



Саратовский государственный
университет
имени Н.Г. Чернышевского



Институт проблем точной
механики и управления
Российская Академия Наук

Модели и алгоритмы управления дорожно-транспортной системой по критерию безопасности движения

Богомолов А. С., Адамович К.

*Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского, Саратов, Россия
Институт проблем точной механики и управления РАН, Саратов, Российская Федерация*



Постановка задачи

Необходимо осуществить выбор характеристик безопасности автодорожной сети **российского города 500-1000 тыс. чел.** и разработать математические модели и алгоритмы, позволяющие на временном интервале $[t_0, t_k]$ при любых допустимых значениях состояниях среды $s(t) \in S(t)$ определить управляющие воздействия $u(t) \in U(t)$, при которых:

$$S = \int_{t_0}^{t_n} \sum_{i=1}^N (X_i^* - X_i(t))^2 k_i dt \rightarrow \min$$

при известных ограничениях и граничных условиях

..причем $X_i(U(t), S(t), t)$!

И что есть X^* ?

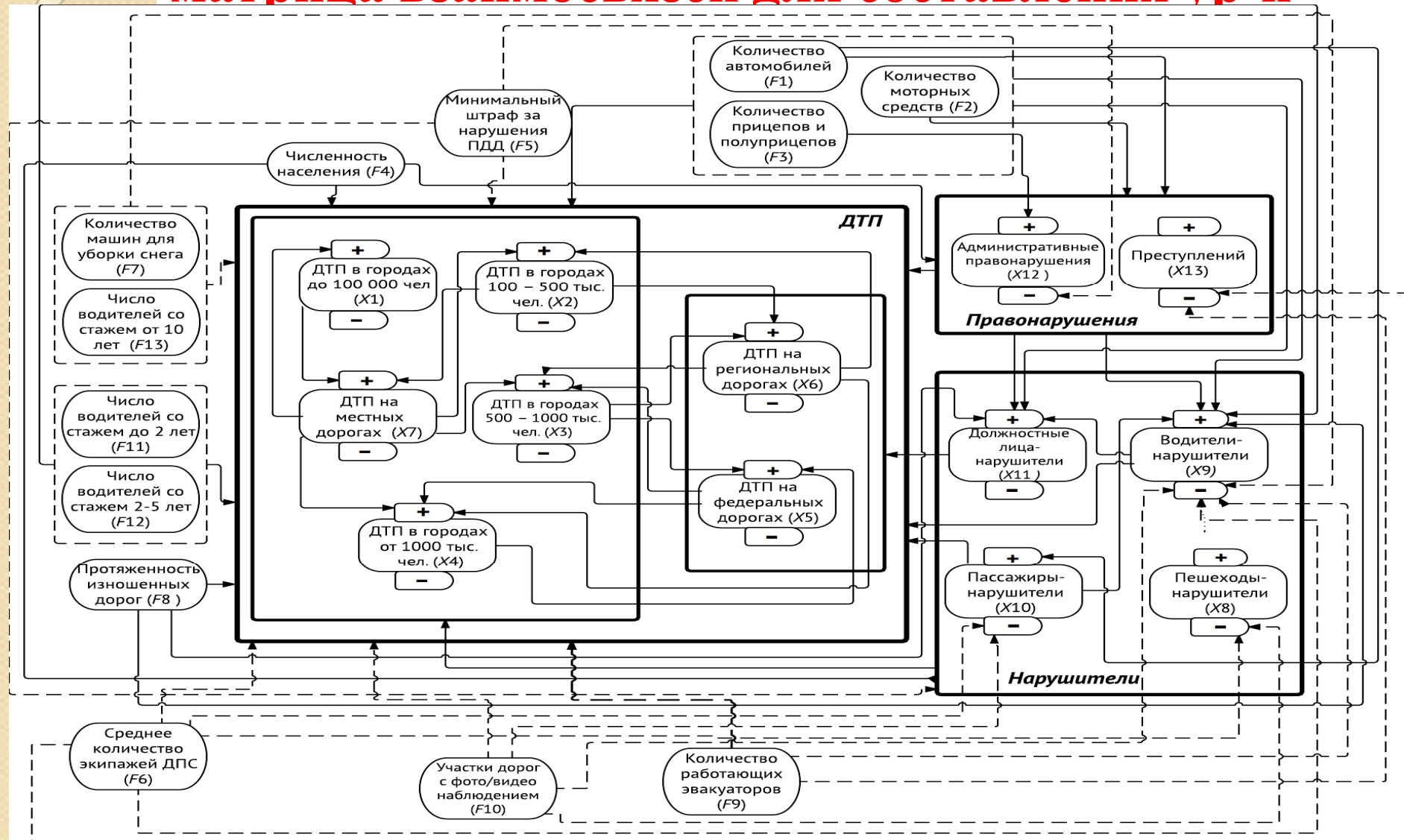
План решения задачи:

- выбор переменных и внешних факторов; разработка схемы причинно-следственных связей;
- построение системы дифференциальных уравнений; получение численного решения и аппроксимирование его многочленами
- определение весовых коэффициентов и вычисление целевой функции S
- разработка планов мероприятий для минимизации целевой функции

Выбор переменных $X_i(t)$ и внешних факторов $F_i(t)$

X_1 – ДТП в городах до 100 000 чел.;	F_1 – количество автомобилей
X_2 – ДТП в городах 100 000 – 500 000 чел.	F_2 – количество моторных средств
X_3 – ДТП в городах 500 000 – 1000 000 чел.	F_3 – количество прицепов и полуприцепов
X_4 – ДТП в городах от 1000 000 чел.	F_4 – количество населения
X_5 – ДТП на федеральных дорогах	F_5 – минимальный штраф за нарушения ПДД
X_6 – ДТП на региональных дорогах	F_6 – количество экипажей ДПС на дорогах региона
X_7 – ДТП на местных дорогах	F_7 – количество машин для уборки снега
X_8 – количество водителей-нарушителей	F_8 – протяженность изношенных дорог
X_9 – количество водителей-нарушителей	F_9 – работающие эвакуаторы
X_{10} – количество пассажиров-нарушителей	F_{10} – протяженность участков дорог с фото/видео наблюдением
X_{11} – количество должностных лиц нарушителей	F_{11} – количество водителей со стажем до 2 лет
X_{12} – количество административных правонарушений	F_{12} – количество водителей со стажем 2-5 лет
X_{13} – количество преступлений	F_{13} – количество водителей со стажем от 10 лет

Причинно-следственный граф показателей безопасности функционирования ДТС + матрица взаимосвязей для составления ур-й



Уравнения системной динамики

Пусть $X_1(t), \dots, X_m(t)$ – переменные динамической системы

Поведение системы – это проявление ее структуры и взаимодействия подсистем

$$\frac{dX_j(t)}{dt} = F_j(X_1(t), \dots, X_m(t)) \quad (1)$$

Представление степенными рядами:

$$\frac{dX_j(t)}{dt} = \alpha_{j,0} + \sum_{i=1}^n \alpha_{j,i} X_i(t) \quad (2)$$

Предположение мультипликативной зависимости:

$$\begin{aligned} \alpha_{j,i}(X_1(t), \dots, X_m(t)) = \\ = \alpha_{j,i} \omega_{j,i,1}(X_1(t)) \dots \omega_{j,i,m}(X_m(t)) \end{aligned} \quad (3)$$

Уравнение системной динамики:

$$\frac{dX_i(t)}{dt} = \Pi_{X_i}^+ \Sigma_{X_i}^+ - \Pi_{X_i}^- \Sigma_{X_i}^- \quad (4)$$

где $\Pi_{X_i}^+ \Sigma_{X_i}^+, \Pi_{X_i}^- \Sigma_{X_i}^-$ – произведение функций переменных, так или иначе влияющих на X_i и суммы внешних факторов

Построение системы дифференциальных уравнений по принципам системной динамики

$$\begin{cases}
 dX_1/dt = B_{1-7}(X_7) \dots B_{1-13}(X_{13})(F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_8 + F_{11} + F_{12}) - (F_5 + F_6 + F_7 + F_9 + F_{10} + F_{13}); \\
 dX_2/dt = B_{2-6}(X_6) \dots B_{2-13}(X_{13})(F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_8 + F_{11} + F_{12} + F_{13}) - (F_5 + F_6 + F_7 + F_9 + F_{10} + F_{14}); \\
 dX_3/dt = B_{3-5}(X_5) \dots B_{3-13}(X_{13})(F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_8 + F_{11} + F_{12}) - (F_5 + F_6 + F_7 + F_9 + F_{10} + F_{13}); \\
 dX_4/dt = B_{4-5}(X_5) \dots B_{4-13}(X_{13})(F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_8 + F_{11} + F_{12}) - (F_5 + F_6 + F_7 + F_9 + F_{10} + F_{13}); \\
 dX_5/dt = B_{5-3}(X_3) B_{5-4}(X_4) B_{5-9}(X_9) \dots B_{5-13}(X_{13})(F_1 + \dots + F_4 + F_8 + F_{11} + F_{12}) - (F_5 + F_6 + F_7 + F_9 + F_{10} + F_{13}); \\
 dX_6/dt = B_{6-2}(X_2) B_{6-3}(X_3) B_{6-9}(X_9) \dots B_{6-13}(X_{13})(F_1 + \dots + F_4 + F_8 + F_{11} + F_{12}) - (F_5 + F_6 + F_7 + F_9 + F_{10} + F_{13}); \\
 dX_7/dt = B_{7-1}(X_1) B_{7-2}(X_2) B_{7-8}(X_8) \dots B_{7-13}(X_{13})(F_1 + \dots + F_4 + F_8 + F_{11} + F_{12}) - (F_5 + F_6 + F_7 + F_9 + F_{10} + F_{13}); \\
 dX_8/dt = F_4 - F_5 - F_6 - F_{10}; \\
 dX_9/dt = B_{9-10}(X_{10}) \dots B_{9-13}(X_{13})(F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_8 + F_{11} + F_{12}) - (F_5 + F_6 + F_7 + F_9 + F_{10} + F_{13}); \\
 dX_{10}/dt = (F_1 + F_4) - (F_5 + F_6 + F_{10}); \\
 dX_{11}/dt = (F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_8) - F_5; \\
 dX_{12}/dt = (F_1 + F_2 + F_3 + F_4) - F_5; \\
 dX_{13}/dt = (F_1 + F_2 + F_4 + F_{11}) - (F_6 + F_9).
 \end{cases}$$

Аппроксимация численного решения многочленами

$$X_1(t) = 0.0014t^3 - 0.023t^2 + 0.063t + 0.992$$

$$X_2(t) = 0.002t^3 - 0.019t^2 + 0.004t + 1.01$$

$$X_3(t) = 0.0067t^3 - 0.0775t^2 + 0.15t + 1.004$$

$$X_4(t) = 0.0011t^3 - 0.00864t^2 - 0.0005t + 1.003$$

$$X_5(t) = 0.0126t^2 - 0.1057t + 1.0031$$

$$X_6(t) = -0.0082t^2 + 0.0103t + 1.014$$

$$X_7(t) = -0.0079t^3 + 0.104t^2 - 0.35t + 0.98$$

$$X_8(t) = 0.0028t^3 - 0.0234t^2 + 0.0329t + 1.06$$

$$X_9(t) = -0.00035t^3 + 0.0037t^2 - 0.0224t + 1.072$$

$$X_{10}(t) = -0.0153t^2 + 0.167t + 0.84$$

$$X_{11}(t) = -0.002t^2 + 0.058t + 0.996$$

$$X_{12}(t) = 0.0004t^3 - 0.0153t^2 + 0.174t + 1.006$$

$$X_{13}(t) = 0.0001t^3 - 0.018t^2 + 0.13t + 0.99$$

Аппроксимация подынтегральной функции

$$F(t) = 0.00000143t^7 - 0.00004t^6 + 0.00042t^5 - 0.00193t^4 + 0.0026t^3 + 0.0021t^2 + 0,084t$$

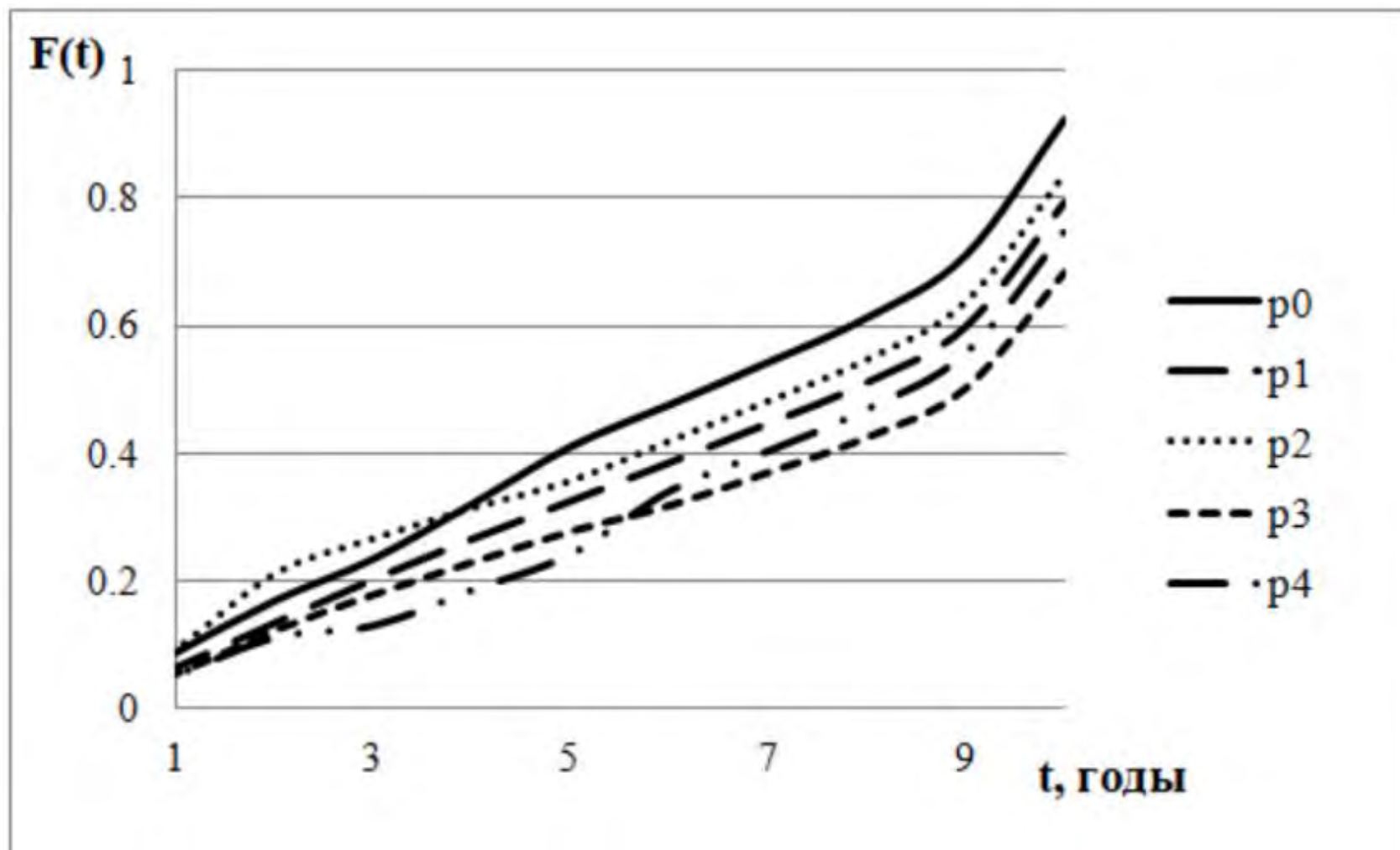
Определение управляющих воздействий

Управляющие воздействия $U(t)$, минимизирующие S , формируются в виде одного из комплексных планов мероприятий $p^* \in P$, реализация которых изменяет значения нормированных фактических показателей X_i

$$p_j : \{X_1(t), X_2(t), \dots, X_{13}(t)\} \rightarrow \{X_1(t) + \delta_1^{(j)}, X_2(t) + \delta_2^{(j)}, \dots, X_{13}(t) + \delta_{13}^{(j)}\},$$

где $-X_i(t) < \delta_i^{(j)} < 1 - X_i(t)$; $i = 1, 2, \dots, 13$; $j = 1, 2, \dots, N$

Подынтегральная функция $F(t)$ в случае реализации плана штатного управления p_0 , а также планов p_1 - p_4



Мероприятия: Разработка и внедрение интеллектуальных транспортных систем (дается без численных значений и др. параметров)

1. Установка фото и видео наблюдения на дорогах с опасными участками
2. Разработка и установка систем, позволяющих динамически влиять на пропускные способности дорог города за счет регулирования транспортных потоков светофорами
3. Ужесточение контроля за техническим состоянием транспортных средств и их безопасностью
4. Установка ГЛОНАСС на автомобили
5. Использование ИТС водителями, которые позволяют оптимизировать маршруты движения транспортных средств с учетом актуального состояния дорожного движения
6. Сигнализирование водителю при нарушении безопасного скоростного режима и при нарушениях
7. Экономические льготы при покупке машин с системами «умного круиз-контроля», автоматически предупреждающих столкновения.

Мероприятия: Повышение компетенции водителей (дается без численных значений и др. параметров)

1. Увеличение количества обучающих часов с инструктором
2. Проведение обязательного спецкурса вождения в зимних условиях для водителей, сдавших экзамен на управление ТС летом
3. Проведение дополнительного экзамена для водителей при замене водительского удостоверения в ГИБДД
4. Введение поощрительной системы для водителей прошедших курс поведения в экстремальных ситуациях

Как выбираются планы и определяются их численные характеристики?

После введения разработанных мероприятий следует убедиться в их эффективности: необходимо собрать статистику по системным переменным и факторам за период после введения мероприятий и в зависимости от результатов произвести изменения модели, в частности, в виде корректировки используемых функциональных зависимостей.



Спасибо за внимание!