

## ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ

**Марданишин А.Ф.**

*Набережночелнинский институт (филиал) ФГАОУ ВПО Казанский (Приволжский)*

*федеральный университет,*

*423810, г. Набережные Челны, пр. Мира, д.68/19*

*e-mail: aynuras@mail.ru*

*поступила в редакцию 04 декабря 2014 года*

### Аннотация

В статье представлено исследование и реализация алгоритма нахождения оптимальных режимов движения автомобиля на различных типах рельефа. Предварительно были проанализированы существующие системы круиз-контроля. В результате исследований проведен сравнительный анализ результатов с целью выяснения наиболее оптимального управления в плане экономичности топлива и поддержания стабильной скорости. Для реализации алгоритма был использован метод динамического программирования.

**Ключевые слова:** *адаптивный круиз-контроль, динамическое программирование, целевая функция, псевдооптимальная стратегия.*

**Введение.** В наше время постоянный поиск путей повышения эксплуатационных характеристик производимых автомобилей является необходимым условием обеспечения их конкурентоспособности на рынке. И при этом, для потребителя важными являются, как и уровень качества, так и цена продукта.

Одной из важнейших характеристик автомобиля является топливная эффективность. Для увеличения топливной эффективности часто прибегают к конструктивным изменениям в автомобиле. Однако в последнее время актуальным является разработка и использование алгоритмов, программных обеспечений для бортовых компьютеров автомобилей, которые с учётом внешних условий влияют на режимы движения автомобиля и оптимизируют эти режимы относительно некоторых критериев.

Данное направление достаточно актуально в нынешнее время. Активно ведутся исследования в области создания систем адаптивного круиз-контроля, способного автоматически изменять текущую скорость автомобиля таким образом, чтобы обеспечить оптимальный режим движения с учетом внешних дорожных условий, таких как уклон продольного рельефа трассы, ограничения на скорость движения и качество дорог.

Целью данной научной работы является разработка и исследование приложения для моделирования оптимальных режимов движения грузового автомобиля по дороге с типовым рельефом. Для этого требуется построение математической модели прямолинейного движения автомобиля, разработка и тестирование приложения, моделирующего оптимальные режимы движения грузового автомобиля и тестирование приложения при различных типах рельефа.

**Основная часть.** Основной проблемой, которую необходимо решить для реализации приложения, является нахождение оптимального по некоторым критериям закона управления объектом (автомобилем). Этими критериями могут являться расход топлива, средняя скорость, количество переключений коробки передач, частота использования тормозов. Расчёт оптимального закона управления может быть реализован различными методами. В данной работе реализация расчётов производится с помощью средств динамического программирования.

Динамическое программирование (ДП) – раздел математики, посвященный теории и методам решения многошаговых задач оптимального управления. Метод ДП является одним

из самых оптимальных [1].

Критерии, по которым и находится оптимальный закон, формализуются в виде некоторой целевой функции. Целевой называется функция, связывающая цель (оптимизируемую переменную) с управляемыми переменными в задаче оптимизации. Эта функция может в общем случае зависеть от параметров состояния объекта, а также управляющих и выходных сигналов. Пространство параметров состояния и управляющих сигналов, как правило, является ограниченным. Оптимальным в пределах пространства состояния и управляющих сигналов называется такой закон управления, который минимизирует (или максимизирует) целевую функцию.

Вычислительная реализация ДП предполагает дискретное описание оптимизируемого процесса. Рассматриваемый участок трассы длиной  $L_{way}$  разбивается на  $N$  одинаковых сегментов. Длина каждого сегмента  $l$  определяется, как  $l = L_{way}/N$ . Для перехода от непрерывной модели движения автомобиля, каждый сегмент пути  $[il, (i+1)l]$ ,  $i = 0, 1, \dots, N-1$ , разбивается на  $H$  отрезков. Длина каждого отрезка  $h$  определится, как  $h = l/H$  [1].

В систему также вводятся ограничение в виде максимально допустимых отклонений от опорной скорости. Эти отклонения трактуются как жесткие ограничения, которые не должно быть превышены ни в коем случае.

Для того чтобы повысить эффективность динамического программирования возможно проведение сокращения диапазона рассматриваемых состояний системы на каждом шаге, исключив недостижимые состояния [2].

Сужение диапазона возможных скоростей выполняется следующим образом:

На начальном шаге известна начальная скорость движения  $V_0$ . Для начального шага принимаем границы интервала в виде  $V_{min} = V_{max} = V_0$ .

Далее, принимая за начальную скорость значение  $V_{maxi-1}$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$ , для  $i$ -го шага моделируем движение автомобиля на сегменте пути  $[S_{i-1}, S_i]$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$ , при полной подаче топлива, в результате чего формируется вектор скоростей  $V_{\beta=1}$ . Его максимальное значение и будет максимальной достижимой скоростью  $V_i^+$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$ , на данном шаге:

$$V_i^+ = \max\{V_{\beta=1}\}.$$

Минимальная достижимая скорость определяется путем моделирования движения автомобиля на сегменте пути  $[S_{i-1}, S_i]$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$ , при нулевом уровне подачи топлива,  $\beta = 0$ , для каждой разрешенной передачи. В качестве начальной скорости принимается величина  $V_{mini-1}$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$ . В результате формируется вектор скоростей  $V_{\beta=1}$ , минимальное значение скорости из него будет минимальной достижимой скоростью на данном шаге:

$$V_i^- = \min\{V_{\beta=1}\}.$$

Таким образом, интервал достижимых скоростей определяется на каждом шаге в виде  $[V_i^-, V_i^+]$ .

Выбор целевой (весовой) функции определяет совокупность критериев, по которым осуществляется поиск оптимальной стратегии управления. Сформированная в данной работе целевая функция учитывает следующие критерии:

- расход топлива;
- степень отклонения фактической скорости от опорной;
- величину изменения скорости за один шаг;
- переключение передачи;
- использование тормозов.

Целевая функция имеет следующий вид:

$$\zeta_i(V_i, V_{i+1}, u_i, u_{i+1}, \alpha_i) = [Q_1, Q_2, Q_3, Q_4] \begin{bmatrix} m_{fi} \\ (V_i - V_{ref})^2 \\ |V_i - V_{i+1}| \\ B_k \end{bmatrix}, i = 0, 1, \dots, N-1.$$

Алгоритм динамического программирования включает два этапа. Первый называется обратной процедурой и заключается в прохождении шагов в обратной последовательности, начиная с N-1-го до нулевого. В результате строится семейство псевдооптимальных стратегий управления для каждого возможного начального состояния. Этот этап наиболее ресурсоемкий и по требованиям к объему памяти, и по объему вычислений [3].

Второй этап называется прямой процедурой и состоит в пошаговом построении оптимальной стратегии управления, соответствующей заданному начальному состоянию.

Полученное в результате данной работы приложение было использовано для расчёта оптимальных законов управления для совокупности тестовых участков дороги с типовым рельефом.

При проведении расчётов были использованы параметры грузового дизельного автомобиля КАМАЗ-5308.

В качестве искусственных типовых профилей рельефа дороги рассматривались:

- «подъём» – участок дороги, включающий последовательно горизонтальный участок длиной не менее 500 м, участок с постоянным положительным уклоном, и второй горизонтальный участок длиной не менее 500 м;
- «спуск» – участок дороги, включающий горизонтальный участок длиной не менее 500 м, участок с постоянным отрицательным уклоном, и второй горизонтальный участок длиной не менее 500 м.

Для типового профиля «подъём» производились расчёты при длине участка со склоном 250 и 500 метров и с высотой профиля 15, 20 и 25 метров.

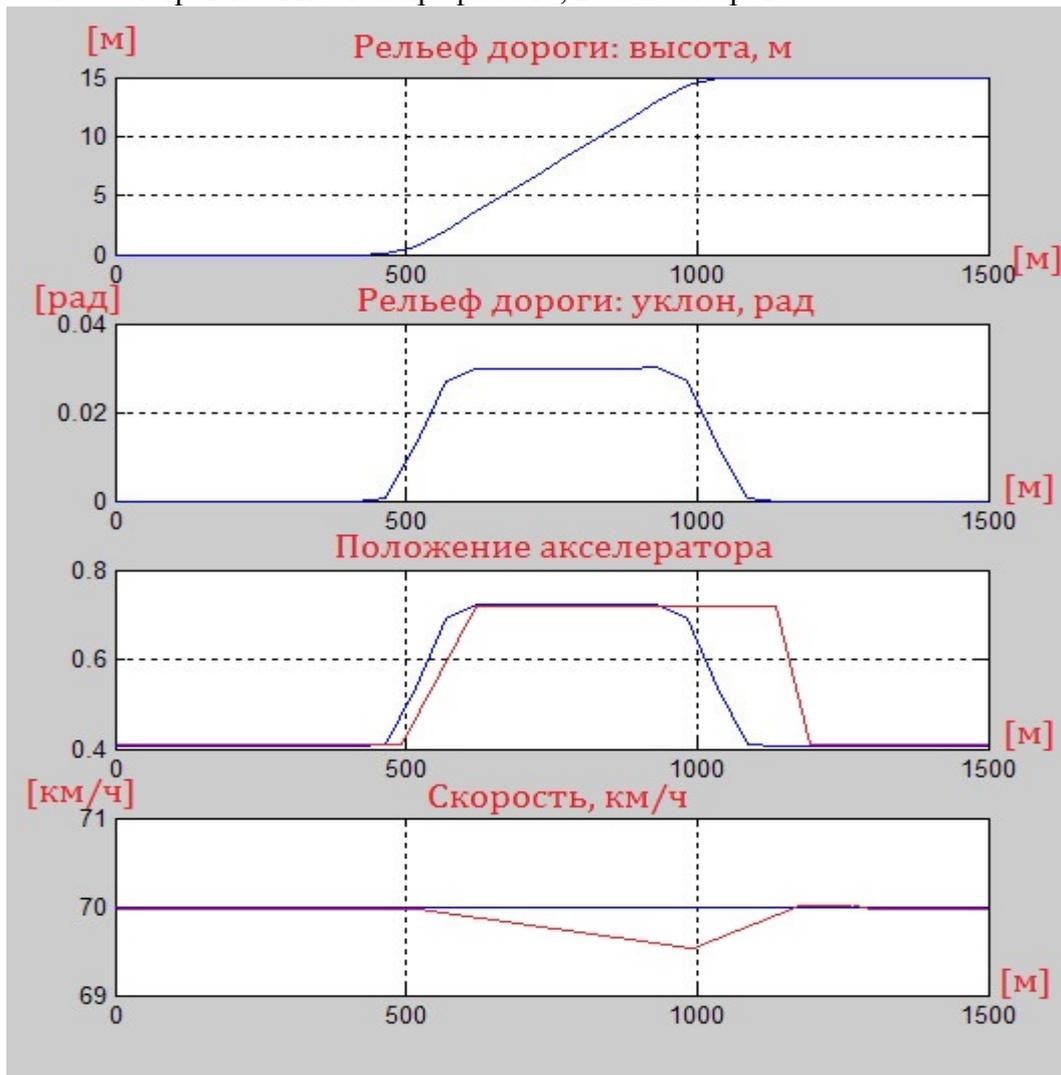


Рисунок 1. – Преодоление подъёма высотой в 15 м.

На рисунке 1 изображены 4 графика: рельеф дороги – высота и уклон, положение акселератора и скорость. Синим цветом отмечается изменение положения акселератора и скорости разработанным программным обеспечением, красным цветом – изменение положения акселератора и скорости обычным круиз-контролем.

Как видно из графиков разработанное приложение начинает увеличивать нажатие педали акселератора до начала подъёма и сохраняет заданную скорость движения на всём отрезке дороги.

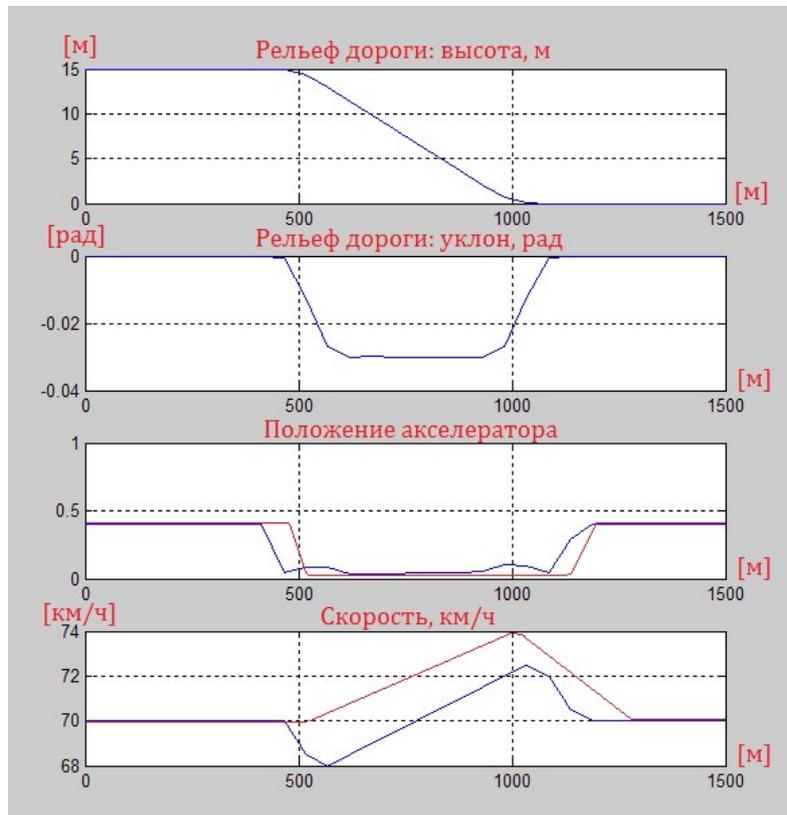


Рисунок 2. – Преодоление спуска с перепадом высот – 15 м.

На рисунке 2 видно, что для типа профиля «спуск» программа, в отличие от классического круиз-контроля, выполняет заблаговременное снижение скорости до начала спуска, чтобы избежать большое увеличение скорости на спуске, в случае чего понадобится использование тормозов, применение которых крайне не желательно по причине увеличения напрасных затрат топлива.

**Заключение.** Данная научная работа была направлена на решение задач разработки и тестирования приложения. Движение автомобиля по оптимальному закону, рассчитанному с помощью разработанного приложения, предполагает снижение расхода топлива за счет учета рельефа трассы. Алгоритм базируется на математической модели прямолинейного движения автомобиля, учитывающей влияние основных сил сопротивления, включая продольный уклон дороги.

Алгоритм, основанный на методе ДП, является требовательным к ресурсам, что отрицательно сказывается на возможности реализации его на данном уровне развития технологий бортовых компьютеров. Однако данный алгоритм можно доработать, стараясь уменьшить количество операций, что в итоге может привести к положительным результатам.

Все выходные данные были обработаны с помощью средств визуального моделирования MatLab и воспроизведены в виде графиков.

**Благодарность.** Выражаю особую благодарность нашему преподавателю – кандидату технических наук, доценту кафедры системного анализа и информатики Набережночелнинского института КФУ, Демьянову Дмитрию Николаевичу за помощь в подготовке данной статьи.

#### **Список литературы**

- 1) Беллман Р. Динамическое программирование. М.: Изд-во иностранной литературы. 1960. 400 с.
- 2) Hellström E. Explicit use of road topography for model predictive cruise control in heavy trucks. Masters thesis Linkopings Universitet. Linkoping, 2005. 79 p.
- 3) Беллман Р.Е. Дрейфус С.Е. Прикладные задачи динамического программирования. М.: Наука, 1965. 460 с.