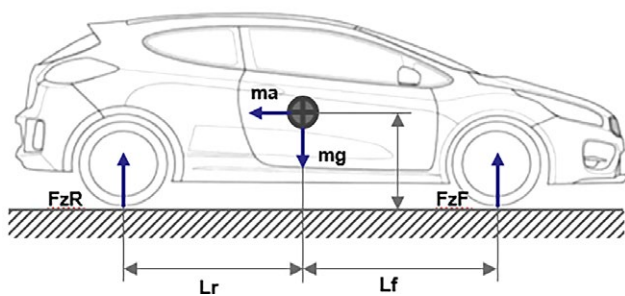


Рис. 3. Расчетная схема продольного движения.  
Fig. 3. Analytical scheme of longitudinal motion.

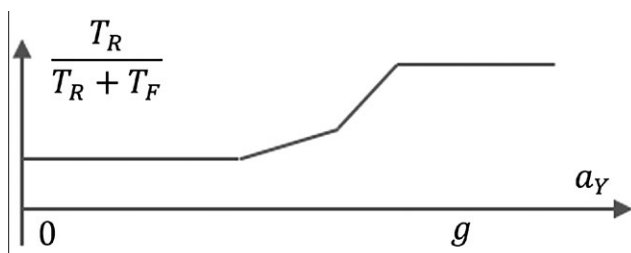


Рис. 4. Зависимость доли момента, передаваемого на заднюю ось от бокового ускорения.  
Fig. 4. Dependence of the part of torque transmitted to the rear axle on lateral acceleration.

$$\frac{PreContrTrq\_Fr}{PreContrTrq\_Rr} = \frac{F_{z_F}}{F_{z_R}}, \quad (3)$$

где  $PreContrTrq\_Fr$  – запрос момента блока PreControl на переднюю ось;  $PreContrTrq\_Rr$  – запрос момента блока PreControl на заднюю ось.

При интенсивном повороте на горизонтальной поверхности с одинаковыми коэффициентами сцепления под всеми колёсами снос передней оси происходит, когда боковые реакции передних колёс достигают предельных значений по сцеплению. Занос задней оси происходит, когда боковые реакции задних колёс достигают предела по сцеплению.

Распределение боковых реакций между передними и задними колёсами в ходе поворота зависит от многих параметров, главным образом оно зависит от положения центра масс относительно колёс и от характеристик передней и задней подвесок. Таким образом, конструкция автомобиля определяет базовую характеристику поворачиваемости: склонность к избыточной или недостаточной поворачиваемости.

Кроме того, характер поворачиваемости зависит от места приложения тяговых усилий: передний привод смещает поворачиваемость в сторону недостаточной, задний привод в сторону избыточной. Следовательно, распределением момента между передним и задним электромотором, можно корректировать характеристику поворачиваемости, приближая её к нейтральной [6].

Вывод аналитического выражения, которое бы описывало зависимость целевого распределения от бокового ускорения с учетом конструктивных особенностей, представляет собой весьма сложную задачу, и, в любом случае, будет включать подбор эмпирических коэффициентов. Поэтому данная зависимость, примерный графический вид которой представлен на рис. 4, определена сразу эмпирически на готовом прототипе. С ростом бокового ускорения момент смещается в сторону заднего электромотора, что является следствием базовой недостаточной поворачиваемости целевого автомобиля.

Управление распределением момента, основанное на вышеописанных методах, позволяет максимально реализовать продольные и боковые усилия в контактах шин с дорогой, что снижает вероятность сноса, заноса и пробуксовки, и необходимости вмешательства регуляторов с обратной связью.

## БЛОК С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ ПО ОШИБКЕ СКОРОСТИ РЫСКАНИЯ (YAWCONTROL)

Блок PreControl, снижает вероятность, но не исключает случаи сноса и заноса, т.к. не учитываются неоднородность поверхности, эластокинематика, инерционность

при резких маневрах, и другие плохо прогнозируемые эффекты. Задача блока YawControl состоит в определении состояния криволинейного движения автомобиля: снос, занос или контрповорот, а также в генерации запроса на смещение момента в соответствии с определенным состоянием. Несмотря на то, что возможности регулирования скорости рыскания при помощи распределения момента между задним и передним мотором весьма ограничены в сравнении с системами электронной стабилизации или векторизации поворачивающего момента, этого бывает достаточно для успешного прохождения маневра и помощи водителю в стабилизации автомобиля.

На сегодняшний день описаны разные методы обнаружения сноса/заноса. Их можно условно разделить на три группы: оценка скорости рыскания [4]; оценка соотношений скоростей колёс передней и задней оси [3]; оценка углов бокового увода [5]. Для текущей работы выбран метод оценки скорости рыскания, т.к. метод сравнения скоростей колёс может показывать хороший результат только в случае отсутствия пробуксовки, в то время как качественная оценка углов бокового увода сложно реализуема.

Метод оценки скорости рыскания также имеет различные реализации, в основе которых лежит сравнение ожидаемой и измеренной скорости рыскания, но различаются способы определения ожидаемой скорости рыскания.

В текущей работе предлагается упрощенный метод определения ожидаемой скорости рыскания  $\omega_{z\_ref}$ , который справедлив при значительных допущениях, однако, его точности достаточно для практического применения, что подтверждено испытаниями. Расчет  $\omega_{z\_ref}$  можно исходя из продольной скорости и радиуса поворота согласно формуле

$$\omega_{z\_ref} = \frac{V_x}{R}, \quad (4)$$

где  $V_x$  – продольная скорость автомобиля;  $R$  – радиус поворота.

Первое допущение – принимаем продольную скорость автомобиля  $V_x$  равной минимальной из скоростей колёс, приведённой к центру масс автомобиля.

Радиус поворота двухосного автомобиля можно определить по формуле (5) исходя из кинематической

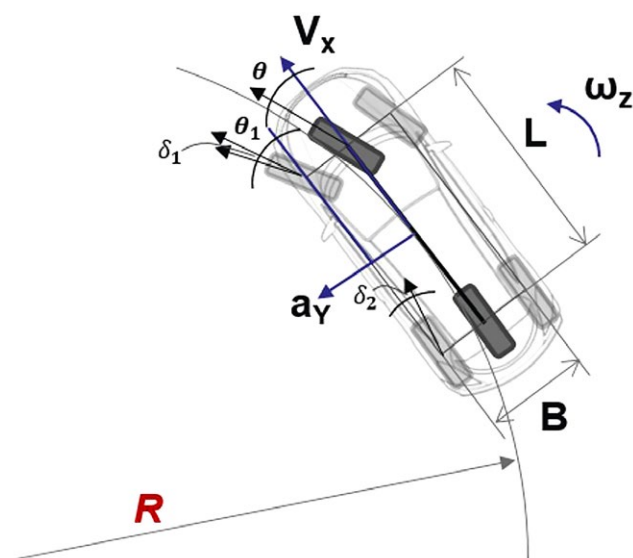


Рис. 5. Расчетная схема криволинейного движения автомобиля.

Fig. 5. Analytical scheme of curvilinear motion of a vehicle.

схемы криволинейного движения автомобиля, представленной на рис. 5.

$$R = \frac{L}{\text{tg}(\theta_1 - \delta_1) + \text{tg}(\delta_2)} + \frac{B}{2}. \quad (5)$$

При малых углах  $\theta_1$  и  $\delta_i$ , которые характерны при рассмотрении устойчивости и управляемости колёсных машин [2] и с учетом того, что при целевой

нейтральной поворачиваемости  $\delta_1 \approx \delta_2$ , можно с достаточной для практики точностью сделать следующее допущение принимающее вид

$$R \approx \frac{L}{\theta}, \quad (6)$$

где  $\theta$  – усреднённый угол поворота передних колёс, линейно зависящий от угла поворота рулевого колеса.

На рис. 6а можно заметить сходимость расчетной и измеренной скорости рыскания при движении без бокового скольжения слева и расхождение вследствие

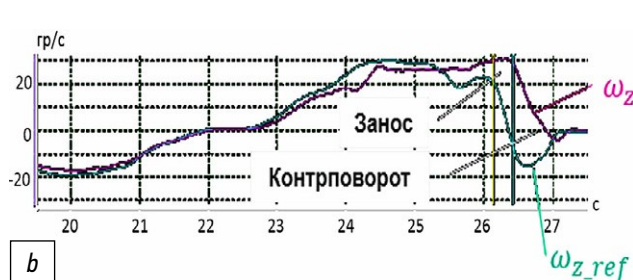
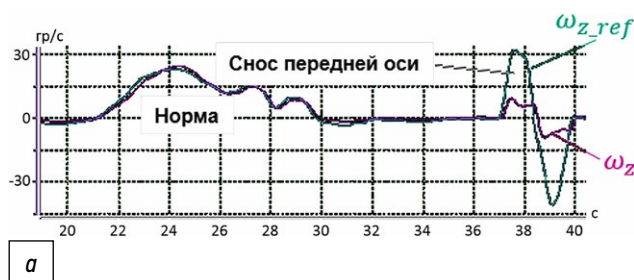


Рис. 6. Соотношение ожидаемой и измеренной скорости рыскания: а) при движении без бокового скольжения и при сносе передней оси; б) при заносе задней оси и контрповороте.

Fig. 6. Comparison of expected and measured yaw rate: a) at driving without side slip and with front axle skidding; b) at rear axle drifting and countersteering.

сноса передней оси справа ( $\omega_{z\_ref} > \omega_z$ ). На рис. 6b показано расхождение расчетной и измеренной скорости рыскания в случае заноса задней оси ( $\omega_{z\_ref} < \omega_z$ ) и контрповорота.

При регистрации расхождения  $\omega_{z\_ref}$  и  $\omega_z$  активируется ПИД-регулятор, который увеличивает момент на задней оси и уменьшает на передней при сносе передней оси, и, наоборот, увеличивает момент на передней оси и снижает на задней в случае заноса задней оси и контрповорота, как проиллюстрировано на рис. 7.

Предложенный способ определения состояния снос/занос/контрповорот и метод регулирования показали работоспособность в ходе испытаний в составе автомобиля.

### БЛОК С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ ПО ОШИБКЕ РАЗНИЦЫ СКОРОСТЕЙ (SLIPCONTROL)

Задача блока контроля пробуксовки – за минимальный промежуток времени обнаружить возникающую пробуксовку, и сгенерировать запрос на снижение момента для её прекращения.

Обнаружение пробуксовки основано на сравнении скоростей передней и задних колёс, данные о которых поступают с датчиков антиблокировочной системы. При криволинейном движении каждое колесо автомобиля имеет свою траекторию движения, вследствие чего возникает ожидаемая разница скоростей осей  $\Delta V_{ref}$ .

Таким образом, для обнаружения пробуксовки необходим расчет значения ожидаемой разницы скоростей  $\Delta V_{ref}$ . Теоретически, эта величина определяется аналитически исходя из расчетной схемы на рис. 5. Однако, при описанных выше допущениях точность определения  $\Delta V_{ref}$  оказалась недостаточной, а учет углов увода значительно усложняет функцию.

Поэтому, для ее определения получена эмпирическая зависимость на основе данных с заездов на целевом автомобиле.  $\Delta V_{ref}$  определяется как зависимость от 2-х переменных: скорости автомобиля и угла поворота руля. Данную зависимость можно представить таблицей, или описать при помощи полиномиальной поверхности, описываемой следующей формулой

$$\Delta V_{ref} = f(V_x, \theta) = c_0 + c_1 V_x + c_2 \theta + c_3 V_x \theta + \dots + c_n (V_x \theta)^n. \tag{6}$$

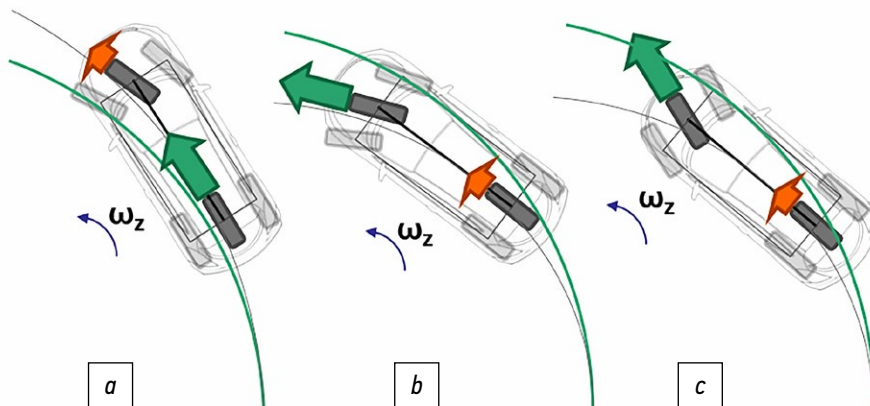


Рис. 7. Регулирование распределением момента по ошибке скорости рыскания: а) при сносе передней оси; б) при заносе задней оси; в) при контрповороте.

Fig. 7. Adjustment of torque distribution according to the yaw rate error: a) at the front axle skidding; b) at the rear axle drifting; c) at countersteering.

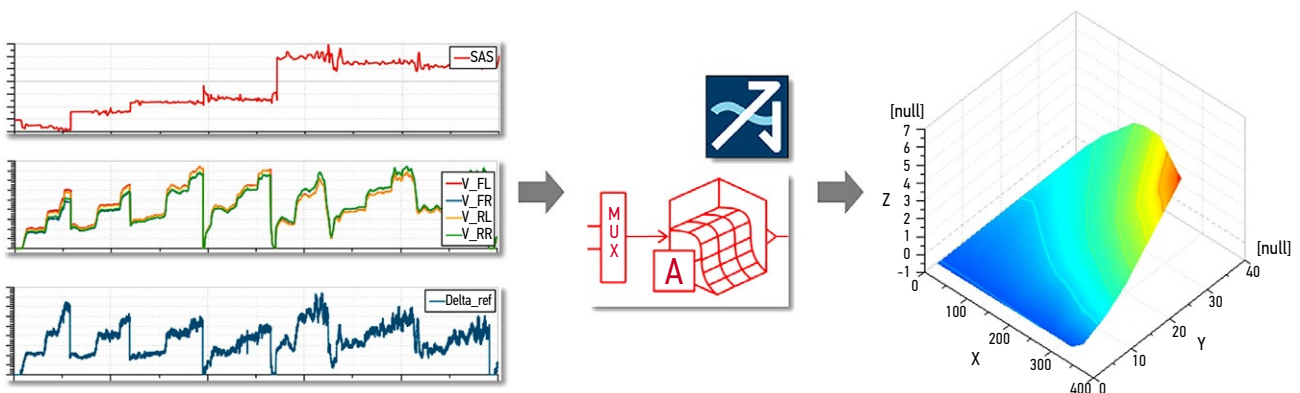


Рис. 8. Получение полиномиальной зависимости от двух переменных.

Fig. 8. Obtaining the two-variable polynomial function.

Преимущества второго варианта в том, что он дает более высокую точность, и в том, что получение коэффициентов полинома может быть автоматизировано.

Для получения коэффициентов полинома был применён инструмент суррогатного моделирования в программно-вычислительном комплексе Simcenter Amesim. Для этого, как проиллюстрировано на рис. 8, был подготовлен набор входных и выходных данных, определены настройки параметров оптимизатора, и на выходе получены коэффициенты полинома, описывающего целевую поверхность.

Пробуксовка регистрируется, когда расхождение измеренной разницы скоростей  $\Delta_V$  и ожидаемой разницы скоростей  $\Delta_{V\_ref}$  выходит за пределы установленных допусков. Чтобы нивелировать шумы сигналов и случайные кратковременные возмущения, применяется интеграционный фильтр, который снижает вероятность ложных срабатываний. На рис. 9 представлен пример графика работы функции обнаружения пробуксовки, где показаны участки допустимой сходимости  $\Delta_V$  и  $\Delta_{V\_ref}$  (1), участки фильтруемых выбросов (2) и участок, на котором регистрируется пробуксовка (3).

При регистрации пробуксовки активируется ПИД-регулятор по ошибке разницы скоростей  $\Delta_{V\_err} = \Delta_V - \Delta_{V\_ref}$ , который генерирует запрос на снижение момента для буксующей оси, который возвращает  $\Delta_V$  пределы допуска. Для обеспечения плавности регулирования установлены ограничения на градиент интервенций регуляторов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Функция, основанная на вышеописанных методах реализована в MATLAB Simulink. Выполнено тестирование в режиме симуляции на имитационной модели, разработанной в Simcenter Amesim и определены первичные значения калибровочных параметров. Затем выполнено внедрение функции в структуру ПО прототипа и компиляция С-кода для прошивки на блок управления. Выполнено тестирование в составе блока управления на стенде

реального времени LabCar. После устранения, выявленных на предыдущих этапах тестирования, недочетов, выполнены калибровки и проведены испытания в составе автомобиля, которые показали эффективность описанного в данной статье функции распределения момента.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНО

**Вклад авторов.** А.М. Заватский — поиск публикаций по теме статьи, написание текста рукописи; А.Н. Малышев — редактирование текста рукописи; В. В. Дебелов — редактирование текста рукописи, создание изображений; А.В. Келлер — экспертная оценка, утверждение финальной версии. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям *ICMJE* (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

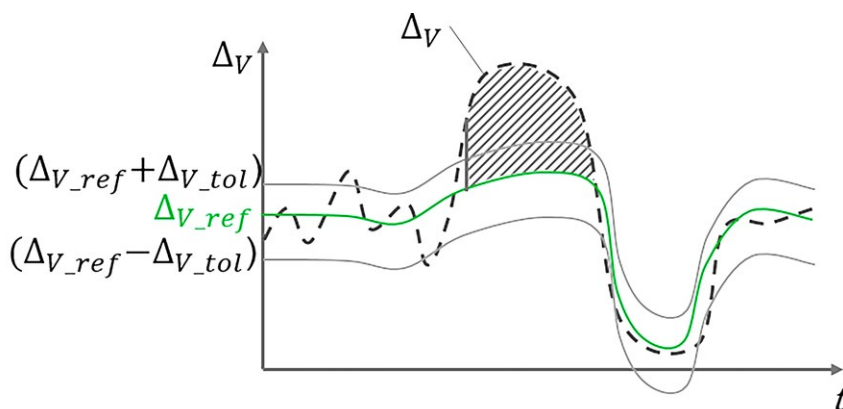
**Источник финансирования.** Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

## ADDITIONAL INFORMATION

**Authors' contribution.** A.M. Zavatsky — search for publications, writing the text of the manuscript; A.N. Malyshev — editing the text of the manuscript; V.V. Debelov — editing the text of the manuscript, creating images; A.V. Keller — expert opinion, approval of the final version. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

**Competing interests.** The authors declare that they have no competing interests.

**Funding source.** This study was not supported by any external sources of funding.



**Рис. 9.** Определение состояния пробуксовки.  
**Fig. 9.** Defining the state of slipping.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мировая статистика-2021: электромобили и подзаряжаемые гибриды. Autoreview.ru [internet] дата обращения: 15.12.2022. Режим доступа: <https://autoreview.ru/news/mirovaya-statistika-2021-elektromobili-i-podzaryazhaemye-gibridy>
2. Ларин В.В. Теория движения полноприводных колесных машин: учебник. Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010.
3. Антонян А.А. Повышение устойчивости и управляемости автомобилей колесной формулой 4x4 путем перераспределения подводимых к колесам вращающихся моментов. дисс. канд. техн. наук. М., 2021.
4. Patent US № 6598721 / 21.05.2019. Michelis A., Ravier C., Moulair P. Understeer and oversteer detector for a motor vehicle.
5. Agliullin T., Ivanov V., Ricciardi V., et al. Torque Vectoring Control on Ice for Electric Vehicles with Individually Actuated Wheels // Conference: The 26th IAVSD Symposium on Dynamics of Vehicles on Roads and Tracks. Gothenburg, 2019.
6. Грачев Е.В., Дебелов В.В., Ендачев Д.В., и др. Разработка концепции управления распределением крутящего момента ведущих колес электромобилей с индивидуальным приводом ведущих колес // Интеллектуальные транспортные системы. Сборник трудов Международного автомобильного научного форума МАНФ-2017. М.: НАМИ, 2017. С. 257–267.
7. Дебелов В.В. Системы управления движением транспортного средства. Уч. пособие. М.: Изд-во ФГУП «НАМИ», 2021.

## REFERENCES

1. World statistics 2021: electric vehicles and plug-in hybrids. Autoreview.ru [internet] (In Russ). Accessed: 15.12.2022. Available from: <https://autoreview.ru/news/mirovaya-statistika-2021-elektromobili-i-podzaryazhaemye-gibridy>
2. Larin VV. *Theory of movement of all-wheel drive wheeled vehicles: a textbook*. Moscow: MGТУ im NE Bauman, 2010. (In Russ).
3. Antonyan AA. *Povyshenie ustoychivosti i upravlyaemosti avtomobiley kolesnoy formu-loy 4kh4 putem pereraspredeleniya podvodimykh k kolesam vrashchayushchikh momentov* [dissertation] Moscow; 2021. (In Russ).
4. Patent US № 6598721 / 21.05.2019. Michelis A, Ravier C, Moulair P. Understeer and oversteer detector for a motor vehicle.
5. Agliullin T, Ivanov V, Ricciardi V, et al. Torque Vectoring Control on Ice for Electric Vehicles with Individually Actuated Wheels. In: *Conference: The 26th IAVSD Symposium on Dynamics of Vehicles on Roads and Tracks*. Gothenburg; 2019.
6. Grachev EV, Debelov VV, Endachev DV, et al. Development of a concept for controlling the distribution of torque of the driving wheels of electric vehicles with an individual drive of the driving wheels. *Intellektualnye transportnye sistemy. Sbornik trudov Mezhdunarodnogo avtomo-bilnogo nauchnogo foruma MANF-2017*. Moscow: Izd-vo FGUP «NAMИ»; 2017:257–267. (In Russ).
7. Debelov VV. *Vehicle motion control systems. textbook*. Moscow: Izd-vo FGUP «NAMИ»; 2021. (In Russ).

## ОБ АВТОРАХ

\* **Заватский Александр Михайлович**, инженер-конструктор отдела калибровочных работ гибридных транспортных средств; адрес: Российская Федерация, 125438, Москва, ул. Автомоторная, д. 2; ORCID: 0000-0003-0616-1350; eLibrary SPIN: 9509-1069; e-mail: [aleksandr.zavatskiy@nami.ru](mailto:aleksandr.zavatskiy@nami.ru)

**Дебелов Владимир Валентинович**, канд. техн. наук, заведующий отделом технологии программного обеспечения; ORCID: 0000-0001-6050-0419; eLibrary SPIN: 8701-7410; e-mail: [vladimir.debelov@nami.ru](mailto:vladimir.debelov@nami.ru)

**Малышев Андрей Николаевич**, заведующий отделом калибровочных работ гибридных транспортных средств; ORCID: 0000-0003-0233-0348; eLibrary SPIN: 6196-3162; e-mail: [andrey.malyshev@nami.ru](mailto:andrey.malyshev@nami.ru)

**Келлер Андрей Владимирович**, профессор, д-р техн. наук, и.о. заместителя директора; ORCID: 0000-0003-4183-9489; eLibrary SPIN: 4622-5727; e-mail: [andrey.keller@nami.ru](mailto:andrey.keller@nami.ru)

\* Автор, ответственный за переписку

## AUTHORS' INFO

\* **Alexander M. Zavatsky**, Design Engineer of the Hybrid Vehicle Calibrations Department; address: 2 Avtomotornaya street, 125438 Moscow, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-0616-1350; eLibrary SPIN: 9509-1069; e-mail: [aleksandr.zavatskiy@nami.ru](mailto:aleksandr.zavatskiy@nami.ru)

**Vladimir V. Debelov**, Cand. Sci. (Tech.), Head of the Software Technologies Department; ORCID: 0000-0001-6050-0419; eLibrary SPIN: 8701-7410; e-mail: [vladimir.debelov@nami.ru](mailto:vladimir.debelov@nami.ru)

**Andrey N. Malyshev**, Head of the Hybrid Vehicle Calibrations Department; ORCID: 0000-0003-0233-0348; eLibrary SPIN: 6196-3162; e-mail: [andrey.malyshev@nami.ru](mailto:andrey.malyshev@nami.ru)

**Andrey V. Keller**, Professor, Dr. Sci. (Tech.), Acting Deputy Director; ORCID: 0000-0003-4183-9489; eLibrary SPIN: 4622-5727; e-mail: [andrey.keller@nami.ru](mailto:andrey.keller@nami.ru)

\* Corresponding author