

Разработка закона стабилизации корпуса многоосных колесных машин при силовом и кинематическом воздействии на базе пропорционально-дифференциального регулятора с адаптивной настройкой параметров

06, июнь 2013

DOI: 10.7463/0613.0567697

Жилейкин М. М., Федотов И. В.

УДК 62-522.2

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

ОАО «КАМАЗ»

jileykin_m@mail.ru

automobile@yandex.ru

Введение

Особенности эксплуатации многоосных колесных машин (МКМ) предъявляют высокие требования к их эксплуатационным показателям. Одним из важнейших показателей является подвижность, т.е. способность МКМ двигаться по дорогам с заданными статистическими характеристиками неровностей с заданными скоростями и преодолевать единичные препятствия (эскарп, контрэскарп, траншея и др.).

В настоящее время большое количество факторов ограничивает мобильность МКМ. Тягово-скоростные свойства автомобиля оказывают основное влияние на формирование максимальных и средних скоростей движения. Однако, и другие эксплуатационные качества, влияющие на показатели устойчивости, управляемости, проходимости, вибронагруженности, также в большой степени оказывают влияние на скорость движения машины. Совершенствование конструкций подвесок, создание управляемых систем поддрессоривания в подавляющем большинстве случаев позволяет улучшить эксплуатационные показатели, что способствует увеличению средних и максимальных скоростей движения [1].

Изучению вопросов, связанных с обеспечением плавности хода МКМ, в том числе и с помощью разработки управляемых систем поддрессоривания, посвящено большое число исследований советских, российских и зарубежных ученых и инженеров. Тем не

менее, несмотря на достигнутые успехи, системы первичного поддресоривания по-прежнему сдерживают дальнейший рост параметров быстроходности.

Главная причина этого заключается в том, что широкий спектр эксплуатационных режимов МКМ предъявляет противоречивые требования к системе первичного поддресоривания. Во-первых, при движении по дорогам хорошего качества с высокими скоростями приоритетным является требование обеспечения устойчивости и управляемости машины. Однако, здесь положение усугубляется склонностью МКМ к опрокидыванию ввиду больших значений отношения базы машины к ширине колеи при высоко расположенном центре тяжести. Для обеспечения этих требований подвеска должна быть «жесткой» и короткоходной.

В случае движения по грунтовым дорогам на первое место выходят требования по снижению вибронагруженности экипажа и повышению плавности хода. Здесь, наоборот, требуется «мягкая» длинноходная подвеска.

В момент преодоления машиной крупных единичных препятствий (эскарпы, траншеи, косогоры и др.) силы, действующие на несущую систему МКМ со стороны подвески, в несколько раз превышают статическую нагрузку [2]. Это заставляет разработчиков вводить ограничения, связанные с уменьшением уровня демпфирования и коэффициента динамичности подвески, которая должна быть «мягкой» и длинноходной.

И, наконец, кроме кинематического воздействия со стороны неровностей дороги, на корпус МКМ действуют силы, возникающие при разгоне, торможении, повороте, действии импульсной боковой нагрузки. Здесь, в первую очередь, требуется обеспечение динамической стабилизации корпуса, т.е. устойчивости, для чего подвеска должна быть «жесткой».

Одним из перспективных способов решения указанных проблем является разработка управляемых систем поддресоривания, обеспечивающих стабилизацию корпуса МКМ при различных воздействиях. В работах [3, 4] был предложен закон динамической стабилизации на базе четкого ПД-регулятора с адаптивной настройкой параметров в зависимости от «жесткости» входного воздействия. Однако известно, что четкие ПИД-регуляторы имеют недостаточную эффективность при управлении нелинейными системами, а также при недостаточной информации об объекте управления [5].

1. Применение нечёткой логики для подстройки коэффициентов регулятора

В последнее время широкую популярность находят нечеткие модели и алгоритмы управления [6-8]. Известно, что нечеткое управление основано на использовании не столько аналитических или теоретических моделей, сколько на практическом применении

знаний квалифицированных специалистов, представленных в форме лингвистических баз правил. Нечеткое управление эффективно в случаях недетерминированности параметров объектов, когда существует определенный опыт экспертов по управлению и настройке автоматизированной системы регулирования (АСР). Теория нечеткой логики позволяет использовать знания специалистов — экспертов с целью улучшения процессов управления и оказания помощи по настройке типовых регуляторов. Исходя из вышесказанного, задача создания метода адаптации ПД-регулятора, реализующего опыт экспертов, становится актуальной.

Нечёткая логика в ПД-регуляторах используется преимущественно двумя путями: для построения самого регулятора и для организации подстройки коэффициентов ПД-регулятора. Подстройка коэффициентов регулятора может быть выполнена на основании эвристических правил автоматически, с помощью блока нечёткой логики, который использует базу правил и методы нечёткого вывода. Фаззи-подстройка позволяет уменьшить перерегулирование, снизить время установления и повысить робастность ПИД-регулятора [9].

Рассмотрим подробно процесс настройки пропорционально-дифференциального регулятора, обеспечивающего стабилизацию корпуса многоосной колесной машины по трем координатам: углам крена и тангажа и вертикальному положению центра масс. В работе [1] показано, что стабилизация возможна по каждой из координат в отдельности на основании уравнения регулятора, которое в общем виде можно записать как

$$U = -K \cdot x - K_p \cdot \dot{x},$$

где U – управляющее силовое воздействие на корпус;

x – значение фазовой координаты;

K, K_p – коэффициенты регулятора.

Процесс автонастройки регулятора с помощью блока нечёткой логики начинается с поиска начальных приближений коэффициентов регулятора K, K_p . Эта процедура описана в работе [3]. В процессе настройки регулятора используется несколько шагов [10].

Сначала выбираются диапазоны входных и выходных сигналов, форма функций принадлежности искомым параметрам, правила нечёткого вывода, механизм логического вывода, метод дефаззификации и диапазоны масштабных множителей, необходимых для пересчёта чётких переменных в нечёткие.

1.1. Процедура фаззификации

Начнем процедуру фаззификации. Введем следующие входные лингвистические переменные $X_1 - X_6$:

- 1) X_1 : абсолютное значение угла продольного наклона корпуса;
- 2) X_2 : абсолютное значение продольно-угловой скорости наклона корпуса;
- 3) X_3 : абсолютное значение угла поперечного наклона корпуса;
- 4) X_4 : абсолютное значение поперечно-угловой скорости наклона корпуса;
- 5) X_5 : абсолютное значение вертикального перемещения центра масс корпуса;
- 6) X_6 : абсолютное значение скорости вертикального перемещения центра масс корпуса.

Введем также две выходные переменные Y_1 и Y_2 :

- 1) Y_1 : коэффициент K ;
- 2) Y_2 : коэффициент K_p .

В нечеткой логике значения любой величины представляются не числами, а словами естественного языка и называются термами. Введем следующие термы для всех лингвистических переменных: «высокий уровень»; «средний уровень»; «низкий уровень».

Для завершения процедуры фаззификации построим функцию принадлежности для каждой лингвистической переменной на основе экспертной информации. Формулировка задачи построения функций принадлежности приведена в работе [11].

Обработка результатов экспертного опроса проводится на основе статистических методов с целью определения достоверности и согласованности их оценок. Если в результате проведения такого анализа будет установлено, что мнения экспертов имеют слишком большой разброс, необходимо провести коррекцию их позиции и повторить опрос. Методика обработки мнения экспертов приведена в [12].

1.2. Определение значений функций принадлежности для входных и выходных лингвистических переменных

На основе обработки мнений пяти экспертов по известным методикам [11, 12] построены функции принадлежности входных (рис. 1-5) и выходных (рис. 6) переменных.

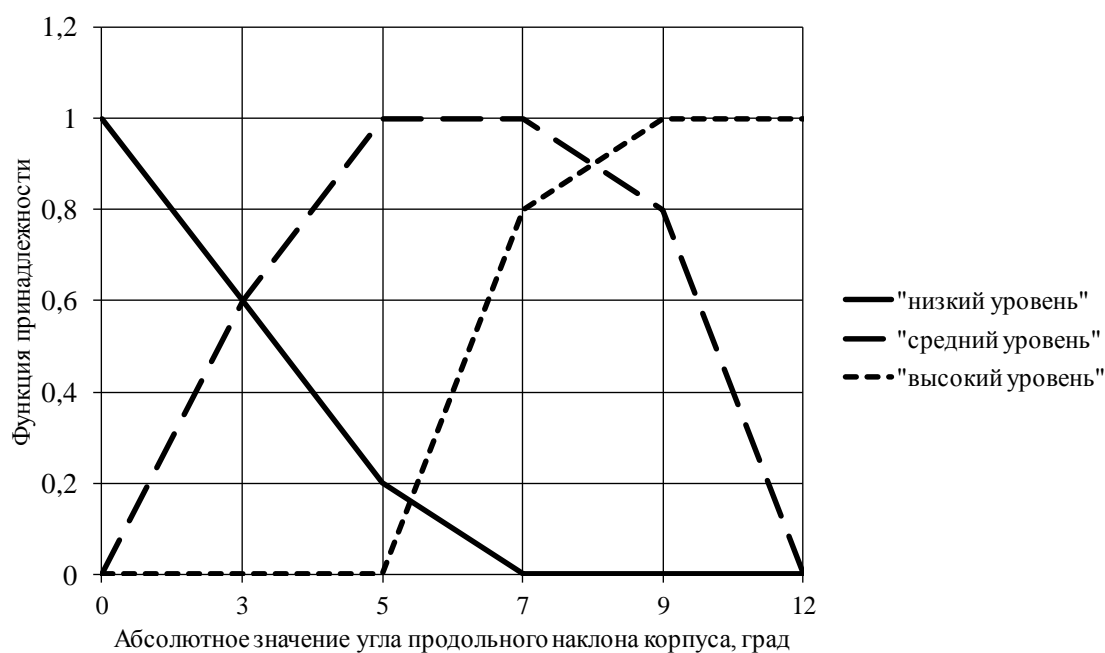


Рис. 1. Функции принадлежности входной переменной X_1 «Абсолютное значение угла продольного наклона корпуса»

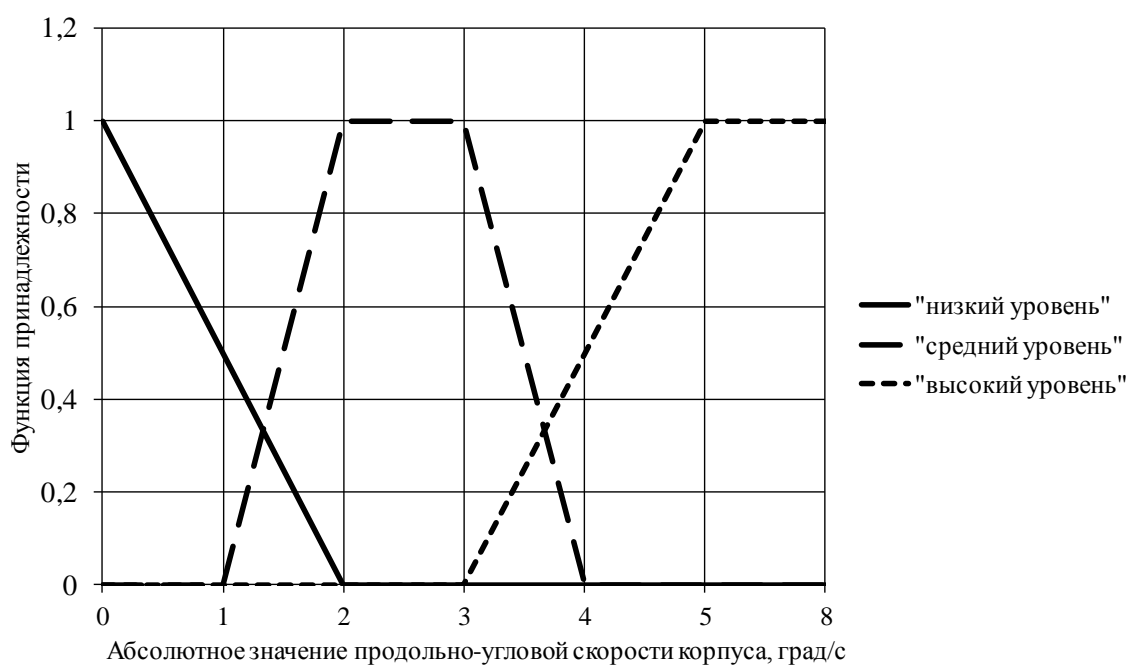


Рис. 2. Функции принадлежности входной переменной X_2 «Абсолютное значение продольно-угловой скорости корпуса» и X_4 «Абсолютное значение поперечно-угловой скорости корпуса»

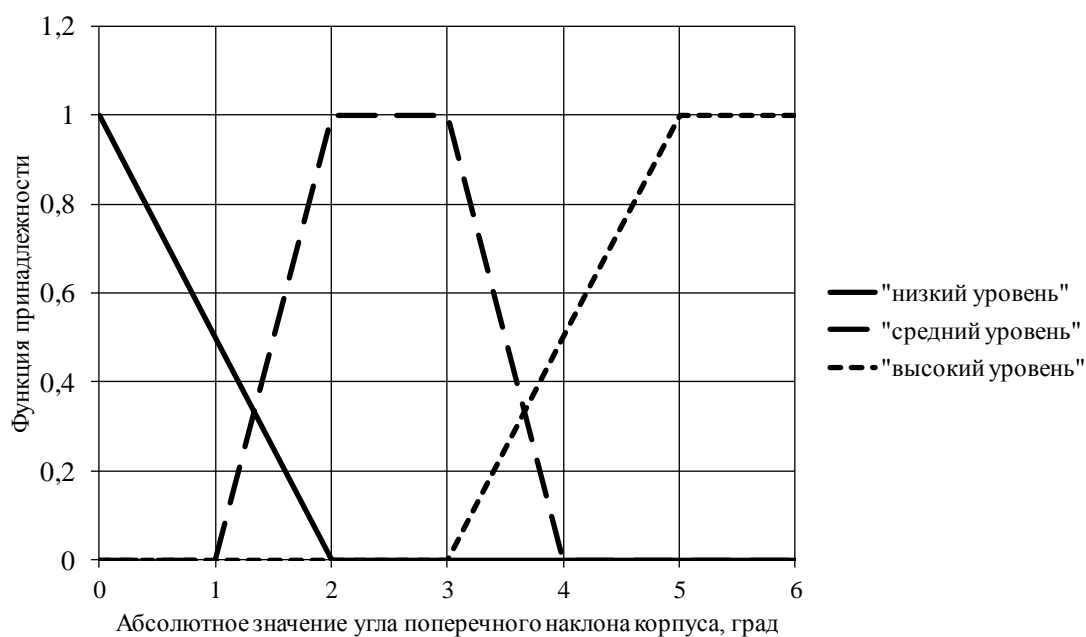


Рис. 3. Функции принадлежности входной переменной X_3
«Абсолютное значение угла поперечного наклона корпуса»

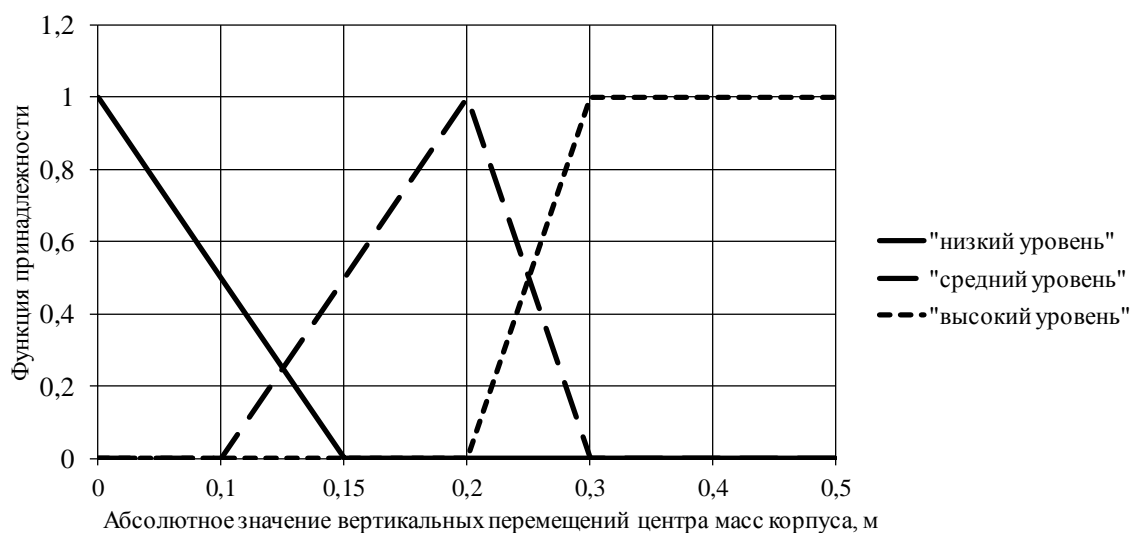


Рис. 4. Функции принадлежности входной переменной X_5
«Абсолютное значение вертикальных перемещений центра масс корпуса»

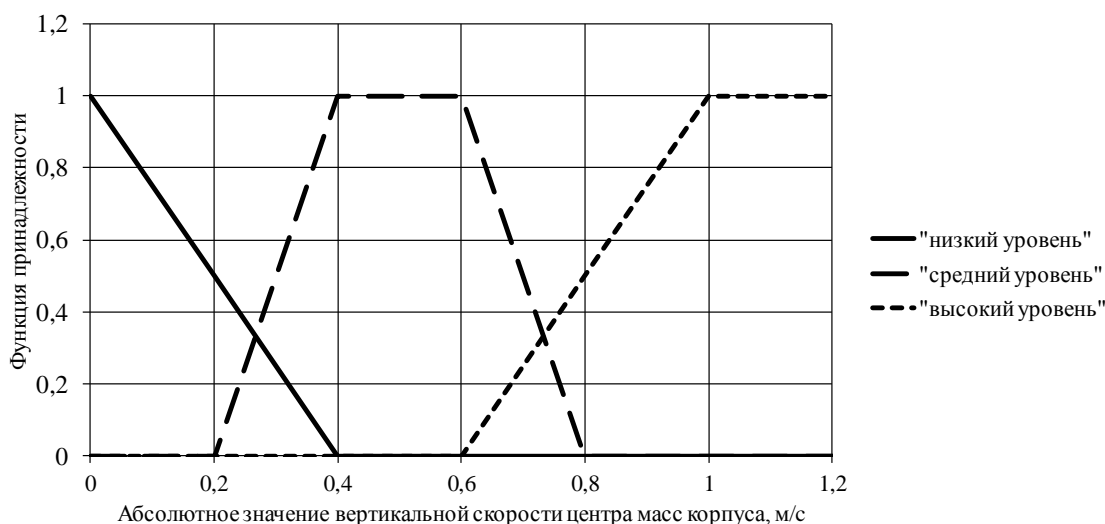


Рис. 5. Функции принадлежности входной переменной X_6 «Абсолютное значение вертикальной скорости центра масс корпуса»

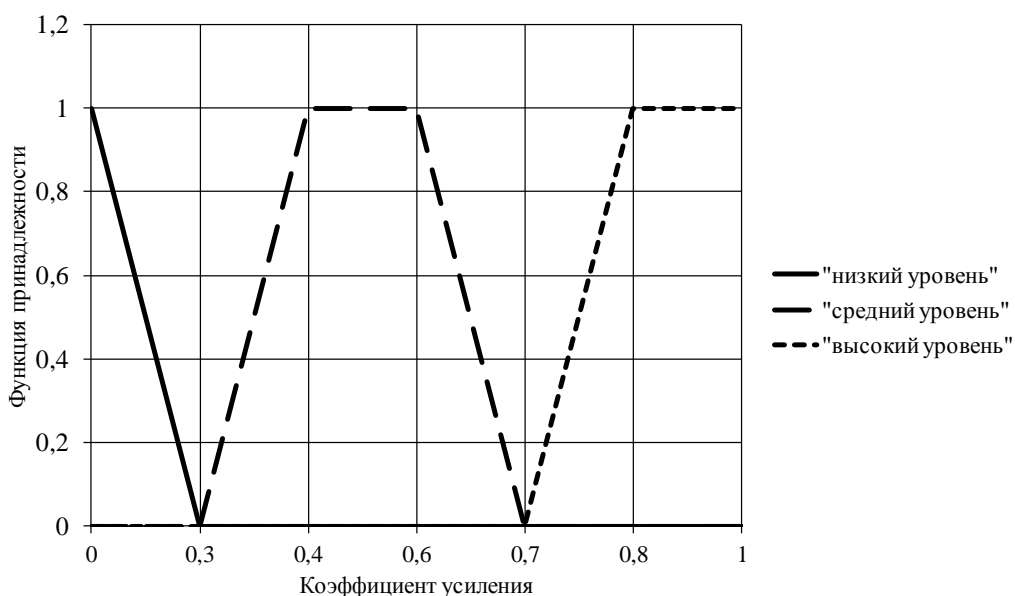


Рис. 6. Функции принадлежности выходных переменных Y_1 и Y_2

1.3. Правила и механизм нечёткого логического вывода

Следующий этап – разработка нечетких правил. Большинство нечетких систем используют продукционные правила, связывающие лингвистические переменные [13].

Совокупность таких правил описывает стратегию принятия решения, применяемую в данной задаче.

Типичное продукционное правило состоит из антецедента (часть ЕСЛИ...) и консеквента (часто ТО...). Антецедент может содержать более одной посылки. В этом случае они объединяются посредством логических связок И или ИЛИ. Будем использовать при построении правил только связку И.

Процесс вычисления нечеткого правила называется нечетким логическим выводом и подразделяется на два этапа: обобщение и заключение. Будем использовать алгоритм нечеткого логического вывода Мамдани [11]. Пример нечеткого правила выглядит следующим образом:

ЕСЛИ X_1 «Абсолютное значение угла продольного наклона корпуса» = «средний уровень» И X_2 «Абсолютное значение продольно-угловой скорости корпуса» = «средний уровень», ТО Y_1 «коэффициент K » = «средний уровень».

Полный набор нечетких правил приведен в таблицах 1 - 3.

Таблица 1.

Таблица нечетких правил для выходной переменной Y_1 «коэффициент K »

		$ \dot{z} $		
		Низкий уровень	Средний уровень	Высокий уровень
$ z $	Низкий уровень	Низкий уровень	Низкий уровень	Низкий уровень
	Средний уровень	Средний уровень	Средний уровень	Средний уровень
	Высокий уровень	Высокий уровень	Высокий уровень	Высокий уровень

Примечание: $|\dot{z}|$ - входные переменные X_2 или X_4 или X_6 ; $|z|$ - входные переменные X_1 или X_3 или X_5 соответственно.

Таблица 2.

Таблица нечетких правил для выходной переменной Y_2 «коэффициент K_p » для случая $\dot{z} \cdot z \leq 0$

		$ \dot{z} $		
		Низкий уровень	Средний уровень	Высокий уровень
$ z $	Низкий уровень	Высокий уровень	Высокий уровень	Высокий уровень
	Средний уровень	Высокий уровень	Средний уровень	Низкий уровень
	Высокий уровень	Низкий уровень	Низкий уровень	Низкий уровень

Примечание: $|\dot{z}|$ - входные переменные X_2 или X_4 или X_6 ; $|z|$ - входные переменные X_1 или X_3 или X_5 соответственно.

Таблица нечетких правил для выходной переменной Y_2
«коэффициент K_p » для случая $\dot{z} \cdot z > 0$

		$ \dot{z} $		
		Низкий уровень	Средний уровень	Высокий уровень
$ z $	Низкий уровень	Низкий уровень	Средний уровень	Высокий уровень
	Средний уровень	Низкий уровень	Средний уровень	Высокий уровень
	Высокий уровень	Высокий уровень	Высокий уровень	Высокий уровень

Примечание: $|\dot{z}|$ - входные переменные X_2 или X_4 или X_6 ; $|z|$ - входные переменные X_1 или X_3 или X_5 соответственно.

В результате логического вывода по j -му правилу получаем нечеткое значение выходной переменной Y_j

$$\mu_j(Y) = \min[\mu_j(X_1), \mu_j(X_2)],$$

где $\mu_j(X_1)$, $\mu_j(X_2)$ - значение функций принадлежности по j -му правилу для входных переменных X_1 и X_2 соответственно. Такая операция взятия минимума называется импликацией [11].

Например, если для переменной «Абсолютное значение угла продольного наклона корпуса» $\mu_j(X_1) = 0,9$, а для переменной «Абсолютное значение продольно-угловой скорости корпуса» $\mu_j(X_2) = 0,8$, то $\mu_j(Y) = \min[0,9; 0,8] = 0,8$.

Операция импликации означает «срезание» функции принадлежности $\mu_j(Y)$. Смысл этой операции пояснен в работе [11].

Если множество термов L является «размытым», то результатом нечеткого логического вывода может быть несколько термов $\mu_j(Y)$ выходной переменной. В этом случае наряду с операцией импликации для каждого значения $\mu_j(Y)$ необходимо провести операцию агрегирования (объединения) нечеткого множества $\mu(Y) = [\mu_1(Y), \mu_2(Y), \dots, \mu_n(Y)]$, которая обычно реализуется операцией взятия максимума [11].

1.4. Процедура дефаззификации

На последнем этапе необходимо осуществить переход от нечетких значений выходной величины Y значения прогноза определяющего параметра к четкому числовому значению. Эта операция называется дефаззификацией (устранением нечеткости). Наиболее часто применяется дефаззификация по методу центра тяжести [11]. При этом четкое значение определяется как проекция центра тяжести фигуры, ограниченной функциями принадлежности выходной переменной с допустимыми значениями, по формуле

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n u_i \cdot \mu(u_i)}{\sum_{i=1}^n \mu(u_i)}.$$

Рассмотренный метод нечеткого моделирования может быть отнесен к числу полуавтоматических процедур, поскольку большинство выполняемых шагов, включая построение универсума на основании множества исходных данных задачи, могут быть эффективно воплощены в программной форме, однако участие аналитиков (экспертов) при формировании соответствующих нечетких множеств играет также огромную роль.

2. Ограничения на управляющее воздействие

2.1. Для активной системы подрессоривания

При разработке систем автоматического регулирования актуальной задачей является использование таких алгоритмов управления, которые использовали бы какую-либо функцию, ограничивающую выходной сигнал. Выходной сигнал регулятора должен иметь ограниченную амплитуду, по крайней мере, по двум причинам: во-первых, в связи с ограниченными энергетическими ресурсами (реализация больших величин управляющих сигналов требует больших энергетических затрат); во-вторых, рабочий диапазон давлений в пневмогидравлическом устройстве системы подрессоривания всегда ограничен, в случае превышения давлением предельно допустимой величины срабатывает предохранительный клапан. Таким образом, всегда определяется верхняя граница допустимых управляющих воздействий. Существует также нижняя граница управляющих воздействий, которая вместе с верхней границей образуют область допустимых значений управления. Рассмотрим такую область допустимых воздействий для пневмогидравлической рессоры (ПГР). На рис. 7 область допустимых значений управляющих воздействий заштрихована. В

работе были приняты следующие значения ограничений: максимальная мощность, которая может быть затрачена на управление подвеской, равна 120 кВт; максимальное давление в гидросистеме – 30 МПа.

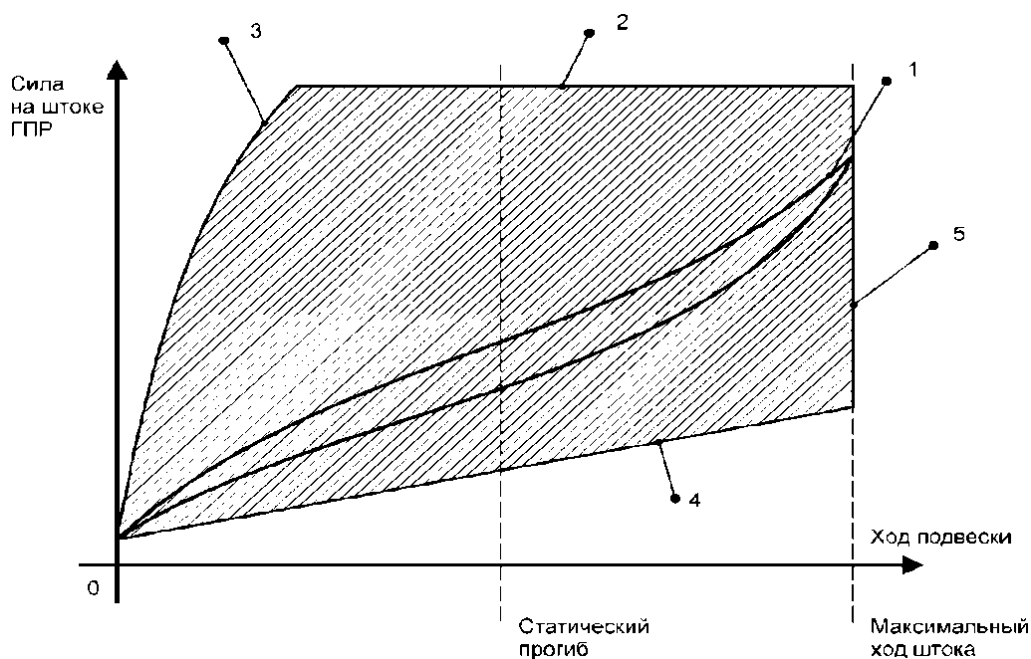


Рис. 7. Область допустимых значений управляющих воздействий для ПГР:

1 – нагрузочная характеристика неуправляемой ПГР; 2 - ограничения, обусловленные максимально допустимым давлением в полости ПГР; 3 – ограничения, обусловленные энергетическими возможностями гидросистемы колесной машины; 4 - ограничения, связанные с наличием сил трения в ПГР; 5 – ограничения максимально допустимого хода подвески

2.2. Для полуактивной системы поддрессоривания

Рассмотрим управляемые полуактивные системы поддрессоривания на основе магнитореологического демпфера (МРД). На рис. 8 область допустимых значений управляющих воздействий заштрихована.

3. Анализ эффективности разработанного адаптивного закона управления активной и полуактивной системами поддрессоривания

Для оценки эффективности разработанного адаптивного непрерывного пропорционально-дифференциального закона управления полуактивной подвеской и того же закона для активной системы поддрессоривания на различных скоростях движения по грунтовой дороге 2-й категории [1] моделировалось движение МКМ в диапазоне

скоростей 10...60 км/ч. Математическая модель движения МКМ представлена в работе [14], технические характеристики машины – в работе [1].

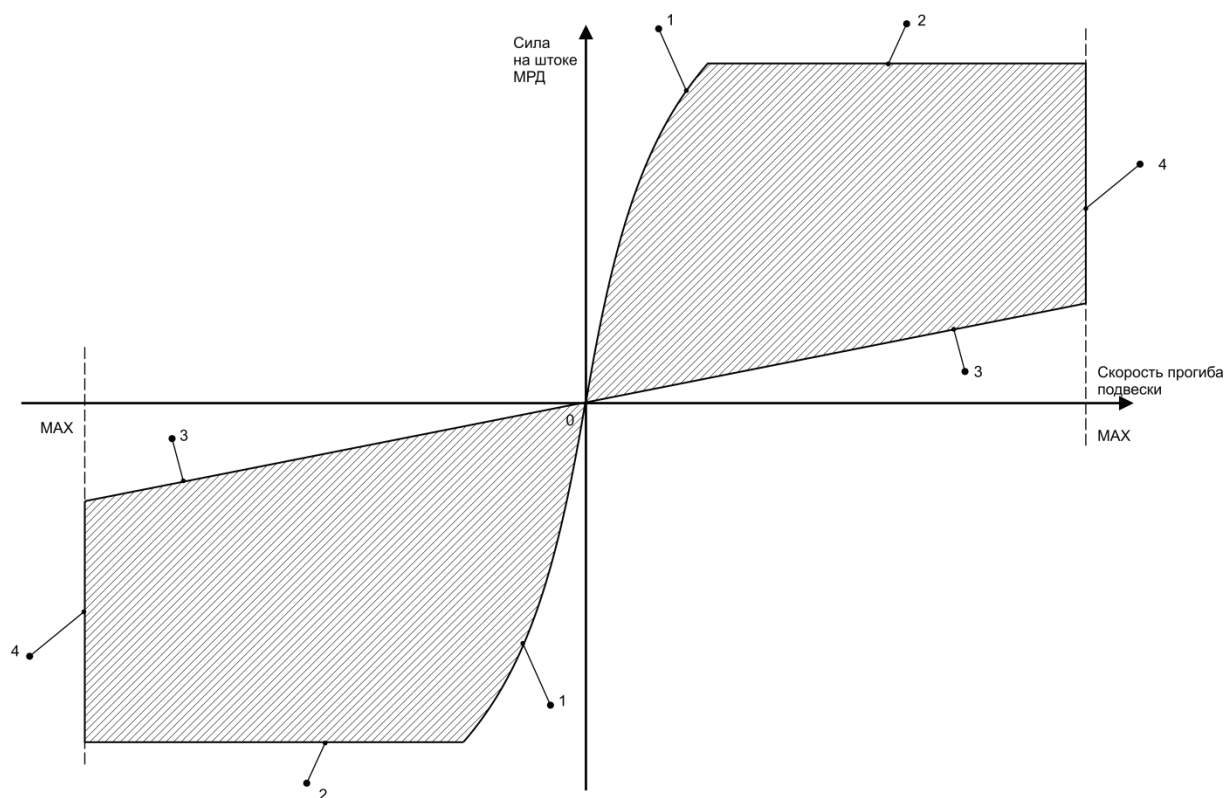
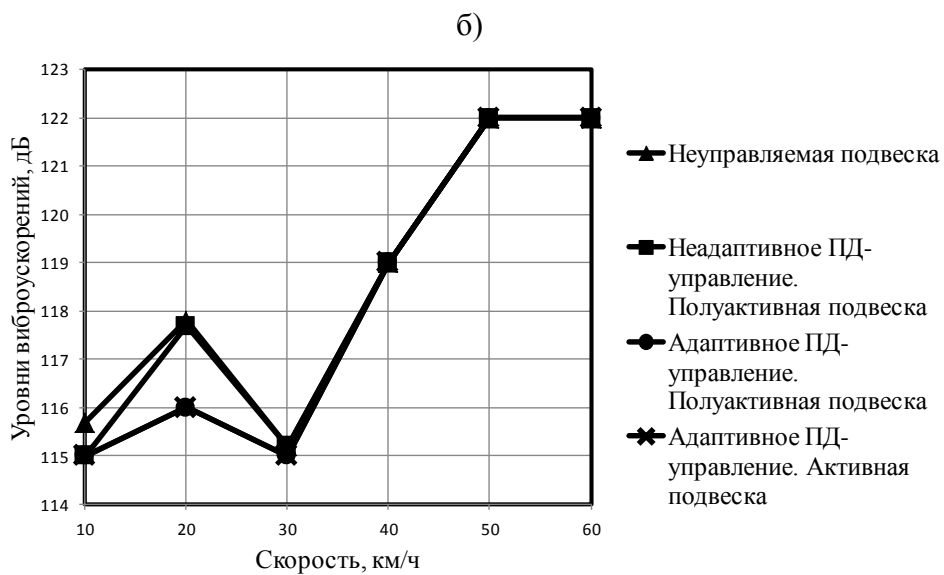
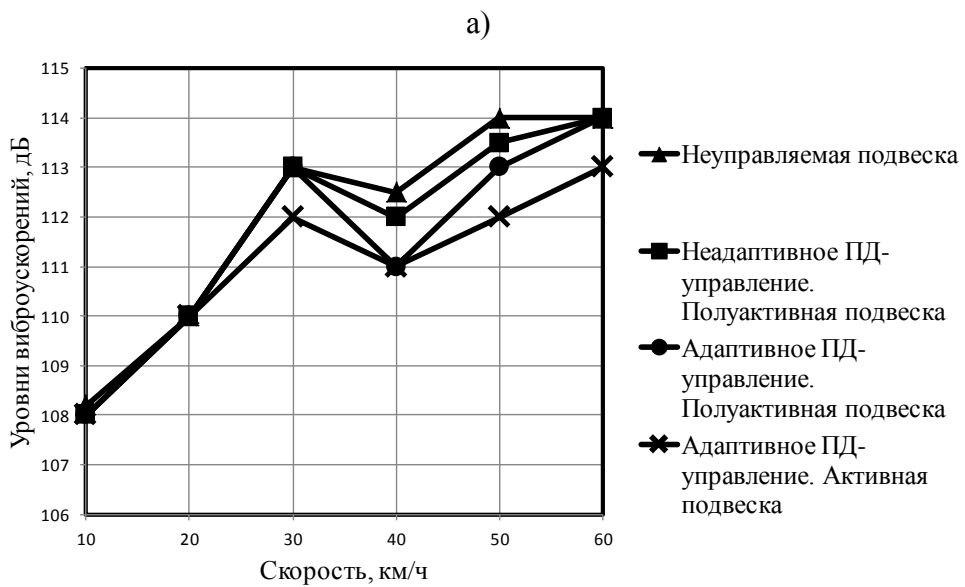
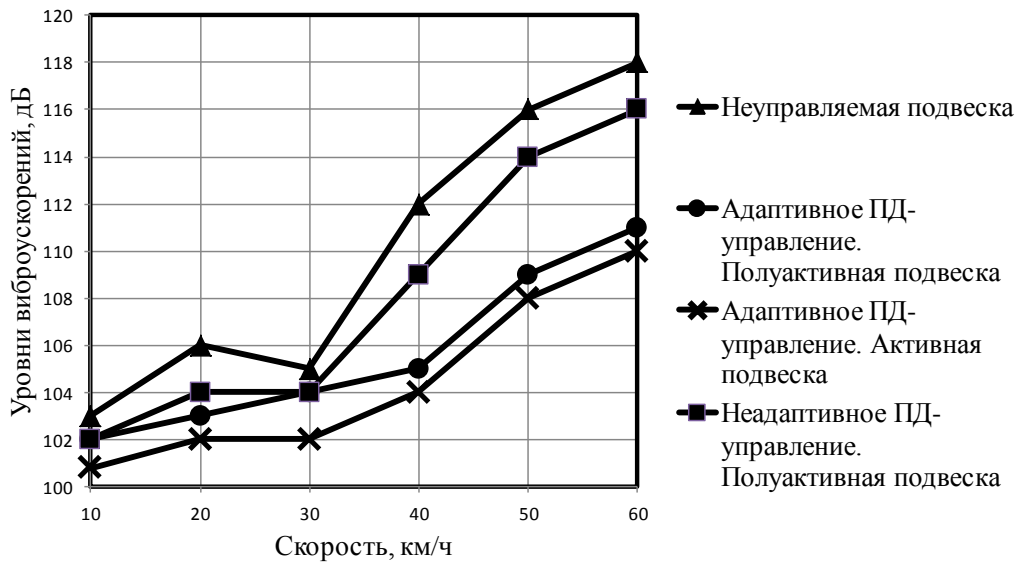
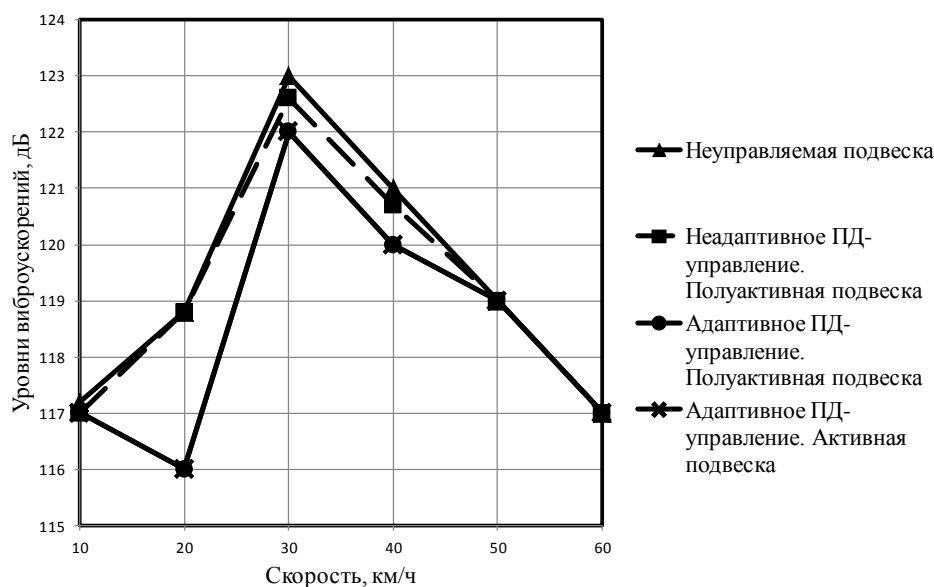


Рис. 8. Область допустимых значений управляющих воздействий для МРД:

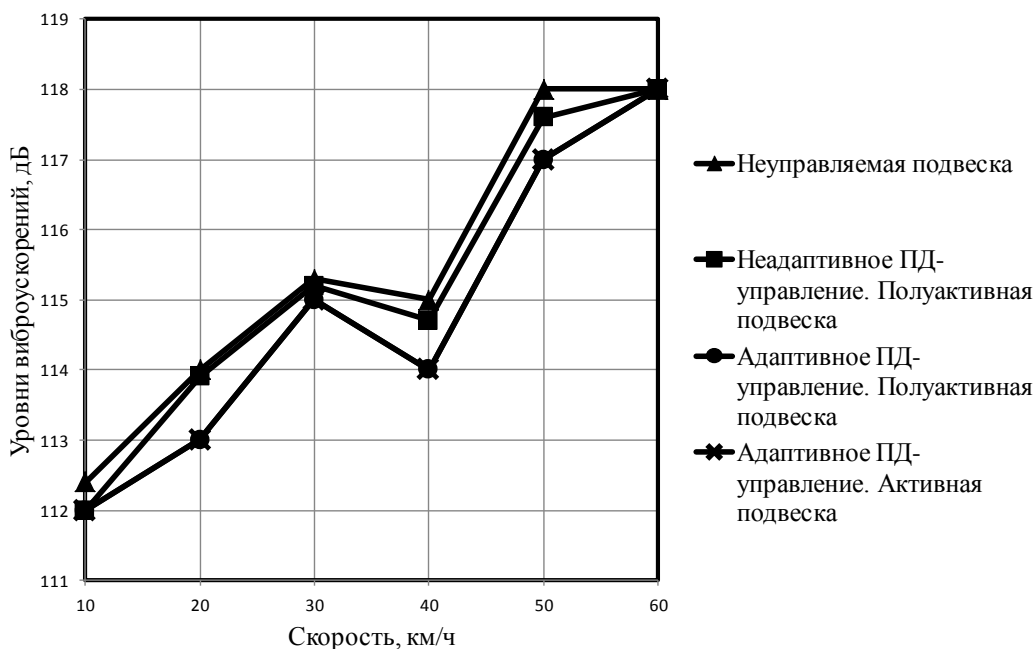
- 1 – ограничения, обусловленные минимальным уровнем демпфирования в МРД;
- 2 – ограничения, обусловленные максимально допустимым давлением в полости МРД;
- 3 – ограничения, связанные с наличием минимального уровня демпфирования в МРД;
- 4 – ограничения, связанные с максимальным уровнем скорости прогиба подвески

На рис. 9 (а – д) представлены уровни вертикальных виброускорений на месте водителя для I – V октавных полос частот для различных систем поддрессоривания.





г)



д)

Рис. 9. Уровни вертикальных виброускорений в октавных полосах частот: а) – I октава; б) – II октава; в) – III октава; г) – IV октава; д) – V октава.

Для проведения сравнительного анализа эффективности разработанного адаптивного непрерывного пропорционально-дифференциального закона управления полуактивной подвеской и того же закона для активной системы поддрессоривания используем критерий K_i (для i -ой скорости движения на всей совокупности грунтовых дорог), характеризующий работу данной системы по сравнению с неуправляемой подвеской [1]:

$$K_i = \left(\frac{1}{5} \sum_{j=1}^5 \frac{D_{ij} - D_{0ij}}{D_{0ij}} \right) \times 100\%. \quad (1)$$

Здесь D_{ij} - дисперсия вертикальных ускорений на месте водителя для случая управляемой подвески при движении с i -ой скоростью; j – номер категории грунтовой дороги.

Критерий (1) характеризует степень снижения дисперсии вертикальных ускорений на месте водителя для случая управляемой подвески по сравнению с неуправляемой системой поддрессоривания. На рис. 10 показана зависимость показателя эффективности K_i для различных законов управления от скорости движения для всей совокупности грунтовых дорог.

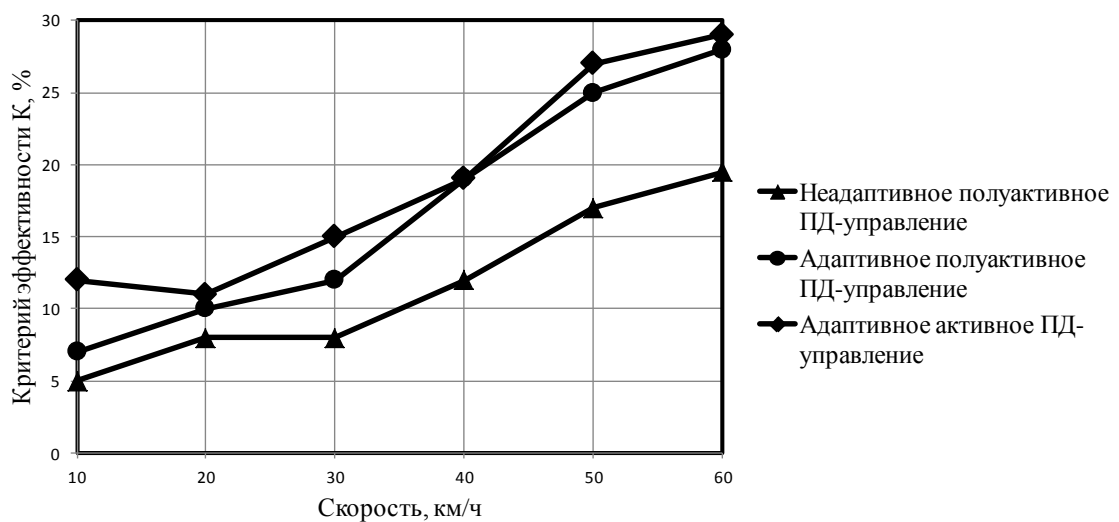


Рис. 10. Зависимость критерия эффективности K_i для различных законов управления подвеской для различных скоростей движения по грунтовым дорогам

Анализ представленных результатов позволяет сделать вывод о том, что эффективность (снижение уровня дисперсии вертикальных ускорений на месте водителя по сравнению с неуправляемой подвеской) адаптивного пропорционально-дифференциального закона для активной системы поддрессоривания составляет 12...29%. Эффективность для того же закона для полуактивной системы поддрессоривания составляет 7...28%.

4. Оценка энергетических затрат на управление активной подвеской при движении по случайному профилю

Оценка средней мощности N , затраченной на управление пневмогидравлической рессорой путем нагнетания или стравливания рабочей жидкости из полости над поршнем ПГР проводилась по формуле

$$N = \frac{1}{T} \int_0^T s \cdot Q_i(t) dt,$$

$$s = \begin{cases} \Delta p, & \text{если } \Delta p > 0 \\ 0, & \text{если } \Delta p \leq 0 \end{cases}$$

где T – интервал времени;

$Q_i(t)$ – расход рабочей жидкости на управление i -ой ПГР;

Δp – требуемый перепад давлений.

Если приращение усилия в подвеске $\Delta P_i > 0$, то разность давлений в поршневой полости и напорной магистрали гидросистемы $\Delta p_i > 0$, и наоборот. Разность давлений Δp_i рассчитывается по формуле

$$\Delta p_i = \Delta P_i / S,$$

где S – площадь цилиндра ПГР.

Расход рабочей жидкости на управление $Q_i(t)$ определяется формулой

$$Q(t)_i = \mu \cdot f_{op} \cdot \text{sign}(\Delta p_i) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot |\Delta p_i|}{\rho}}.$$

Значения средней мощности, затраченной на управление подвеской при движении по грунтовым дорогам 1...5 категорий в диапазоне скоростей 10 ... 70 км/час приведены на рис. 11. Максимальное значение мощности, затрачиваемой на управление для активной системы поддрессоривания достигает значения 115 кВт.

Для полуактивной подвески затраты энергии на управление сводятся к затратам на создание электромагнитного поля в локальной зоне дроссельных отверстий магнито-реологического демпфера, что на порядок меньше затрат на активное управление.

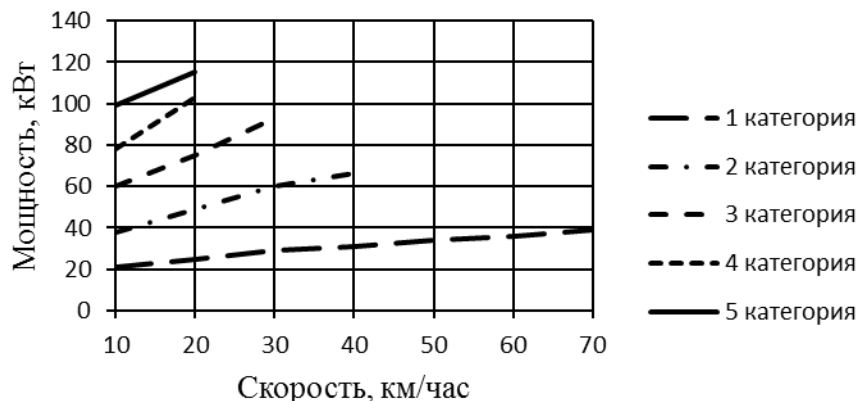


Рис. 11. Средняя мощность, затраченная на управление при движении по грунтовой дороге с различными скоростями

Выводы

- 1) На основе применения методов нечеткой логики разработан адаптивный пропорционально-дифференциальный закон непрерывного управления системой поддрессоривания многоосных колесных машин.
- 2) Установлено методами имитационного моделирования, что эффективность (снижение уровня дисперсии вертикальных ускорений на месте водителя по сравнению с неуправляемой подвеской) адаптивного пропорционально-дифференциального закона для активной системы поддрессоривания составляет 12...29%. Эффективность для того же закона для полуактивной системы поддрессоривания составляет 7...28%.
- 3) Установлено методами имитационного моделирования, что затраты энергии на управление активной системой поддрессоривания для МКМ общей массой 60 т и колесной формулой 8x8 доходят до 115 кВт. Затраты энергии на управление полуактивной системой поддрессоривания на порядок меньше по сравнению с активной подвеской.
- 4) При соизмеримой эффективности и существенно меньших энергетических затратах на управление адаптивный пропорционально-дифференциальный закон для полуактивной системы поддрессоривания можно считать более предпочтительным для практического применения в подвесках МКМ по сравнению с аналогичным законом для активных систем поддрессоривания.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках договора №9905/17/07-к-12 между ОАО «КАМАЗ» и «Московским государственным техническим университетом имени Н.Э. Баумана».

Список литературы

1. Жилейкин М.М. Сравнительный анализ эффективности работы непрерывной и релейной систем управления подвеской многоосных колесных машин // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2012. № 3. Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/347783.html> (дата обращения 26.05.2013).
2. Белоусов Б.Н., Попов С.Д. Колесные транспортные средства особо большой грузоподъемности. Конструкция. Теория. Расчет / Под общ. ред. Б.Н. Белоусова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. 728 с.
3. Жилейкин М.М. Синтез адаптивной динамической непрерывной системы гашения колебаний корпуса многоосных колесных машин // Наука и

- образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2011. № 10. Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/347169.html> (дата обращения 26.05.2013).
4. Жилейкин М.М. Синтез адаптивной динамической непрерывной системы стабилизации корпуса // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2011. № 11. Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/347435.html> (дата обращения 26.05.2013).
 5. Ротач В.Я., Ключев А.С. Автоматизация настройки систем управления. М.: Энергоиздат, 1984. 272 с.
 6. Леоненков А.Ю. Нечеткое моделирование в среде Matlab и fuzzyTech. СПб.: БХВ, 2003. 720 с.
 7. Мелихов А.Н., Берштейн Л.С., Коровин С.Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. М.: Наука, 1990. 272 с.
 8. Алиев Р.А., Церковный А.Э., Мамедова Г.А. Управление производством при нечеткой исходной информации. М.: Энергоиздат. 1991. 234 с.
 9. Yesil E., Guzelkaya M., Eksin I. Internal model control based fuzzygain scheduling technique of PID controllers // World Automation Congress (28 June - 1 July 2004): Proceedings. 2004. Vol. 17. P. 501-506.
 10. Feng H.M. A selftuning fuzzy control system design // IFSA World-Congress and 20th NAFIPS International Conference (25-28 July 2001). 2001. Vol. 1. P. 209-214.
 11. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. М.: Горячая линия – Телеком, 2007. 288 с.
 12. Плиев И.А. Автомобили многоцелевого назначения. Формирование технического облика АМН в составе семейств: монография. М.: МГИУ, 2011. 262 с.
 13. Гриняев С.В. Нечеткая логика в системах управления // Компьютерра Online: электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.computerra.ru/offline/2001/415/13052/> (дата обращения 26.05.2013).
 14. Проектирование полноприводных колесных машин: учебник для вузов. В 3 т. Т. 3 / Афанасьев Б. А., Белоусов Б. Н., Жеглов Л. Ф. [и др.]; Под ред. А.А. Полуняна. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. 432 с.

Development of the law of stabilization of housing of multi-wheeled vehicles with force and kinematic effects on the basis of a proportional differential controller with adaptive adjustment of parameters

06, June 2013

DOI: 10.7463/0613.0567697

Jileikin M.M., Fedotov I.V.

Bauman Moscow State Technical University, 105005, Moscow, Russian Federation
Russia, OJSC «KAMAZ»

jileikin_m@mail.ru

automobile@yandex.ru

One of the promising ways to solve the problems of improving smoothness of motion of multi-wheeled vehicles (MWV) is development of suspension control systems to ensure stabilization of the MWV's housing under different influences. On the basis of application of methods of fuzzy logic an adaptive proportional differential law of continuous MWV suspension control was developed. Methods of simulation modeling were used to analyze efficiency of the developed control law for active and semi-active suspension systems. It was shown that the proposed adaptive proportional differential law for semi-active suspension system could be considered more preferable for practical application in MWV suspensions in comparison with the similar law for active suspension systems due to their similar efficiency and lower energy costs.

Publications with keywords: [fuzzy logic](#), [adaptive control](#), [multi-wheeled vehicles](#), [control suspension systems](#)

Publications with words: [fuzzy logic](#), [adaptive control](#), [multi-wheeled vehicles](#), [control suspension systems](#)

References

1. Zhileikin M.M. Sravnitel'nyi analiz effektivnosti raboty nepreryvnoi i releinoi sistem upravleniia podveskoi mnogoosnykh kolesnykh mashin [Comparative performance analysis of continuous and relay control systems for the suspension bracket of multi-wheeled vehicles]. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana* [Science and Education of the Bauman MSTU], 2012, no. 3. Available at: <http://technomag.edu.ru/doc/347783.html> , accessed 26.05.2013.

2. Belousov B.N., Popov S.D. *Kolesnye transportnye sredstva osobo bol'shoi gruzopod"emnosti. Konstruktsiia. Teoriia. Raschet* [Wheel vehicles specially the big carrying capacity. Construction. Theory. Calculation]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2006. 728 p.
3. Zhileikin M.M. Sintez adaptivnoi dinamicheskoi nepreryvnoi sistemy gasheniia kolebanii korpusa mnogoosnykh kolesnykh mashin [Synthesis of adaptive dynamic continuous system of oscillation damping of the case of multi-wheeled vehicles]. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana* [Science and Education of the Bauman MSTU], 2011, no. 10. Available at: <http://technomag.edu.ru/doc/347169.html> , accessed 26.05.2013.
4. Zhileikin M.M. Sintez adaptivnoi dinamicheskoi nepreryvnoi sistemy stabilizatsii korpusa [Synthesis of adaptive dynamic continuous system of stabilization of the case of multi-wheeled vehicles]. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana* [Science and Education of the Bauman MSTU], 2011, no. 11. Available at: <http://technomag.edu.ru/doc/347435.html> , accessed 26.05.2013.
5. Rotach V.Ia., Kliuev A.S. *Avtomatizatsiia nastroiiki sistem upravleniia* [Automation of setting of control systems]. Moscow, Energoizdat, 1984. 272 p.
6. Leonenkov A.Iu. *Nechetkoe modelirovanie v srede Matlab i fuzzyTech* [Fuzzy simulation in Matlab and fuzzyTech]. St. Petersburg, BKhV, 2003. 720 p.
7. Melikhov A.N., Bershtein L.S., Korovin S.Ia. *Situatsionnye sovetuiushchie sistemy s nechetkoi logikoi* [Situational advising systems with fuzzy logic]. Moscow, Nauka, 1990. 272 p.
8. Aliev R.A., Tserkovnyi A.E., Mamedova G.A. *Upravlenie proizvodstvom pri nechetkoi iskhodnoi informatsii* [The management of production in fuzzy initial information]. Moscow, Energoizdat. 1991. 234 p.
9. Yesil E., Guzelkaya M., Eksin I. Internal model control based fuzzygain scheduling technique of PID controllers. *Proc. of the World Automation Congress*, 28 June - 1 July, 2004, vol. 17, pp. 501-506.
10. Feng H.M. A selftuning fuzzy control system design. *IFSA World-Congress and 20th NAFIPS International Conference*, 25-28 July, 2001, vol. 1, pp. 209-214.
11. Shtovba S.D. *Proektirovanie nechetkikh sistem sredstvami MATLAB* [Design of fuzzy systems by means of MATLAB]. Moscow, Goriachaia liniia -Telekom, 2007. 288 p.
12. Pliev I.A. *Avtomobili mnogotselevogo naznachenii. Formirovanie tekhnicheskogo oblika AMN v sostave semeistv* [Multi-purpose vehicles. Formation of their technical aspect within classes]. Moscow, MSIU Publ., 2011. 262 p.
13. Griniaev S.V. Nechetkaia logika v sistemakh upravleniia [Fuzzy logic in control systems]. *Komp'uterra Online*. Available at: <http://www.computerra.ru/offline/2001/415/13052/> , accessed 26.05.2013.
14. Afanas'ev B.A., Belousov B.N., Zheglov L.F., et al. *Proektirovanie polnoprivodnykh kolesnykh mashin. V 3 t. T.3* [Design of all-wheel drive vehicles. In 3 vols. Vol.3]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2008. 432 p.