

*На правах рукописи*

УДК- 629.7.017.1+519.852

**Чан Ван Туен**

**УПРАВЛЕНИЕ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА БЕЗОПАСНОГО  
ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПРИ ИХ ВСТРЕЧЕ**

Специальность 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (информатика, управление и вычислительная техника)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва – 2012

Работа выполнена на кафедре «Системы автоматического и интеллектуального управления» Московского авиационного института (национального исследовательского университета) «МАИ».

Научный руководитель:	доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ Лебедев Георгий Николаевич
Официальные оппоненты:	доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой МГУПИ Слепцов Владимир Владимирович
	доктор технических наук, профессор, профессор МИРЭА Манько Сергей Викторович
Ведущая организация:	ФГУП «ГОСНИИАС»

Защита состоится «19» ноября 2012 г. в 15 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 212.125.11 в Московском авиационном институте (государственном техническом университете) по адресу: 125993, г. Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, д. 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МАИ.

Автореферат разослан «    »                    2012 г.

Учёный секретарь  
Диссертационного совета Д 212.125.11  
канд. тех. наук, доцент

Горбачев Ю.В.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Актуальность работы.** При управлении подвижными объектами различного класса, такими как наземный городской транспорт, летательные аппараты при маловысотном полете, речные и морские суда, возникает проблема обеспечения безопасности движения при встрече с различными препятствиями. Существующие методы автоматического управления позволяют синтезировать структуры линейных регуляторов в аналитической форме, однако они не дают оценки степени риска при опасном сближении с препятствием.

Между тем при ручном управлении человек испытывает реальные ощущения нарастания тревоги в случае недопустимого снижения безопасности движения, что вызывает последующую перестройку способа обхода препятствий. Поэтому целью настоящей работы является воспроизведение поведения человека путем количественной оценки текущего риска в движении с помощью предложенной системы контроля и, главное, последующей перестройки системы управления на примере обхода препятствий при встречном движении.

**Целью** диссертационной работы является повышение безопасности движения транспортных средств при их сближении путем непрерывной оценки прогнозируемого риска их возможного столкновения и принятия предупредительных мер при управлении движением.

**Для достижения этой цели в работе решены следующие задачи:**

1. Формулировка задачи оптимального управления безопасным движением и выбор метода ее решения на базе динамического программирования;
2. синтез оптимального управления обходом неподвижного препятствия наземным и речным транспортом;
3. решение задачи безопасного встречного движения двух транспортных средств;

4. формирование единой структуры одновременного контроля и управления безопасным движением транспортных средств;
5. моделирование на ЭВМ процессов встречного движения наземного транспорта и речных судов.

**Основными научными положениями, выносимыми на защиту, являются:**

1. интегральный критерий оптимальности управления безопасным встречным движением транспортных средств;
2. представление функции риска столкновения транспортных средств с помощью правой части уравнения Беллмана;
3. зависимость оптимального управления и контролируемой функции риска от продольных и боковых скоростей сближающихся транспортных средств;
4. комплексирование процедур контроля и управления в виде двухуровневой структуры принятия решений по управлению боковым и продольным решением.

**Научная новизна полученных результатов состоит в следующем:**

1. В предложенный интегральный критерий введена переменная функция штрафов, оценивающая вероятную стоимость прогнозируемого ущерба от столкновения при встрече транспортов в зависимости от боковой и продольной дальности до препятствия;
2. С помощью динамического программирования найдена аналитическая форма контролируемой функции риска в виде правой части уравнения Беллмана;
3. Показано, что функция риска возрастает при сближении с препятствием и при увеличении как скорости сближения, так и боковой скорости встречного транспорта, что отвечает физическому смыслу решаемой задачи;

4. Доказано, что при увеличении боковой и продольной скоростей встречного движения минимальное расстояние между транспор- тами при встрече должно увеличиваться для большей безопасно- сти. С этой целью найдена в квадратурах зависимость оптималь- ного управления от этих скоростей;
5. Предложена двухуровневая структура интегрированного контро- ля и управления продольным и боковым движением. В случае не- допустимо большого риска при управлении боковым движением для обхода препятствия сигнал предупредительной тревоги пере- дается в другой канал продольного движения, в котором заданная скорость поступательного движения снижается, и прогнозируе- мый риск входит в норму.

**Достоверность полученных результатов** подтверждается тем, что синтезированные алгоритмы контроля и управления получены с помощью научно-обоснованных методов динамического программирования и анали- тического конструирования оптимальных регуляторов. Полученные ре- зультаты моделирования и найденные зависимости адекватны физическо- му смыслу процессов безопасного движения транспортных средств.

**Практическая ценность** результатов заключается в том, что включе- ние в систему управления сигналов тревоги позволит существенно снизить риск, если с помощью специальных измерительных средств контролиро- вать движение встречного транспорта. Такие средства на речном транспор- те есть, и в этом случае предложенный подход применим в настоящее вре- мя.

Кроме того, весьма перспективна демонстрация прогнозируемой функции риска на различных тренажерах при обучении операторов по управлению, чтобы своевременно обратить внимание на возрастание опас- ности встречного движения.

**Апробация работы.** Основные теоретические и прикладные результаты диссертационной работы докладывались и получили одобрение на Международной научно-технической конференции «Проблема автоматизации и управления в технических системах» (г. Пенза, 2011) и на конференции «Научная сессия ГУАП» (г. Санкт-Петербург, 2010).

**Публикация.** Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 5 статьях и 2 докладах, среди которых 4 статьи включены в перечень изданий, рекомендованных ВАК.

**Структура и объем работы:** Диссертация изложена на 96 стр., содержит 34 рисунков, список литературы из 64 наименований и состоит из 5-ти глав.

Глава 1 содержит общую постановку задачи. Глава 2 посвящена синтезу оптимального управления транспорта при встрече с неподвижным препятствием. В главе 3 рассмотрены процессы контроля безопасности встречного движения и его в реконфигурации процесса обхода препятствия. В главе 4 найден закон управления движением при встрече двух транспортных средств. В главе 5 представлены результаты моделирования движения транспортных средств, подтвердившие эффективность предложенного подхода.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность диссертационной работы, определена область исследований, сформулированы цель и задачи диссертации, изложены основные результаты, выносимые на защиту, их теоретическая и практическая значимость, отражены сведения о реализации и апробации работы.

**Первая глава** посвящена анализу систем управления и контроля речного и наземного транспорта. Установлено, что в существующих системах сигналы предупредительных тревог носят альтернативный характер и не используются непосредственно для плавного регулирования. Система кон-

троля безопасности движения функционирует в основном отдельно от систем управления движением. Система управления в свою очередь, в том числе при использовании оптимального управления, работает без непрерывного учета безопасности движения.

Показано, что среди методов оптимального управления наиболее подходящим методом синтеза регуляторов является динамическое программирование, в частности известный метод аналитического конструирования оптимальных регуляторов. При этом подходе кроме структуры регулятора определяется также прогнозируемая функция риска, что весьма важно. Поэтому был сделан вывод о поэтапном решении задачи обеспечения безопасного встречного движения транспортных средств. На первом этапе формируется оптимальное управление в предположении, что движение транспортных средств при их встрече безопасно, и поэтому минимизируется интегральный штраф отклонения от заданной линии пути. На втором этапе решается задачи контроля безопасности, и при появлении сигнала предупредительной тревоги осуществляется коррекция оптимального управления, в частности, снижается скорость движения транспорта.

Также в главе 1 приведена постановка задачи с учетом постоянного штрафа за столкновение с препятствием.

Дано:

1. Заданы дифференциальные уравнения движения транспорта, описываемого динамической системой второго порядка

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = dx_2 + C_1 \\ \dot{x}_2 = -ax_2 + bu \end{cases} \quad (1)$$

где  $x_1$  - координата бокового отклонения транспорта от заданной траектории (фарватер),  $x_2$  - координата боковой скорости транспорта.

2. Поступательное движение транспорта происходит с заданной постоянной скоростью  $v_1$ , в результате чего меняется длина у пройденного пути.

3. Задан интегральный критерий качества  $J = \int_0^{t_k} f_0(\bar{x}, u, t) dt$  (2)

где  $f_0 = r_0 \frac{u^2}{2} + r_1 \frac{x_1^2}{2} + r_2 \frac{x_2^2}{2} + r_3 \frac{(x_1 + C_0 - D)^2}{2}$  (3)- подынтегральное выра-

жение функционала J, учитывающего постоянный штраф  $r_1$  за отклонение от фарватера, штраф  $r_2$  за боковую скорость, главный штраф  $r_3$  за столкновения и штраф  $r_0$  за потраченную мощность при управлении;  $x_1$ - удаление от фарватера или боковой путь ;  $x_2$ - боковая скорость транспорта;  $a, b$ - параметры объекта управления;  $C_1$ - боковая скорость течения;  $C_0$ - расстояние от фарватера до острова ;  $D$ - заданная минимальная дистанция от управляемого объекта до препятствия;

4. Заданы уравнения встречного движения (бокового и поступательного) другого объекта, который может быть в частности неподвижным, подвижным, неуправляемым и управляемым средствами

$$\begin{cases} e' = -w \\ z' = v_2 - a_2 z \end{cases} \quad (4)$$

- при  $v_2 = 0, a_2 = 0, w = 0$  имеем неподвижное препятствие;

- при  $v_2 \neq 0, a_2 = 0, w \neq 0$  имеем подвижное неуправляемое препятствие;

- при  $v_2 = 0, a_2 \neq 0$  в этой диссертации не рассматривается;

Требуется решить две задачи:

- 1) осуществить синтез оптимального управления безопасным движением транспорта;
- 2) сформировать сигнал контроля безопасности движения, чтобы в необходимых случаях внести коррекцию синтезированного управления.

Предложенным подходом к решению поставленной задачи является динамическое программирование.

**Во второй главе** рассматривается наиболее простой случай движения транспорта при встрече с неподвижным препятствием. В этом случае исследуется два варианта : встречи с протяженным неподвижным препятствием и с малоразмерным препятствием.

В случае обхода протяженного препятствия подынтегральное выражение критерия имеет вид  $f_0 = r_0 \frac{u^2}{2} + r_1 \frac{x_1^2}{2} + r_2 \frac{x_2^2}{2} + r_3 \frac{(x_1 + C_0 - D)^2}{2}$  (5)

С помощью функции Беллмана  $\varepsilon = \beta_1 x_1 + \gamma_1 \frac{x_1^2}{2} + \psi x_1 x_2 + \beta_2 x_2 + \gamma_2 \frac{x_2^2}{2}$  и уравнения Беллмана

$$-\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = r_0 \frac{u^2}{2} + r_1 \frac{x_1^2}{2} + r_2 \frac{x_2^2}{2} + r_3 \frac{(x_1 + C_0 - D)^2}{2} + (\beta_1 + \gamma_1 x_1 + \psi x_2)(dx_2 + C_1) + \text{было} \\ + (\beta_2 + \gamma_2 x_2 + \psi x_1)(-ax_2 + bu)$$

найдено управление  $\Rightarrow u_{opt.} = -\frac{b}{r_0}(\beta_2 + \gamma_2 x_2 + \psi x_1)$  (6) и коэффициенты этого управления  $\beta_2, \gamma_2, \psi$ .

Проведенное моделирование этого управления показало, что обход препятствия осуществляется на безопасную дистанцию D, но затем при использовании критерия в виде (5) не происходит удачного возвращения на форватер.

Во втором случае рассмотрен случай обхода малоразмерного препятствия. При этом штрафная функция уже учитывает переменную функцию в зависимости от удаления  $y_1$  от препятствия  $M(y_1) = r_3 \frac{D^2}{1 + (x_1 + C_0)^2 + y_1^2}$ .

Решение задачи с помощью уравнения Беллмана позволило найти новые коэффициенты оптимального регулятора, учитывающие заданную безопасную дистанцию D и размер  $C_0$  самого препятствия

$$u = -\frac{b}{r_0} \left\{ \frac{r_0}{b^2} \frac{M(C_0 - D)}{\psi} + \frac{r_0}{b^2} \frac{C_1}{d} \left[ a + \frac{b^2}{r_0} \left( \frac{r_2}{2a} + \frac{d}{a} \psi \right) \right] + \left( \frac{r_2}{2a} + \frac{d}{a} \psi \right) x_2 + \psi x_1 \right\} \quad (7)$$

$$u = -\frac{b}{r_0} \left[ \frac{C_1}{d} \left( \frac{r_0 a}{b^2} + \frac{r_2}{2a} + \frac{d}{a} \psi \right) + (C_0 - D) \psi \frac{M}{r_1 + M} + \left( \frac{r_2}{2a} + \frac{d}{a} \psi \right) x_2 + \psi x_1 \right]$$

Результат моделирования обхода препятствия показан на рис.

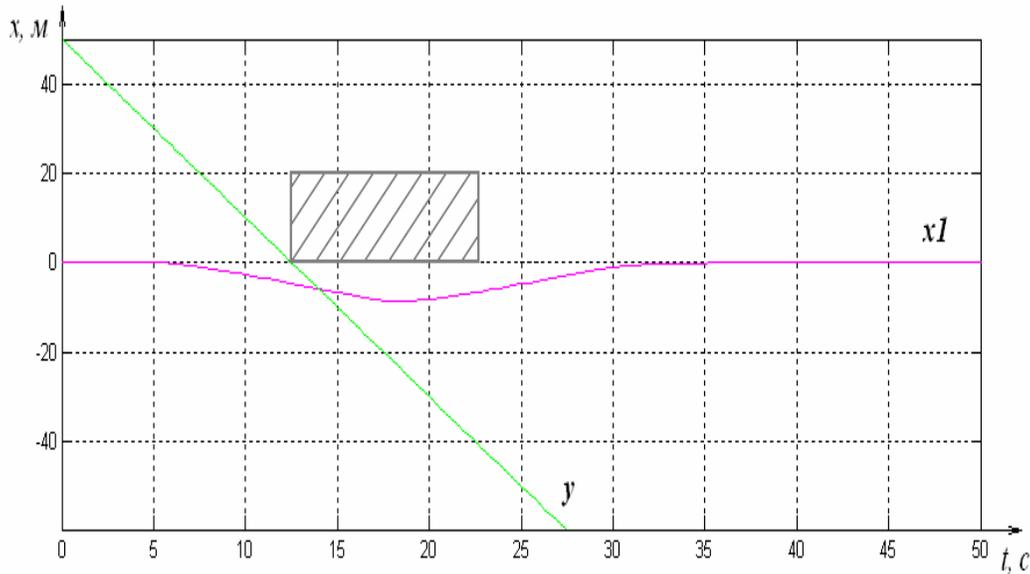


Рис.2 Процесс маневрирования для бокового движения судна при обходе малоразмерного препятствия для  $y_1(0)=10\text{m}$

Полученные результаты моделирования показали, что судно после обхода препятствия возвращается на фарватер и оптимальное управление боковым движением при отсутствии контроля безопасности движения снижает риск столкновения с препятствием, однако в случае его обнаружения на малых дальностях жесткое соблюдение закона управления поступательным движением приведет к аварии.

**Третья глава** посвящена непрерывной оценке контроля прогнозируемой безопасности встречного движения транспортов. Результаты моделирования процессов обхода препятствий привели к идее использования для цели контроля функции риска  $F(x)$  в виде правой части уравнения Беллмана

$$\begin{aligned}
F(x) = -\frac{\partial \mathcal{E}}{\partial t} = \min_{u_1} \left\{ r_0 \frac{u_1^2}{2} + r_1 \frac{(x_1 - m)^2}{2} + r_2 \frac{x_2^2}{2} + \frac{1}{2} \frac{r_3 (x_1 - z + D)^2}{1 + \frac{y^2}{(x_1 + D)^2}} + \right. \\
+ (\beta_1 + \gamma_1 x_1 + \psi_{12} x_2 + \varphi y^2 + \psi_{13} y + p y^2 x_2)(dx_2 + C_1) + \\
+ (\beta_2 + \gamma_2 x_2 + \psi_{12} x_1 + \psi_{23} y + \theta y^2 + p y^2 x_1)(-ax_2 + bu_1) - \\
\left. - (\beta_3 + \gamma_3 y + \psi_{13} x_1 + \psi_{23} x_2 + 2\theta y x^2 + 2p y x_1 x_2) v_1 \right\} \quad (8)
\end{aligned}$$

До сих пор не было уделено достаточного внимания процессу изменения этой функции риска. Поэтому была проанализирована зависимость правой части уравнения Беллмана от начальной дистанции  $y_1(0)$  маневрирования до препятствия.

*Во-первых*, эта функция растет и максимальна в момент обхода препятствия, а затем величина ожидаемого риска снижается и стремится к нулю.

*Во-вторых*, при увеличении начальной дистанции маневрирования величина ожидаемого риска снижается из-за увеличения располагаемого ресурса времени на маневрирование.

Также была проанализирована зависимость функции риска от скорости сближения с препятствием. Рис.4 показано изменение функции риска по скоростям сближения с препятствием

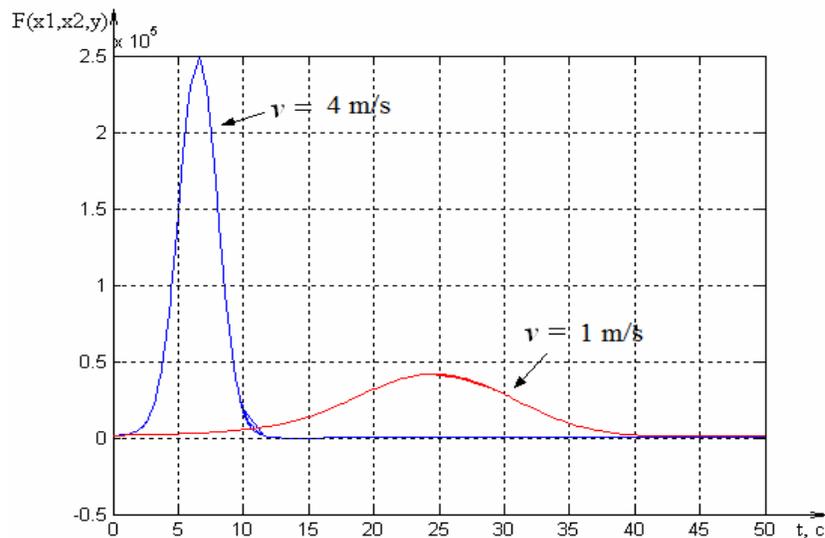


Рис.4 Зависимость функции риска от скорости движения

Видно, что функция риска растет при увеличении скорости сближения с препятствием, что соответствует физическому смыслу : чем «быстрее» движение, тем это «опаснее».

Для того чтобы повысить безопасность встречного движения, предлагается понизить скорость продольного движения транспортов при недопустимом повышении функции риска  $F$ . Для этого предложена двухуровневая структура контроля и управления безопасным движением. Эта структура показана на рис.5. С помощью этой структуры можно осуществить регулирование скоростей движения транспортов и контроль функции риска, и в случае недопустимого снижения безопасности необходимо дополнительно предпринять аварийное снижение скорости вплоть до полного торможения.

Для этого нужно сравнить контролируруемую текущую функцию риска  $F$  с некоторым порогом  $F_{дон}$ , при котором экспериментально доказано успешность обхода препятствия на высокой скорости  $v_{max}$ . Тогда разность  $F - F_{дон} = \Delta F$  дает нужную команду на управление поступательным движением. Если  $\Delta F$  положительна, то нужно снизить скорость хода судна до значения  $v_{min}$ , если разность  $\Delta F$  отрицательна, то – увеличить до заданного значения  $v_{max}$ .

Этот способ повышения безопасности можно реализовать с помощью следующей динамической модели :

$$\begin{cases} \dot{y}_1 = -v_1 \\ \dot{v}_1 = \frac{1}{\tau} [0.5(v_{max} + v_{min}) + 0.5(v_{min} - v_{max}) \text{sign}(F - F_{дон}) - v_1] \end{cases} \quad (9)$$

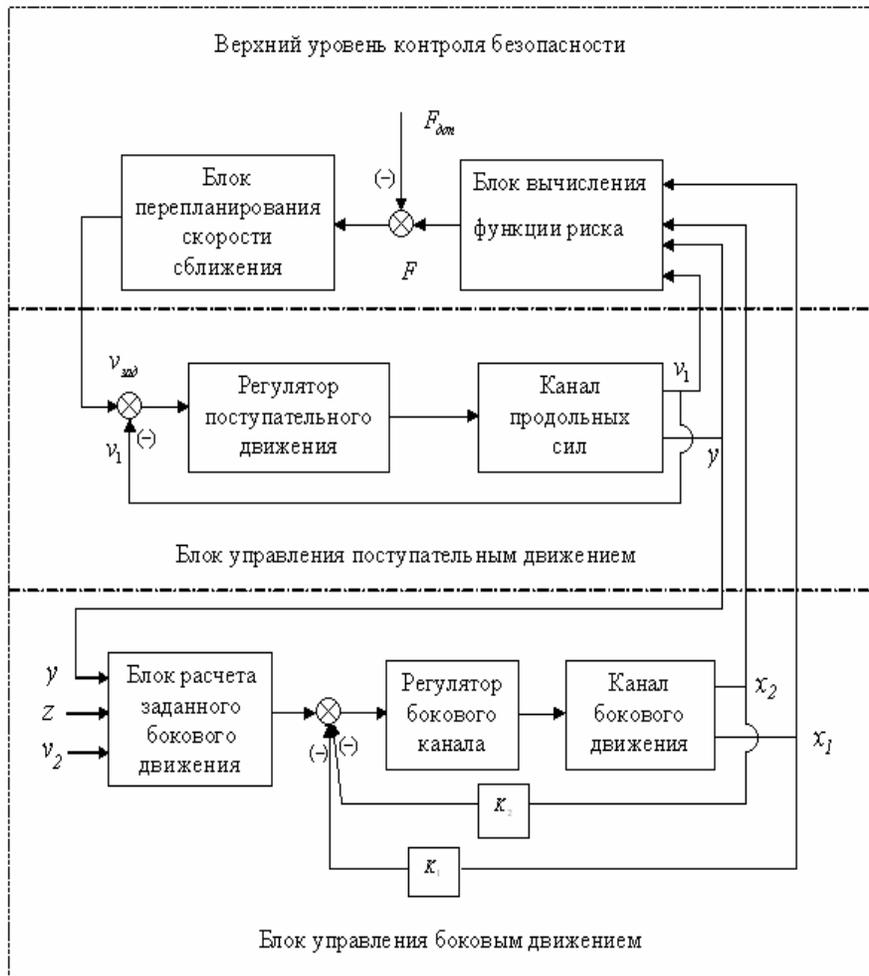


Рис.5 Двухуровневая структура контроля и управления безопасным встречным движением

В заключении главы 3 сделан вывод, что найденный объединенный способ контроля и управления объектом при встречном движении и неподвижном препятствии использует в качестве входных сигналов координаты бокового и поступательного движения  $x_1$ ,  $x_2$  и  $y_1$ , а также меняющуюся скорость  $v_1$  поступательного движения.

**В четвертой главе** говорится о синтезе оптимального управления безопасным встречным движением двух транспортных средств.

Общая динамическая модель движения примет вид:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = dx_2 + C_1 \\ \dot{x}_2 = -a_1 x_2 + bu \\ \dot{y} = -(v_1 + w) \\ \dot{z} = v_2 - a_2 z \end{cases} \quad (10)$$

где  $w$  - скорость попутного движения встречного транспорта;

$v_1$  - скорость бокового движения первого транспорта;

$v_2$  - скорость бокового движения второго встречного транспорта.

Задан переменный штраф за сближение с препятствием

$$III = \frac{r_3 [x_1 - (z - D)]^2}{2 \left( 1 + \frac{y^2}{(x_1 + D)^2} \right)} \quad (11)$$

Решение задачи синтеза регулятора методом динамического программирования использует следующую функцию Беллмана, которая записывается таким образом:

$$\begin{aligned} \varepsilon = & \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 y + \beta_4 z + \gamma_1 \frac{x_1^2}{2} + \gamma_2 \frac{x_2^2}{2} + \gamma_3 \frac{y^2}{2} + \gamma_4 \frac{z^2}{2} + \psi_{12} x_1 x_2 + \\ & + \psi_{13} x_1 y + \psi_{14} x_1 z + \psi_{23} x_2 y + \psi_{24} x_2 z + \psi_{34} y z + \theta y^2 x_2 + p y^2 x_1 x_2 + \varphi y^2 z \end{aligned} \quad (12)$$

Добавление новых слагаемых более высокого порядка в степенном полиноме для  $\varepsilon$  необходимо, чтобы учесть члены разложения функции штрафа с коэффициентом  $r_3$ , имеющем вид дробной функции.

С помощью найденных выше частных производных запишем уравнение Беллмана таким образом:

$$\begin{aligned} -\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = & \min_u \left\{ r_0 \frac{u^2}{2} + r_1 \frac{(x_1 - m)^2}{2} + r_2 \frac{x_2^2}{2} + \frac{1}{2} \frac{r_3 (x_1 - z + D)^2}{1 + \frac{y^2}{(x_1 + D)^2}} + \right. \\ & + (\beta_1 + \gamma_1 x_1 + \psi_{12} x_2 + \psi_{13} y + p y^2 x_2 + \psi_{14} z)(dx_2 + C_1) + \\ & + (\beta_2 + \gamma_2 x_2 + \psi_{12} x_1 + \psi_{23} y + \psi_{24} z + \theta y^2 + p y^2 x_1)(-ax_2 + bu) - \\ & - (\beta_3 + \gamma_3 y + \psi_{13} x_1 + \psi_{23} x_2 + \psi_{34} z + 2\theta y x_2 + 2p y x_1 x_2 + 2\varphi y z)(v_1 + w) + \\ & \left. + (\beta_4 + \gamma_4 z + \psi_{14} x_1 + \psi_{24} x_2 + \psi_{34} y + \varphi y^2)(v_2 - a_2 z) \right\} \end{aligned} \quad (13)$$

Решая задачу синтеза для установившегося состояния, можно получить систему алгебраических уравнений относительно коэффициентов функции Беллмана, которые равны

$$\begin{aligned} \rightarrow \psi_{12} &= \frac{\sqrt{(r_1 + r_3)r_0}}{b}, \quad \rightarrow \gamma_2 = \frac{r_0}{b^2} \left( a_1 + \sqrt{a_1^2 + \frac{b^2(r_2 + 2\psi_{12})}{r_0}} \right), \\ \rightarrow \psi_{24} &= \frac{-r_3}{a_2(a_1 + a_2 + \frac{b^2}{r_0}\gamma_2) + \frac{b^2}{r_0}\psi_{12}}, \quad (14) \quad \rightarrow \psi_{14} = \psi_{24} \left( a_1 + a_2 + \frac{b^2}{r_0}\gamma_2 \right), \\ \rightarrow \theta &= \frac{2r_3 r_0}{D b^2 \psi_{24}}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rightarrow p &= \sqrt{-\frac{r_3 r_0}{D b^2 \psi_{24}}}, \\ \rightarrow \psi_{23} &= \frac{\left[ -\frac{\psi_{12} \psi_{24} b^2 v_2}{4 \theta r_0 (v_1 + w)} + (v_1 + w) \left( a_1 + b^2 \frac{\gamma_2}{r_0} + \sqrt{\Delta} \right) \right] \theta r_0}{\psi_{12} b^2}, \\ \text{где } \Delta &= \left[ \frac{\psi_{12} \psi_{24} b^2 v_2}{4 \theta r_0 (v_1 + w)} - (v_1 + w) \left( a_1 + \frac{b^2 \gamma_2}{r_0} \right) \right]^2 - \frac{2 \psi_{12} b^2}{\theta r_0} \left[ \frac{\psi_{12} \gamma_2 b^2}{r_0} - r_1 m + r_3 D + \psi_{14} v_2 - 2 \theta (v_1 + w)^2 \right], \\ \rightarrow \beta_2 &= \left[ 2 r_3 - \frac{b^2 \psi_{23} \psi_{24} v_2}{2 r_0 (v_1 + w)} - \frac{b^2 \psi_{23}^2}{2} - \frac{2 b^2 \gamma_2 \theta}{r_0} \right] \frac{r_0}{2 b^2 \theta}, \\ \rightarrow \psi_{13} &= \frac{-r_1 m + r_3 D + \psi_{14} v_2 - \frac{b^2 \beta_2 \psi_{12}}{r_0}}{v_1 + w} \end{aligned}$$

Это позволило найти управление в синтезированном виде, содержащем дробную функцию:

$$u = -\frac{b}{r_0} \left( \gamma_2 x_2 + \psi_{12} x_1 + \frac{\beta_2 + \psi_{24} z}{1 - \theta \frac{y^2}{\beta_2}} \right) \quad (15)$$

Полученные результаты позволяют промоделировать движение двух транспортов, которое показывает, что после обхода препятствия наш объект возвращается на линию движения (см. на рис.6)

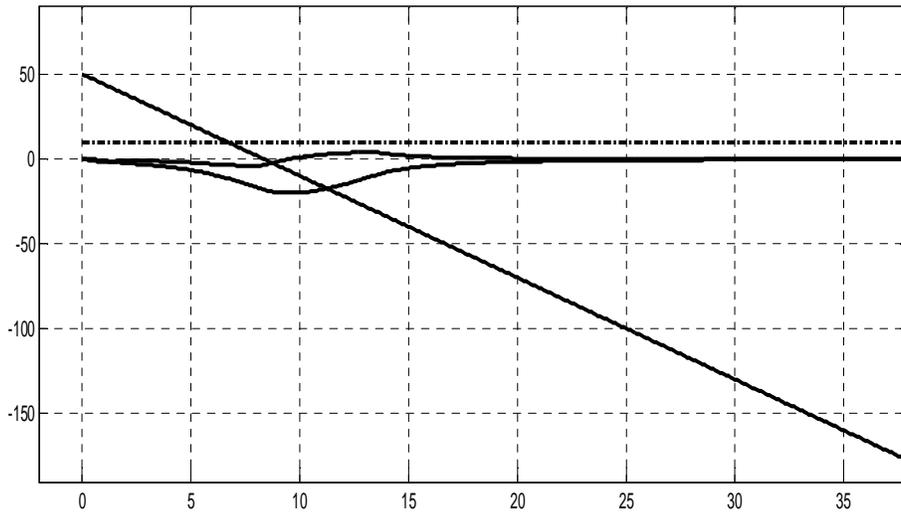


Рис.6 Процесс маневрирования для бокового движения судна при началь-  
ных условиях  $v_2 = 0 \text{ м/с}$ ,  $w = 2 \text{ м/с}$ ,  $y_0 = 50 \text{ м}$ ,  $z_0 = 10 \text{ м}$

Также в главе 4 установлена зависимость оптимального регулятора от скоростей попутного и бокового движения транспортов. Показано, что с увеличением этих скоростей минимальная дистанция между транспортами в момент их встречи должна быть увеличена.

В заключении главы 4 показано, что вычисляемая функция риска растет при увеличении скоростей движения транспортов. Сделан вывод о том, что управление и функция риска в первом приближении линейно зависят от скоростей движения транспортов.

**В пятой главе** проведено моделирование речного транспорта, как показано на рис.7

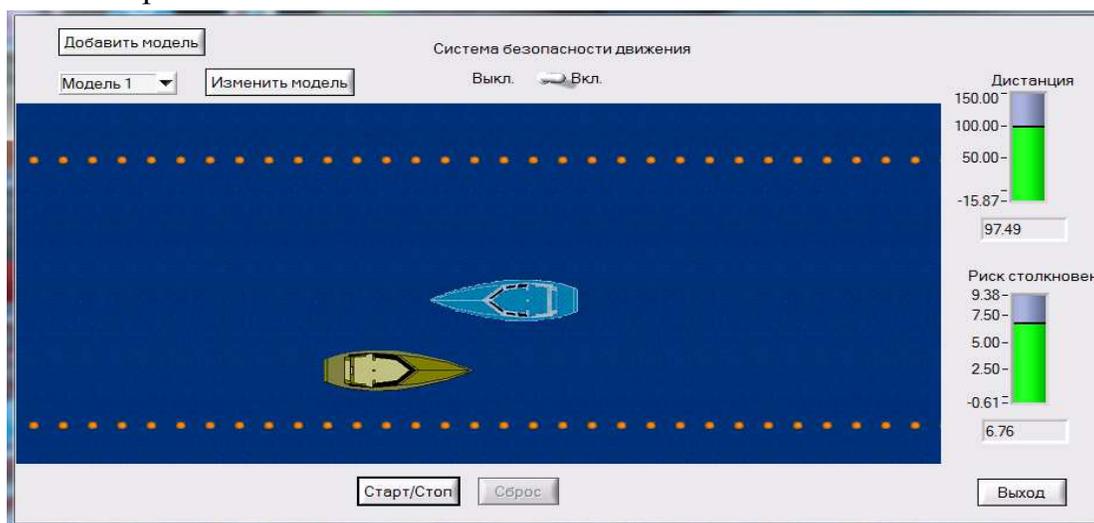


Рис.7 Моделирование встречного движения речных судов

Моделирование показало, что в случае опасного сближения судов их скорость снижается, что позволяет избежать их столкновения и обеспечить при встрече нужную дистанцию.

Сделан вывод о высокой эффективности предложенного подхода, реализующего прогнозируемый контроль безопасного движения и снижения скорости движения в необходимых случаях.

Также было проведено моделирование встречного движения наземного автомобильного транспорта, как показано на рис.8

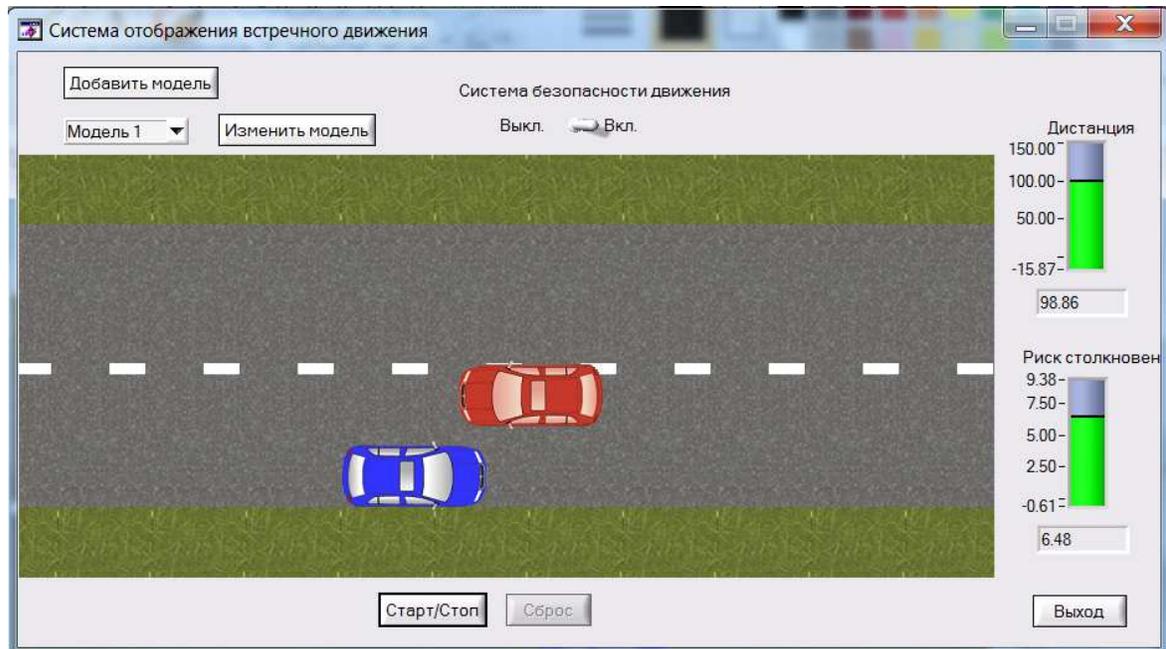


Рис.8 Моделирование встречного движения наземных транспортных средств

При этом очевидно значение функции риска будет меньше, чем у предыдущих ситуаций, так как дистанция при встрече транспортных средств будет меньше.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Сформулирована и решена задача синтеза оптимального управления боковым движением транспорта при обходе неподвижных препятствий.
2. С помощью динамического программирования найдена аналитическая форма контролируемой функции риска безопасности встречного движения в виде непрерывного сигнала предупредительной тревоги.
3. Предложенная единая двухуровневая структура контроля и управления продольным и боковым движением транспортных средств. В случае недопустимо большого риска в боковом движении сигнал тревоги передается в другой канал управления продольным движением, чтобы снизить попутную скорость и привести значение риска в норму.
4. Установлена зависимость параметров оптимального регулятора и функции риска от скоростей продольного и бокового движения транспортных средств. Показано, что с ростом этих скоростей минимальная дистанция при встрече должна быть увеличена.
5. Результаты моделирования на ЭВМ подтвердили эффективность предложенного подхода как одной из мер повышения безопасности встречного движения транспортных средств.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### **В изданиях, рекомендованных перечнем ВАК:**

1. Лебедев Г.Н , Чан Ван Туен, Китаев А.Н, «Совместное управление и контроль безопасности полета воздушных судов при их сближении» // Вестник МАИ ,Том 18, № 3.- М.: МАИ , 2011 , стр. 29-35.
2. Лебедев Г.Н, Чан Ван Туен, «Система управления безопасным движением транспортных средств при их сближении» // Известия Тульского Государственного Университета, ТулГУ в 2011 году, стр.14-19.
3. Лебедев Г.Н, Тин Пхон Чжо, Чан Ван Туен , «Решение динамического программирования при безопасном попутном движении воздушных судов» // Труды МАИ, № 54, в апреле 2012 года.
4. Лебедев Г.Н, Чан Ван Туен, Ву Суан Хьюнг, «Контроль и управление безопасным движением транспорта при встречном движении» // Мехатроника, автоматизация, управление , №8, 2011, стр. 56-61.

### **В других изданиях:**

1. Канушкин С.В., Лебедев Г.Н., Чан Ван Туен, Швыдченко К.И, «Подготовка операторов безотказного управления сложными подвижными объектами при регулируемом регламенте проведения проверок» // Труды «Научная сессия ГУАП». - САНКТ-ПЕТЕРБУРГ , 2010. - С. 59-65.
2. Г.Н. Лебедев, Чан Ван Туен, А.Н. Китаев, «Управление и контроль безопасности движения транспортных средств при их сближении»// Проблемы автоматизации в технических системах – Международная научно-техническая конференция Том 2.- г. Пенза : изд. ПГУ, 2011, стр.103-106.
3. Нгуен Куанг Тхьюнг, Чан Ван Туен, «О методе адаптивных схем управления для совершенствования элемента авиационных катапультных устройств (АКУ)» // Фундаментальные проблемы системной безопасности, Москва «Вузовская книга» 2010, стр.309-313.

Чан Ван Туен  
Управление и оценка качества безопасного  
движения транспортных средств при их встрече  
Автореф.дисс. на соискание ученой степени кандидата тех. наук.

Подписано в печать 10.06.2012  
Усл. печ. л. 1,0.  
Тираж 100 экз. Заказ 84  
Отпечатано в типографии «МАИ»  
125993. Волоколамское ш.. д.4. Москва