

СОЦИОФИЗИЧЕСКИЕ СТРАТЕГИИ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМИ СРЕДСТВАМИ

Цыганов В. В.

(Институт проблем управления
им. В.А. Трапезникова РАН, Москва)

При исследовании транспортных потоков необходимо учитывать как физические законы, так и основанные на них стратегии поведения социальных субъектов дорожного движения - управляющих транспортными средствами (УТС). Рассмотрим социофизическую, по сути, задачу оптимизации стратегий УТС. Для простоты и наглядности будем предполагать, что 2 транспортных средства (ТС) движутся по однополосной дороге. Присвоим заднему ТС номер $i=1$, а переднему - $i=2$. Пусть t - момент времени, $t \geq 0$, $x_i(t)$ -координата передней точки i -го ТС в момент времени t . Социально-экономические стимулы i -го УТС определяются по формуле: $G_i = h_i(x_i) - p_i - f_i$, где $h_i(x_i)$ - поощрение за перевозку в $x_i(t)$, p_i и f_i - сильные штрафы за превышение допустимой скорости V и за столкновение с впереди идущим ТС ($f_2 \equiv 0$).

Предположим, что в момент времени $t_1 > 0$, внезапно возникает помеха движению, из-за которой 2-е ТС останавливается. В случае столкновения со 2-м ТС, 1-й УТС получает штраф F_1 .

Рассмотрим сначала случай движения i -го ТС после возникновения помехи, в отсутствие столкновения. Обозначим: r_i - время, необходимое для реакции i -го УТС на помеху, по прошествии которого i -й УТС начинает торможение; t_{si} - время остановки i -го ТС: $x_i(t) = x_i(t_{si})$, $t \geq t_{si}$; $v_i(t)$ - скорость i -го ТС в момент времени t , $t_i \leq t \leq t_{si}$, $v_i(t_i) > 0$, $v_i(t_{si}) = 0$; $a_i(t)$ - отрицательное ускорение (замедление) i -го ТС, $(t_i + r_i) \leq t \leq t_{si}$; $a_i(t_i) = a_i(t_{si}) = 0$, $i = \overline{1, 2}$, l_2 - длина 2-го ТС. В отсутствие столкновения ТС:

$$(1) \quad v_i = \int_{t_i+r_i}^{t_{si}} a_i(t) dt, \quad x_i(t) = x_i(t_i) + \int_{t_i}^t v_i(t) dt, \quad t_i \leq t \leq t_{si}, \quad i = \overline{1, 2}.$$

Столкновение ТС происходит, если существует такой момент t , что $d_1(t) = x_2(t) - x_1(t) - l_2 < 0$, $t_1 \leq t \leq \max(t_{s1}, t_{s2})$, где t_{si} определя-

ются из (1), $i = \overline{1,2}$. Чтобы избежать столкновения и штрафа, 1-й УТС должен выбрать стратегию $s_i = \{v_i, d_i, a_i\}$ такую, чтобы

$$(2) \quad d_i(t) \geq 0, \quad v_i = \int_{t_1+r_i}^{t_{s1}} a_i(t) dt, \quad v_2 = \int_{t_1}^{t_{s2}} a_i(t) dt,$$

где $t_1 \leq t \leq \max(t_{s1}, t_{s2})$. Для этого 1-й УТС должен сформировать прогноз $x_2(t)$ и t_{s2} . Предположим, что при этом 1-й УТС руководствуется принципом максимального гарантированного результата, т.е. выбирает стратегию $s_i = \{v_i, d_i, a_i\}$ так, чтобы при наилучших возможных значениях $x_2(t)$ и t_{s2} был достигнут наилучший результат – отсутствие столкновения и, следовательно, штрафа F_1 . Наиболее неблагоприятные возможные значения $x_2(t)$ и t_{s2} связаны с мгновенной остановкой 2-го ТС после возникновения помехи. Подставляя в (2) координату $x_1(t)$ 1-го ТС в момент t , $t_1 \leq t \leq t_{s1}$, определяемую согласно (1), нетрудно показать, что скорость v_i , дистанция $d_i(t)$ и ускорение $a_i(t)$, при $t_1 \leq t \leq t_{s1}$, должны удовлетворять неравенству:

$$(3) \quad v_i(t_{s1} - t_1) \leq [d_i(t_1) + \int_{t_1}^{t_{s1}} dt \int_{t_1+r_i}^t a_i(\tau) d\tau], \quad v_i = \int_{t_1+r_i}^{t_{s1}} a_i(t) dt.$$

Максимальное значение отрицательного ускорения (торможения) a_i определяется силой трения: $a_i = k_i g$, где k_i – коэффициент трения скольжения ТС. Тогда из (3) получаем, что

$$(4) \quad v_i \leq k_i g [(2 d_i / k_i g)^{1/2} - r_i] = (2 d_i k_i g)^{1/2} - r_i k_i g.$$

Дальновидный УТС стремится увеличить поощрение и исключить штрафы. Назовем гарантирующей стратегией i -го УТС, при которой $f_i = p_i = 0$. Тогда за время dt прирост поощрения i -го УТС равен $dG_i = [dh_i(x_i)/dx_i] v_i dt$, где $v_i = dx_i/dt$. Если $dh_i(x_i)/dx_i$ не зависит от v_i (например, при оплате труда УТС по километражу пробега его ТС), то dG_i растет по v_i . Поэтому оптимальные скорости ТС равны допустимой скорости V : $v_1^* = v_2^* = V$. Далее, в силу (4), оптимальная дистанция между ТС, при которой не только исключаются штрафы, но и рост поощрения 1-го УТС максимален, равна $d_1^* = (V + r_1 k_1 g)^2 / k_1 g$. Соответственно, оптимальная гарантирующая стратегия 1-го УТС, при которой достигается максимальное его стимулирование: $s_1^* = \{v_1^*, d_1^*, k_1 g\}$.