

НЕЧЕТКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДИСТАНЦИЕЙ МЕЖДУ ДВИЖУЩИМИСЯ АВТОМОБИЛЯМИ

К. Б. Алексеев, А. А. Малявин, Р. В. Яфутов

В статье рассматривается вопрос автоматизации процесса управления автомобилем в транспортном потоке. Дается обоснование выбора безопасной дистанции и описывается синтез системы управления дистанцией на основе нечеткой логики. Результаты исследования показали, что нечеткое управление позволяет обеспечить выполнение требований, предъявляемых как к сохранению заданной дистанции, так и к безаварийному торможению автомобиля.

Ключевые слова: дистанция, управление, безопасность движения, нечеткий регулятор, термы, модель, алгоритм.

Введение

Безопасность дорожного движения предполагает соблюдение целого ряда требований, предъявляемых к системе: водитель–автомобиль–дорога. Даже при условии, что автомобиль и дорога находятся в хорошем состоянии, а водитель обладает хорошими навыками вождения, рост скоростей на дорогах и интенсивность транспортных потоков затрудняют выполнение этих требований, в первую очередь, со стороны водителя. Об этом свидетельствует удручающая статистика дорожно-транспортных происшествий (ДТП), в которых десятки тысяч людей становятся инвалидами или преждевременно уходят из жизни. Таким образом, ДТП влечет материальные убытки, не только превращая автомобили в груды металла, но и унося жизни работоспособной, перспективной части нации, что переводит эту проблему в масштаб государственных. Поскольку основная часть автомобильных происшествий происходит по вине человека, решение данной проблемы возможно при полной или частичной автоматизации процесса управления транспортным средством [1].

В данной работе решается задача автоматизации управления дистанцией между автомобилями, движущимися в транспортном потоке, с использованием нечеткой логики. Эта задача может быть разделена на три более простые задачи:

- выбор безопасной дистанции с учетом дорожных условий;
- синхронизация скорости движения с впереди идущим автомобилем;
- коррекция скорости движения для управления дистанцией.

Безопасная дистанция между движущимися автомобилями

Наиболее безопасной дистанцией D^* при движении является расстояние, превышающее тормозной путь автомобиля, равный [2, 3]:

$$S_b = V^2 / (26 j_b), \quad (1)$$

$$j_b = g\varphi/k_e$$

где V – скорость движения автомобиля перед началом торможения, км/ч; j_b – расчетное значение ускорения при торможении, м/с²;

$g = 9,81$ – ускорение свободного падения, м/с^2 ; $\varphi = 0,1-0,9$ – коэффициент сцепления шин с дорогой; $k_e = 1,1-1,6$ – коэффициент снижения эффективности торможения, зависящий от конструкции, степени изношенности тормозной системы и других факторов.

Однако данное расстояние не является оптимальным в смысле повышения пропускной способности автомагистралей.

Согласно требованиям пункта 9.10 правил дорожного движения водитель должен соблюдать такую дистанцию до движущегося впереди транспортного средства, которая позволяла бы избежать столкновения. Поскольку впереди идущий автомобиль не может остановиться мгновенно, даже в случае экстренного торможения, эта дистанция может быть значительно меньше тормозного пути (рис. 1). Для определения дистанции большое значение имеет: время, которое необходимо водителю для приведения в действие тормозной системы, и время, необходимое автомобилю для безаварийного торможения. Поэтому дистанцию до впереди идущего автомобиля можно выразить в единицах времени [3]:

$$T_D = \left(t_1 + t_2 + \frac{1}{2}t_3 \right) + \frac{(j_{b1} - j_{b2})}{3,6j_{b1}j_{b2}}V, \quad (2)$$

где $t_1 = 0,6-1,0$ – время реакции водителя, с; $t_2 = 0,1-0,2$ – время срабатывания тормозного привода, с; $t_3 = 0,1-0,4$ – время нарастания замедления в зависимости от дорожных условий, с; j_{b1}, j_{b2} – расчетные значения ускорения при торможении впереди идущего и управляемого автомобилей, соответственно, м/с^2 ; V – скорость движения автомобиля перед началом торможения, км/ч .

В целях обеспечения безопасности можно считать, что у впереди идущего автомобиля наибольшая эффективность торможения $k_e = 1,1$, тогда как у следующего за ним – наименьшая $k_e = 1,6$.

Полуэмпирическая формула (2) позволяет вычислить безопасную дистанцию, однако для этого необходимо знание конструктивных особенностей автомобиля и состояния дороги.

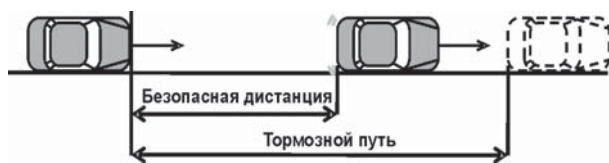


Рис. 1. Безопасная дистанция

Поэтому ее использование в рассматриваемом случае предполагает идентификацию коэффициентов сцепления шин с дорогой φ и снижения эффективности тормозной системы k_e , соответственно, как для управляемого автомобиля, так и впереди идущего. Если идентифицировать коэффициент φ возможно [4–6], то определить k_e – затруднительно. Поэтому при определении безопасной дистанции имеет смысл перейти от зависимости в виде формулы (2) к ее нечеткому представлению. Эта задача может быть решена с использованием адаптивной нейро-нечеткой системы заключений *ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System)* [7].

Для этого по формуле (2) была сгенерирована обучающая выборка, соответствующая изменению скорости движения от 0 до 100 км/ч с дискретностью 1 км/ч и изменению коэффициента сцепления шин с дорогой в пределах от 0,1 до 1 с дискретностью 0,1. В качестве метода настройки использовался гибридный алгоритм, сочетающий в себе методы наименьших квадратов и обратного распространения ошибки. При этом для описания скорости движения автомобиля использовались три терма, а для коэффициента сцепления шин с дорогой – четыре, представленных функциями Гаусса. Описание выходного сигнала осуществлялось с использованием двенадцати термов, каждый из которых представляет собой единственное вещественное значение. В результате была получена система нечетких заключений, работающая по алгоритму Сугено [8].

Из графиков на рис. 2 следует, что это система, настроенная по методу *ANFIS*, в целом

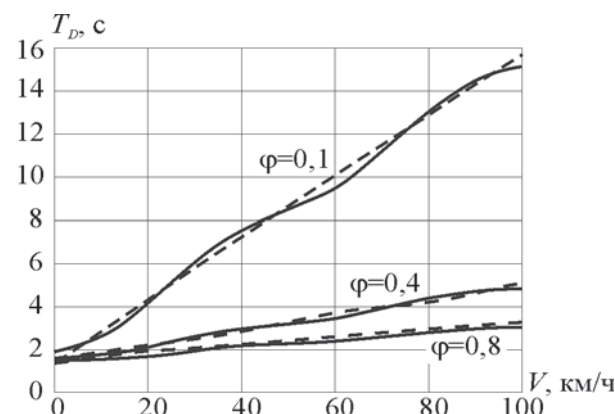


Рис. 2. Дистанция при различных значениях коэффициента сцепления шин с дорогой:

----- при вычислении по формуле (2);
 — при использовании системы нечетких заключений

хорошо описывает вид зависимости дистанции автомобиля от скорости и коэффициента сцепления шин с дорогой. Погрешность при этом не превышает 0,5%.

Модель прямолинейного движения автомобиля

Примем, что основное влияние на движение автомобиля оказывает сила сопротивления качению F_r передних и задних колес. В общем случае эта сила определяется по формуле [9]:

$$F_r = \frac{mg}{L} (l_1 f_1 + l_2 f_2), \quad (3)$$

где L – расстояние от переднего до заднего моста автомобиля; f_1 – коэффициент сопротивления качению переднего моста автомобиля; f_2 – коэффициент сопротивления качению заднего моста; l_1 – расстояние от центра масс автомобиля до переднего моста; l_2 – расстояние от центра масс автомобиля до заднего моста $l_2 = L - l_1$.

Поскольку основную протяженность дорожных сетей занимают участки прямолинейного движения, то при решении задачи управления дистанцией автомобиль можно рассматривать в качестве материальной точки, подверженной воздействию движущей силы F и силы сопротивления F_r :

$$m \frac{d^2 S}{dt^2} = F - F_r, \quad (4)$$

где m – масса автомобиля; S – перемещение автомобиля; F_r – сила сопротивления качению передних и задних колес автомобиля.

В этом случае, принимая $f_1 = f_2 = f$ в (3), получим:

$$F_r = mgf. \quad (5)$$

Отметим, что при движении автомобиля с большой скоростью коэффициент сопротивления качению изменяется по квадратичному закону:

$$f = f_0 (1 + (0,0216V)^2). \quad (6)$$

Здесь f_0 – коэффициент сопротивления качению колес при движении автомобиля с малой скоростью.

Поскольку сила сопротивления качению имеет нелинейную зависимость от скорости V , уравнение движения автомобиля относится к классу нелинейных. Коэффициенты, входящие в это уравнение $\{m, f_0\}$, в процессе эксплуатации автомобиля могут изменяться в широких пределах. Это обстоятельство с учетом непредсказуемости скорости впередиидущего автомобиля дает основания для применения нечеткой логики при решении задачи управления дистанцией.

Нечеткая система управления дистанцией между движущимися автомобилями

Управляющая часть системы управления (рис. 3) содержит три регулятора и состоит из трех последовательно вложенных автономных замкнутых контуров управления. Отметим, что система управления является дискретной (аналого- и цифроаналоговые преобразователи на

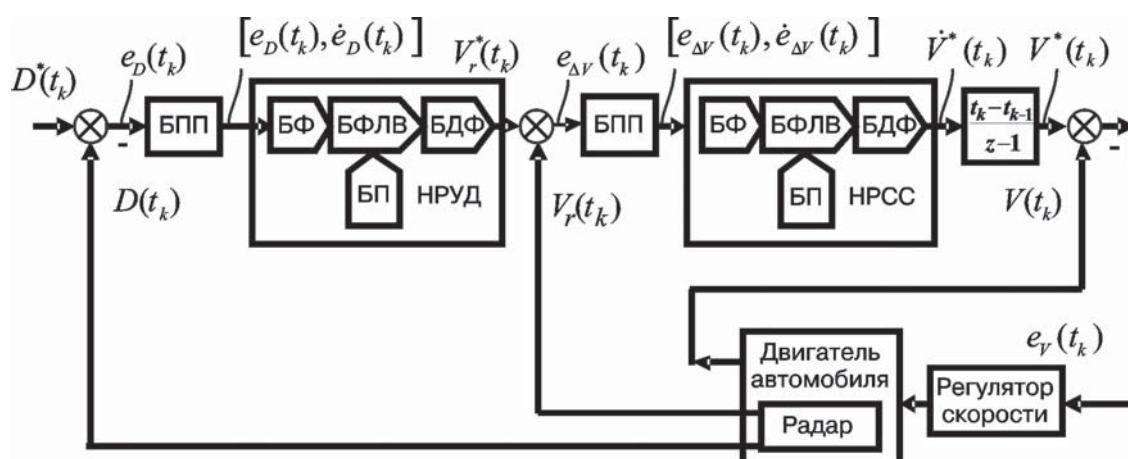


Рис. 3. Блок-схема системы управления дистанцией до впередиидущего автомобиля:
БПП – блок подготовки параметров; НРУД – нечеткий регулятор управления дистанцией;
НРСС – нечеткий регулятор стабилизации скорости; БФ – блок фаззификации;
БФЛВ – блок формирования логического вывода; БДФ – блок дефаззификации; БП – база правил

рис. 3 не показаны в целях упрощения).

Первый контур осуществляет управление скоростью движения автомобиля V . Он состоит из объекта управления (автомобиль) и регулятора скорости, на вход которого подается сигнал ошибки e_V , представляющий собой разность желаемой V^* и действительной V скоростей движения:

$$e_V(t_k) = V^*(t_k) - V(t_k), \quad (7)$$

где t_k – текущий момент времени.

Под желаемой V^* понимается скорость, формируемая нечеткой системой управления на основе измеряемых параметров, таких как дистанция, скорость управляемого и относительная скорость впередиидущего автомобилей.

Второй контур осуществляет синхронизацию скорости движения с впередиидущим автомобилем. Он включает в себя систему управления скоростью движения автомобиля, блок подготовки параметров (БПП) и нечеткий регулятор синхронизации скорости (НРСС). На вход БПП поступает сигнал ошибки $e_{\Delta V}$, вычисляемый как разность между желаемой скоростью движения относительно впередиидущего автомобиля V_r^* , получаемой с помощью микроволнового радара, и действительной относительной скоростью V_r :

$$e_{\Delta V}(t_k) = V_r^*(t_k) - V_r(t_k). \quad (8)$$

Радар позволяет одновременно производить измерение двух величин – расстояния D между автомобилями путем измерения времени между излучением сигнала и приходом его отраженного эха, и относительной скорости V_r путем определения смещения частоты отраженного сигнала, вызванное эффектом Доплера (рис. 4).

БПП вычисляет скорость $\dot{e}_{\Delta V}$ изменения

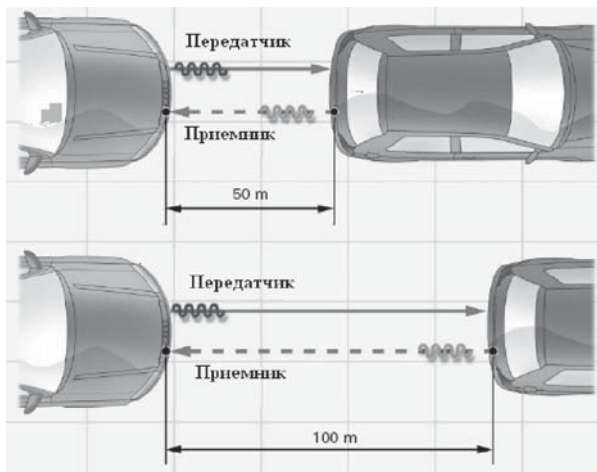


Рис. 4. Схема действия микроволнового радара

ошибки $e_{\Delta V}$:

$$\dot{e}_{\Delta V}(t_k) = \frac{e_{\Delta V}(t_k) - e_{\Delta V}(t_{k-1})}{t_k - t_{k-1}}. \quad (9)$$

Вместе с сигналом ошибки данные $[e_{\Delta V}, \dot{e}_{\Delta V}]$ передаются НРСС, рассчитывающему желаемое ускорение движения автомобиля $\dot{V}^*$, поступающее на вход дискретного интегратора (приведенного на рис. 3 в форме z-преобразования). Интегратор, в свою очередь, вычисляет желаемую скорость движения V^* в каждый текущий момент времени t_k .

Третий контур осуществляет управление дистанцией D до впередиидущего автомобиля. Он включает в себя систему синхронизации скорости движения автомобиля с впередиидущим автомобилем, БПП и нечеткий регулятор управления дистанцией (НРУД). На вход БПП поступает сигнал ошибки e_D , являющийся разностью между желаемой D^* и действительной D дистанциями до впередиидущего автомобиля:

$$e_D(t_k) = D^*(t_k) - D(t_k). \quad (10)$$

БПП вычисляет скорость $\dot{e}_D$ изменения ошибки e_D :

$$\dot{e}_D(t_k) = \frac{e_D(t_k) - e_D(t_{k-1})}{t_k - t_{k-1}}. \quad (11)$$

Затем данные $[e_D, \dot{e}_D]$ передаются НРУД, который рассчитывает желаемую относительную скорость движения V_r^* .

Каждый нечеткий регулятор состоит из четырех блоков:

- блока фаззификации (БФ), осуществляющего переход от действительных входных переменных нечеткого регулятора к их лингвистическому представлению;
- базы правил (БП);
- блока формирования логического вывода (БФЛВ), производящего с помощью БП вычисление нечеткого управляющего воздействия;
- блока дефаззификации (БДФ), выполняющего переход от нечеткого представления управляющего воздействия к действительному.

Регулятор скорости

В целях упрощения было принято, что управление скоростью осуществляется путем контроля движущей силы F , действующей на автомобиль. Для этого был выбран регулятор с изменяемой структурой, имеющий свойства ПИ-регулятора при малых (меньше или равных 2 км/ч) и П-регулятора при больших (больше 2 км/ч) отклонениях скорости от желаемой:

$$\begin{cases} e_{\Delta V} > 2: F = P_{V1} e_{\Delta V}; \\ e_{\Delta V} \leq 2: F = P_{V2} e_{\Delta V} + I_{V2} \int e_{\Delta V} dt. \end{cases}$$

Передаточные коэффициенты П и ПИ регуляторов имеют следующие численные значения: $P_{V1} = 1000$; $P_{V2} = 1500$; $I_{V2} = 150$. Движущая сила, задаваемая регулятором, изменялась в пределах: $-4 \text{ кН} \leq F \leq 4 \text{ кН}$.

Термы входных и выходных переменных

Для описания входных и выходных переменных каждого нечеткого регулятора были использованы пять треугольных термов: отрицательный большой – ОБ, отрицательный средний – ОС, нулевой – Н, положительный средний – ПС, положительный большой – ПБ (рис. 5).

Для описания выходных переменных каждого нечеткого регулятора были использованы семь термов: отрицательный большой – ОБ, отрицательный средний – ОС, отрицательный малый – ОМ, нулевой – Н, положительный малый – ПМ, положительный средний – ПС, положительный большой – ПБ (рис. 6).

Термы, непосредственно прилегающие к нулевому терму, в процессе настройки всегда имели свое окончание (для отрицательных) или начало (для положительных) в середине нулевого терма. Такое ограничение диктуется необходимостью исключения зоны нечувствительности, обусловленной алгоритмом управления. Это, однако, не исключает ее наличие на практике в силу неидеальности аппаратных средств.

Особый интерес представляет совместная работа системы нечеткого управления дистан-

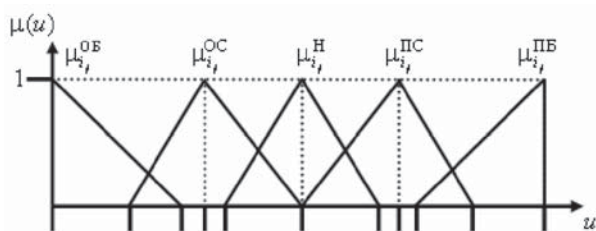


Рис. 5. Термы входных величин нечеткого регулятора: μ_{ij}^m – функция принадлежности терма; $t = \{\text{ОБ, ОС, Н, ПС, ПБ}\}$ – название терма; $i = \{\text{НРСС, НРУД}\}$ – название нечеткого регулятора; $j = \{\text{in, out}\}$ – тип сигнала, описываемого термом (входной или выходной); u – численное значение, описываемой величины ($[e_{\Delta V}, \dot{e}_{\Delta V}]$, либо $[e_D, \dot{e}_D]$)

цией с полученной ранее системой нечетких заключений выбора дистанции.

Безопасная (желаемая) дистанция в этом случае будет представлять собой сумму двух составляющих:

- допустимой дистанции при движении автомобилей с постоянной скоростью, выраженной в единицах времени;
- расстояния безопасной остановки, необходимого для учета случая экстренного торможения впереди идущего автомобиля.

Базы правил нечетких регуляторов синхронизации скорости и управления дистанцией

На вход нечеткого регулятора синхронизации скорости поступает сигнал о текущей скорости и ускорении относительно впереди идущего автомобиля. На выходе регулятора формируется значение ускорения, которое поступает на вход интегратора, вычисляющего желаемую скорость движения.

При этом относительная скорость движения является положительной, если впереди идущий автомобиль движется быстрее, и отрицательной – если медленнее.

На вход нечеткого регулятора управления дистанцией поступает информация о разности между желаемой и действительной дистанциями до впереди идущего автомобиля, а также о скорости изменения этой разности. На выходе регулятора формируется поправка – желаемая скорость движения относительно впереди идущего автомобиля. При этом разность между желаемой и действительной дистанциями положительная, если автомобиль находится слишком

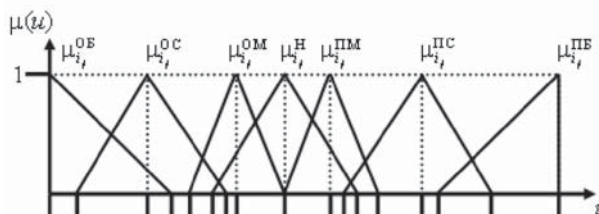


Рис. 6. Термы выходных величин нечеткого регулятора: μ_{ij}^m – функция принадлежности терма; $t = \{\text{ОБ, ОС, ОМ, Н, ПМ, ПС, ПБ}\}$ – название терма; $i = \{\text{НРСС, НРУД}\}$ – название нечеткого регулятора; $j = \text{out}$ – тип сигнала, описываемого термом (входной); u – численное значение, описываемой величины ($\dot{V}^*$ либо V^*)

близко, отрицательная – если слишком далеко.

Правила, описывающие работу данных регуляторов, приведены в табл. 1 и 2.

В качестве схемы нечеткого вывода была использована схема Мамдани.

Модель впередиидущего автомобиля

Модель включает в себя ранее рассмотренную модель прямолинейного движения автомобиля (4) и регулятор, синтезированный с использованием метода обратной динамики [10]:

$$F = \int \rho (\lambda (V^* - V(t)) - \dot{V}(t)) dt, \quad (12)$$

где ρ – постоянная, определяющая скорость схождения алгоритма управления к оптимальному, кг/с; V^* и V – в данном случае желаемая и действительная скорости движения впередиидущего автомобиля, м/с; λ – величина, обратная постоянной времени переходного процесса изменения скорости, с⁻¹.

Под оптимальным понимается алгоритм, при котором реакция на ступенчатое задающее воздействие будет описываться экспоненциальной функцией вида

$$V(t) = V^* (1 - e^{-\lambda t}).$$

Желаемая скорость движения впередииду-

щего автомобиля изменялась по закону:

$$V^*(t) = A_1 \sin(\omega_1 t + P_1) + A_2 \sin(\omega_2 t + P_2) + A_3 \sin(\omega_3 t + P_3) + C, \quad (13)$$

где A_1, A_2, A_3 – амплитуды; $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ – угловые скорости; P_1, P_2, P_3 – фазовые сдвиги периодических составляющих желаемой скорости; C – постоянная составляющая скорости (в дальнейшем она принимается равной скорости движения впередиидущего автомобиля V_m).

Пример настройки регуляторов системы управления дистанцией

Исходные данные

Для моделирования впередиидущего и управляемого автомобилей использовались следующие значения параметров математической модели автомобиля, заданной уравнениями (4)–(6): $m = 1269$ кг; $L = 2,4658$ м; $l_1 = 1,103$ м; $f_0 = 0,02$ [1].

Моделирование движения впередиидущего автомобиля (12) производилось при следующих значениях параметров: $\rho = 1000$ кг/с; $\lambda = 0,5$ с⁻¹; -4 кН $\leq F \leq 4$ кН. При задании закона изменения его желаемой скорости (13) были выбраны следующие численные значения параметров:

$$A_1 = 5, A_2 = 4, A_3 = 4 \text{ м/с}; \omega_1 = 1, \omega_2 = 0,5, \omega_3 = 0,8 \text{ с}^{-1}; P_1 = 0, P_2 = 0,5, P_3 = 0,312.$$

Начальные скорости впередиидущего и управ-

Таблица 1

База правил нечеткого регулятора синхронизации скорости

$e\Delta V$ \ $\dot{e}\Delta V$	ОБ	ОС	Н	ПС	БП
ОБ	ОБ	ОБ	ОС	ОМ	Н
ОС	ОБ	ОС	ОМ	Н	ПМ
Н	ОС	ОМ	Н	ПМ	ПС
ПС	ОМ	Н	ПМ	ПС	ПБ
ПБ	Н	ПМ	ПС	ПБ	ПБ

Таблица 2

База правил нечеткого регулятора управления дистанцией

$e\Delta S$ \ $\dot{e}\Delta S$	ОБ	ОС	Н	ПМ	БП
ОБ	ПБ	ПБ	ПС	ПМ	Н
ОС	ПБ	ПС	ПМ	Н	ОМ
Н	ПС	ПМ	Н	ОМ	ОС
ПС	ПМ	Н	ОМ	ОС	ОБ
ПБ	Н	ОМ	ОС	ОБ	ОБ

ляемого автомобилем приняты равными нулю. Начальная дистанция между автомобилями принята равной 5 м, расстояние безопасной остановки было принято фиксированным и равным 3 м, а максимальная возможная скорость движения для обоих автомобилей – 33,33 м/с или 120 км/ч.

Настройка

Настройка нечетких регуляторов выполнялась совместно. В качестве метода настройки термов был выбран генетический алгоритм¹. В качестве функции приспособленности для настройки НРСС и НРУД выбрана сумма значений модулей ошибок дистанции и скорости, взятых с периодом дискретизации $T = 0,1$ с для интервала времени 300 с, для трех испытаний. В ходе испытаний производился разгон до заданной скорости (на дорожном покрытии с различным коэффициентом сцепления ϕ) и последовательное торможение через 150 с после начала испытания:

$$Fit_{DV} = \sum_{n=0}^N |e_{D,\phi_1 V_1}(nT)| + \sum_{n=0}^N |e_{\Delta V,\phi_1 V_1}(nT)| + \sum_{n=0}^N |e_{D,\phi_2 V_2}(nT)| + \sum_{n=0}^N |e_{\Delta V,\phi_2 V_2}(nT)| + \sum_{n=0}^N |e_{D,\phi_3 V_3}(nT)| + \sum_{n=0}^N |e_{\Delta V,\phi_3 V_3}(nT)|, \quad (14)$$

где $N = \frac{300}{T} + 1$; $\phi_1 = 0,15$; $V_{m1} = 100$ км/ч; $\phi_2 = 0,6$;

$V_{m2} = 100$ км/ч; $\phi_3 = 0,9$; $V_{m3} = 60$ км/ч.

В качестве настраиваемых параметров были выбраны значения, описывающие термы ошибки, скорости ее изменения и выходных сигналов не-

четких регуляторов, а также масштабирующие множители входных и выходных сигналов.

График изменения функции приспособленности наилучшего решения (особи в популяции решений) в течение 200 поколений показан на рис. 7. Из графика видно, что по прошествии 50 поколений эволюция начинает замедляться, что свидетельствует о приближении к оптимальному решению.

На рисунке 8 и в табл. 3 приведены результаты испытаний наилучшего решения, полученного с помощью генетического алгоритма. Из приведенных данных следует, что при уменьшении коэффициента сцепления с дорогой и уве-

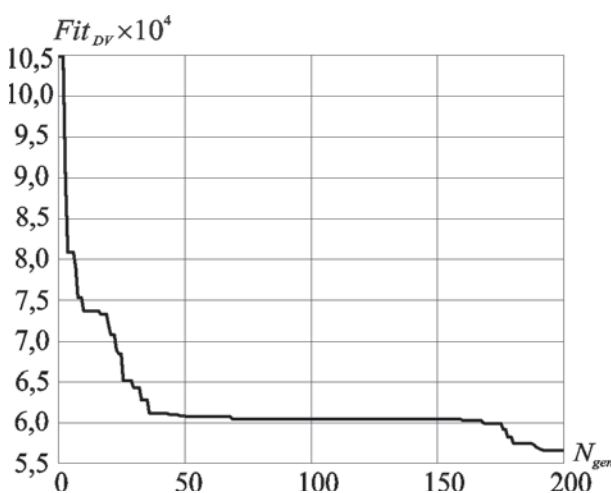


Рис. 7. Изменение значения функции приспособленности наилучшего решения, при совместной настройке регуляторов синхронизации скорости и управления дистанцией:
 N_{gen} – число поколений

Таблица 3

Результаты моделирования наилучшего решения, полученного с помощью генетического алгоритма

Скорость движения V_m , км/ч	100	100	60
Коэффициент сцепления ϕ	0,15	0,6	0,9
Максимальная ошибка дистанции e_{Dmax} , м	166,84	32,55	9,83
Установившаяся максимальная ошибка дистанции e_{Ds} , м	42,52	7,57	5,27
Время торможения впередиидущего автомобиля T_{ab} , с	14,6	14,5	12,2
Время торможения управляемого автомобиля T_{cb} , с	37,3	20,6	30

¹ Генетический алгоритм – это стохастический алгоритм поиска, сущность которого заключается в изменении набора (популяции) математических объектов (особей), каждому из которых сопоставлено свое значение меры приспособленности, в популяцию потомков, используя принцип естественного отбора Дарвина и генетические операторы, соответствующие таким природным явлениям, как рекомбинация (кроссовер или кроссинговер), мутация, клонирование и др. [11, 12].

личении скорости движения, ошибка обработки безопасной желаемой дистанции при изменении скорости впередиидущего автомобиля возрастает. При этом время, затрачиваемое на выполнение торможения и остановки, соответствует примерно удвоенному времени торможения и остановки впередиидущего автомобиля.

Получить дополнительное представление о полученной системе управления дистанцией позволяют испытания типа разгон–торможение, результаты которых приведены на рис. 9.

Из приведенных графиков видно, что система управления вначале резко реагирует на изменение скорости впередиидущего автомобиля и затем плавно подводит автомобиль к безопасному состоянию остановки, равному, в данном случае, 3 м.

Заключение

Автоматизация процесса управления автомобилем в непрерывном транспортном потоке представляет собой одно из возможных решений проблемы безопасности дорожного движения. Она включает в себя управление дистанцией между автомобилями. Основной трудностью в данном случае является – непредсказуемость впередиидущего автомобиля, преодолеть которую, путем построения системы управления на основе синтеза регулятора методами классической теории автоматического управления, не представляется возможным по причине

нелинейности модели объекта и частичной неопределенности ее параметров. В данной статье приведено решение рассматриваемой проблемы с использованием аппарата нечеткой логики. Как свидетельствуют результаты, нечеткая система управления способствует уменьшению риска столкновения с впередиидущим автомобилем путем обеспечения соблюдения безопасной дистанции, зависящей от дорожных условий и скорости движения.

Список литературы

1. Алексеев К.Б., Малявин А.А., Палагута К.А. Сравнительный анализ предикторного и нечеткого управления движением автомобиля // Мехатроника, автоматизация, управление. 2009. № 5. С. 36–45.
2. Андрейчук В.М. Советы начинающему автолюбителю. – Киев: Техника, 1984. – 40 с.
3. Суворов Ю.Б. Судебная дорожно-транспортная экспертиза. учеб. пособ. для вузов. – М.: Экзамен, 2004. – 208 с.
4. Chia-Shang Liu, Huei Peng. Road friction estimation for vehicle path prediction // Vehicle System Dynamics. 1996. Vol. 25 Suppl. P. 413–425.
5. Takahashi Akira. Road friction coefficient estimating apparatus for vehicle. U.S. Patent № 6526804, May 30, 2001.
6. Matsuno Koji. Road friction coefficient estimating apparatus and vehicle equipped with

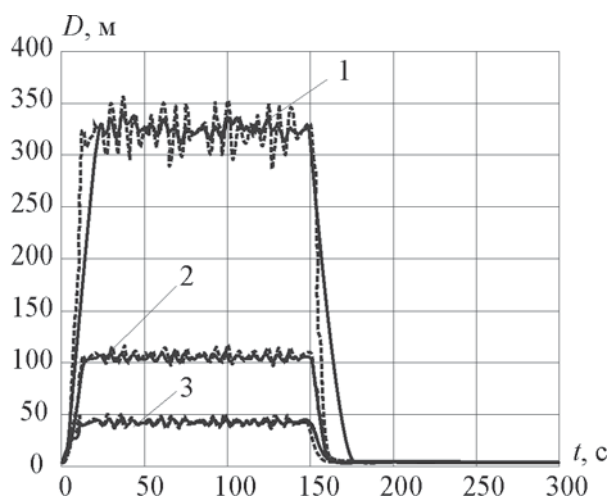


Рис. 8. Графики изменения желаемой (---) и действительной (—) дистанций при моделировании работы наилучшего решения, полученного с помощью генетического алгоритма: 1 – $\varphi_1 = 0,15$; $V_{m1} = 100$ км/ч; 2 – $\varphi_2 = 0,6$; $V_{m2} = 100$ км/ч; 3 – $\varphi_3 = 0,9$; $V_{m3} = 60$ км/ч

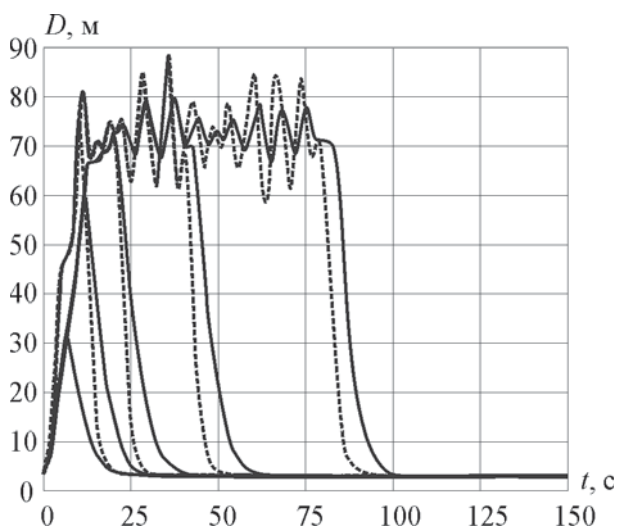


Рис. 9. Изменения действительной дистанции между движущимися автомобилями (—) и желаемой (---), полученные при скорости 60 км/ч при выполнении маневра типа разгон–торможение через 5, 10, 20, 40, 80 с от момента начала движения при $\varphi = 0,25$

- road friction coefficient estimating apparatus. U.S. Patent № 6556911, June 18, 2001.
7. Jang, J.-S. R., ANFIS: Adaptive-Network-based Fuzzy Inference Systems//IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. 1993. Vol. 23, No. 3. P. 665–685.
 8. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
 9. Тарасик В.П. Теория движения автомобиля: учеб. для вузов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 478 с.
 10. Крутько П.Д. Обратные задачи динамики в теории автоматического управления. – М.: Машиностроение, 2004. – 573 с.
 11. Вороновский Г.К., Махотило К.В., Петрашев С.Н., Сергеев С.А. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности. – Харьков: ОСНОВА, 1997.
 12. Koza John R. Genetic Programming: A Paradigm for Genetically Breeding Populations of Computer Programs to Solve Problems. Stanford University Computer Science Department. Technical Report STEN-CS-90-1314. June 1990.

Материал поступил в редакцию 16.09.2009

**АЛЕКСЕЕВ
Кир Борисович**

E-mail: akb2@mail.msiu.ru
Тел. 8 (495) 620-39-34

Доктор технических наук, профессор. Профессор кафедры автоматики, информатики и систем управления МГИУ. Сфера научных интересов – автоматическое управление и автоматизация. Автор более 100 научных трудов.

**МАЛЯВИН
Александр
Анатольевич**

E-mail: amalyavin@rambler.ru
Тел. 8 (495) 620-39-34

Ведущий инженер-программист Центра информационных технологий ОАО «АМО ЗИЛ», аспирант кафедры автоматики, информатики и систем управления МГИУ. Сфера научных интересов – системы автоматического управления и нечеткой логики. Автор 6 научных трудов.

**ЯФУТОВ
Руслан
Владимирович**

E-mail: uslan.yafutov@audi-zapad.ru
Тел. 8 (495) 775-77-72

Заместитель директора сервиса ООО АЦР, аспирант кафедры автоматики, информатики и систем управления МГИУ. Сфера научных интересов – автоматизация и сервисное обслуживание автотранспортных средств. Автор одной научной статьи.