

УДК 621.34

В.Р. Роганов<sup>1,2</sup>, А.А. Казанцев<sup>2</sup>, И.А. Баятева<sup>1</sup><sup>1</sup> Пензенский государственный технический университет, Пенза, Россия<sup>2</sup> ООО «Видео3», Пенза, Россия

## ИМИТАТОРЫ ВИЗУАЛЬНОЙ ОБСТАНОВКИ ДЛЯ ТРЕНАЖЁРОВ МАШИНИСТОВ ЛОКОМОТИВОВ

Успехи в разработке аппаратно-программных комплексов машинной графики привели к повелению убеждения, что решена задача моделирования виртуальной реальности. Применительно к тренажёрам подготовки машиниста локомотива, под виртуальной реальностью часто понимают моделирование визуально наблюдаемого трёхмерного изображения пространства, окружающего макет кабины машиниста с расположенными в нём подвижными и неподвижными моделями объектов. Эйфория от успехов машинного синтеза изображений привела к появлению высказываний, что задача создания имитаторов визуальной обстановки для таких тренажёров решена. Часть считают, что для этого достаточно смоделировать на экране перед наблюдателем вид из окна кабины, дополняя его подвижными текстурами, полученными после обработки видеофрагментов снятых видеокамерой при движении локомотива по выбранному участку пути. Авторы статьи, проведя исследования, показали, что описанный подход является необходимым но не всегда достаточным условием при разработке имитаторов визуальной обстановки тренажёра машиниста локомотива. В статье приводится математический аппарат который можно применить для оценки имитаторов тренажёров, в том числе и имитатора визуальной обстановки машиниста локомотива с целью оценки их возможностей формировать профессиональные навыки управления локомотивом.

**Ключевые слова:** имитатор визуальной обстановки, тренажёры, обучающие комплексы.

### Введение

**Постановка проблемы.** В настоящее время наблюдается определённая эйфория в связи с успехами в создании аппаратно-программных комплексов машинного синтеза изображения. Достаточно часто, в литературе, появляются сообщения, что полностью решена задача моделирования трёхмерного изображения и полученные решения могут быть использованы в обучающих комплексах, в частности в при разработке имитаторов визуальной обстановки (ИВО) тренажёров машинистов локомотива. Учитывая, что при управлении транспортным средством человек до 90% информации получает через зрительный аппарат, то возникает иллюзия, что решив задачу синтеза изображения на экране в макете кабины локомотива перед машинистом создаём полноценный тренажёр, позволяющий приобретать и совершенствовать навыки управления локомотивом. К сожалению, это не всегда так, что проверенно экспериментальным путём в ПензГТУ, ООО «Видео3» и ООО «Консалт Групп» при выполнении НИОКР «Подготовка к серийному выпуску безочковых индикаторов, моделирующих псевдообъёмное изображение» (государственный контракт №8009р/8265 от 30.04.2010) по программам СТАРТ 1 и СТАРТ 2, НИОКР «Разработка имитаторов визуальной обстановки для машинистов локомотивов» (государственный контракт №7/16917 от "13" августа 2012) по программе УМНИК выполненных по грантам от "Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере" (фонд содействия инновациям) и при разработке

безочковых индикаторов моделирующих трёхмерное изображение, для участия в конкурсе в номинации «Инженерный проект» по программе «Робототехника Инженерно-технические кадры инновационной России». Полученные результаты показывают, что при создании тренажёров необходимо учитывать в комплексе взаимодействие информационных потоков от разных подсистем тренажёра с целью создания у обучаемого иллюзии управления реальным транспортным средством в реальной среде.

**Анализ последних исследований.** Рассмотрим некоторые требования предъявляемые к тренажёрному комплексу (ТК), формирующему профессиональные навыки управления сложным объектом с использованием модели местности в которой должен ориентироваться обучаемый. При решении задач обучения с использованием ТК чувство реалистичности управления локомотивом является комплексной задачей, решается всеми имитаторами тренажера (рис. 1) в замкнутом контуре управления (рис. 2).

Машинист управляет ТК, так же, как и реальным локомотивом. Он обрабатывает поступающую к нему информацию и воздействует на органы управления в соответствии со своим опытом. Но в отличии от управления реальным ТК он управляет его моделью, которую формируют отдельные подсистемы, называемые имитаторами. Используя свой опыт, машинист по выработанной этим опытом программе управления  $Q(t)$ , задает управляющие воздействия  $Q(t)$ . Результат воздействия машинист визуально видит как перемещение модели кабины тренажёра через остекление кабины и отслеживает на приборной доске.

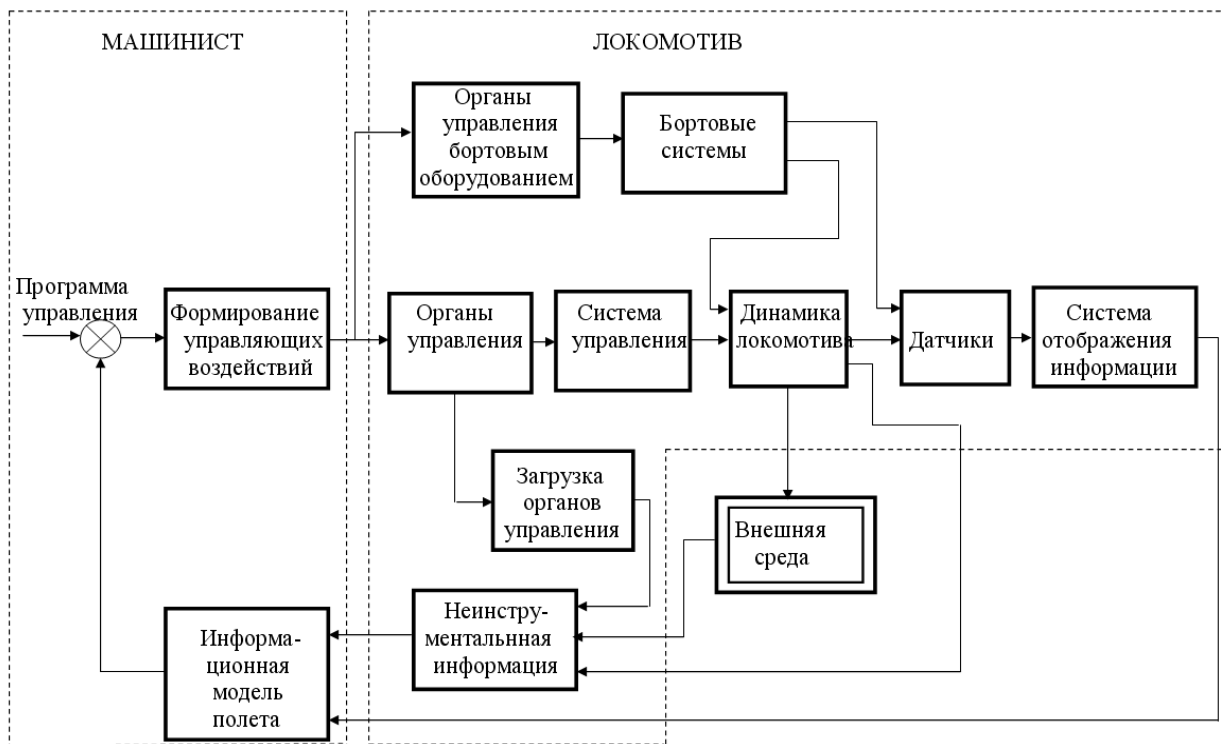


Рис. 1. Схема тренажера

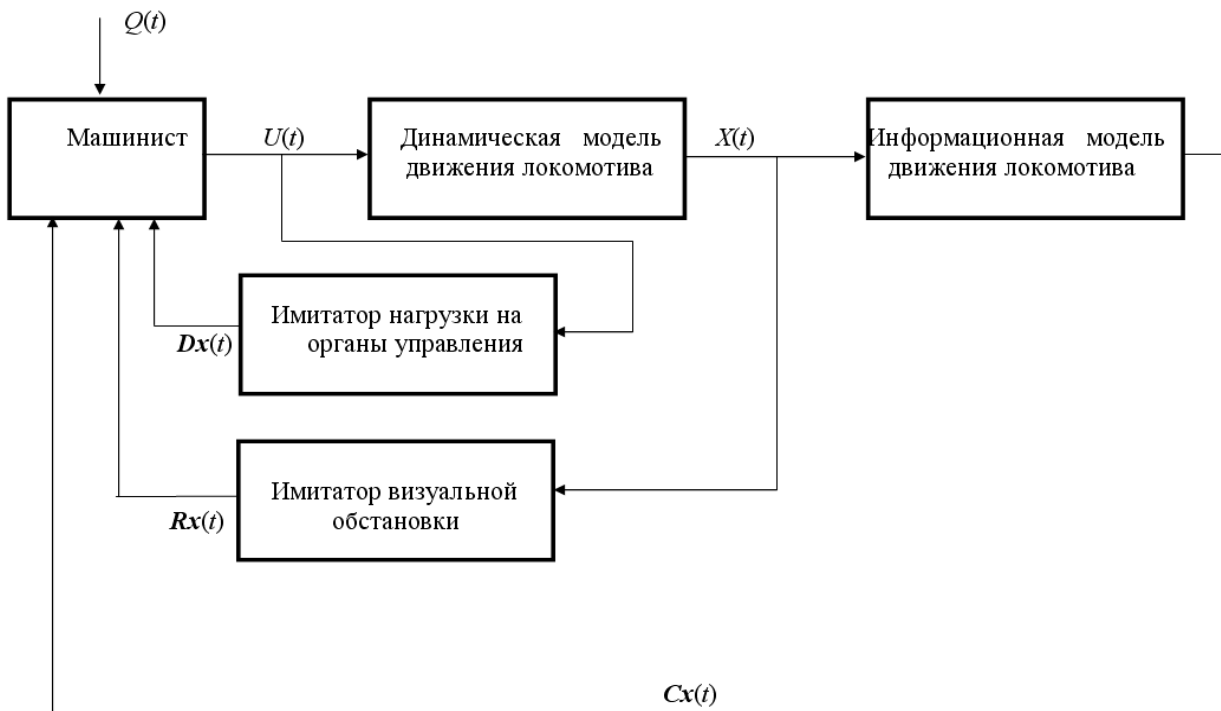


Рис. 2. Структурная схема включения имитатора визуальной обстановки

В тренажёре, все показания приборов и изменение внешнего вида за окном макета кабины локомотива должны изменяться с запозданием не более 120 мсек – это требование режима реального времени, так же как и в тренажёрах летательных аппаратов [2]. В тренажёре подготовки машиниста локомотива на обучаемого воздействуют информационные потоки, сформированные за интервал  $\Delta t$ , от имитаторов формирующих инструментальную информа-

цию  $X(t + \Delta t)$  и имитаторов формирующих неинструментальную информацию  $Rx(t + \Delta t)$ .

Управление ТК обучаемый осуществляет по результатам информационной модели  $Cx(t)$  отслеживая динамическую модель, которую он воспринимает через имитаторы ТК. Будем считать, что за этот интервал управляющие воздействия  $U(t)$  преобразуются динамической моделью в воздействия  $X(t)$ , поступающие на имитаторы тренажера. Обра-

ботав  $X(t)$ , имитаторы через различные устройства создают у обучаемого чувство нахождения в реальной обстановке. Это является следствием адекватности характеристик, получаемых машинистом от динамической и информационной моделей. При этом часть имитаторов передает обработанные значения в имитатор динамики, без дальнейшего участия человека, а часть передают свои значения только через человека

Имитаторы второго типа, к которым относят имитатор визуальной обстановки являются тупиковыми системами в тренажере, получающие  $X(t)$  но не обменивающиеся напрямую результатами своих вычислений с другими имитаторами ТК. Существенной особенностью ИВО является использование псевдообъемных 3Диндикаторов (в процесс построения трёхмерных визуально наблюдаемых моделей включён зрительный аппарат человека) [1 – 3]. Соответственно при анализе таких тренажёров необходимо учитывать включение в процесс обработки информации человека, точнее необходимо учитывать как может сказаться на процессе тренировки конкретные особенности личности обучаемого.

**Формулировка цели.** Целью данной статьи является разработка математического аппарата позволяющего оценить возможность применения конкретного имитатора для формирования у обучаемого набора профессиональных навыков управления транспортным средством при тренировке на конкретном тренажёре, ориентированном на обучение в выбранных ситуациях

### Изложение основного материала

В системах человек-машина, примером которой является ТК, изменение состояния объекта управления на временном интервале  $T = (t, t_0 < t < t_1)$ , обычно описываются системой дифференциальных уравнений первого порядка в нормальной форме Коши:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad (1)$$

где  $x$  – вектор состояния;  $u$  – вектор управления;  $A$ ,  $B$  – матрицы параметров управления объекта.

Так как поведение вектора  $x$  может быть произвольным, то система (1) определяет управляемый процесс. Ход управляемого процесса будет определен на некотором интервале  $t_0 < t < t_1$ , если вектор  $u$  задан в виде

$$u = u(t); \quad (2)$$

$$u = u(x, t). \quad (3)$$

Вектор-функцию  $u(t)$  называют программным управлением, а вектор-функцию  $u(x, t)$  – законом управления. Каждому выбору вектора управления  $u$  в виде (2) или (3) и каждому начальному состоянию при  $t = t_0$ ,  $x_0 = x(t_0)$  соответствует согласно (1)

временная последовательность  $x(t, x_0, t_0)$ , которую назовем программным движением системы  $S$ . Таким образом, система уравнений (1) при заданных начальных условиях имеет решение

$$X(t) = e^{A(t-t_0)}x(t_0) + X_N(t-t_0), \quad (4)$$

где  $X_N(t-t_0) = \int_{t_0}^t \Gamma(t-\tau)d\tau$ ;  $\Gamma(t-\tau) = e^{A(t-\tau)}$ .

Движение объекта управления описывается системой уравнений (1) в некоторой области изменения параметров, характеризующей эксплуатационный диапазон его применения. Тогда решение системы (1) в виде (4) будет представлять опорные траектории, соответствующие заданным начальным условиям при выбранном векторе управления  $u = u_0(t)$ .

Для оценки точности опорных траекторий введем нормирование  $\underline{x}(t)$  в виде

$$\|\underline{x}(t)\| = \max_{1 < i < n} \max_{t \in [t_0, t]} |X_{it}(t) - X_{ip}(t)| \quad (5)$$

где  $X_{it}(t)$  – характеристики, полученные в результате натуральных испытаний объекта,  $X_{ip}(t)$  – характеристики при тех же начальных условиях, согласно (1).

Если в объекте управления предусматривается режим автоматического управления, то вектор управления (3) представляется в виде

$$u(t) = -Gx(t) + EX_{pp}(t), \quad (6)$$

где  $G$  – матрица управления по обратной связи,  $E$  – матрица управления по вектору программных сигналов,  $X_{pp}$  – вектор программных сигналов.

Решение системы (1) и (6) для момента времени  $t > t_0$  запишем в форме Коши:

$$x(t) = -\Phi(t-t_0)x(t_0) + \Gamma(t-t_0)EX_{pp}(t_0), \quad (7)$$

где  $\Phi(t-t_0) = e^{(A-BG)(t-t_0)}$ ,

$$\Gamma(t-t_0) = \int_t^{t_0} \Phi(t-\tau)d\tau B, \quad x_{pp} = \text{const}.$$

Оценка характеристик объекта в этом случае производится согласно (5). Из изложенного следует, что систему человек-машина, примером которой является тренажер, (См. рис. 1) можно представить как эргатическую систему с оператором в контуре управления. Соответственно исследования всех отдельных имитаторов тренажёра целесообразно проводить используя предложенный математический аппарат в наборе отдельных учебных ситуациях предложенных Заказчиком. Так например при необходимости моделировать трёхмерные модели на расстоянии ближе 4 метров используют двухканальные системы моделирования трёхмерного изображения с диспаратными очками, а при наличии «мёртвой» зоны, например при виде из

кабины локомотива, когда из-за высокого расположения кабины вблизи не видно целесообразно использовать безочковые 3D-индикаторы на базе зеркальных коллиматоров/

## Выводы

1. Появившиеся сейчас на рынке системы, моделирующие трёхмерное изображение за счёт подачи каждому глазу наблюдателя своего изображения, не являются реализацией единственного метода решения задачи моделирования трёхмерного изображения.

2. Для решения задач обучения водителей транспортных средств, наблюдателей и лиц другой профессии профессиональным навыкам определения дальности до выбранных объектов: неподвижных и подвижных, сейчас используют только псевдообъёмные системы моделирования трёхмерного изображения. При их разработке должны учитываться общие особенности восприятия зрительным аппаратом поступающей информации.

3. При разработке систем моделирования трёхмерного изображения для использования в тренажёрах необходимо добиваться соответствия углов обзора трёхмерных моделей и углов обзора их реального прототипа при нахождении наблюдателя на одном и том же расстоянии от них.

4. В случае, когда необходимо моделировать трёхмерное изображение модели объекта на дистан-

ции ближе 4 метров, по условиям развития оптико-аппаратно-программных комплексов на сегодняшний день нет альтернативы двухканальной системы моделирования с диспаратными очками, или их аналогами.

5. При моделировании трёхмерного изображения на дистанциях от 4 метров кроме двухканальных систем моделирования с диспаратными очками можно использовать безочковые 3D-индикаторы на базе зеркальных коллиматоров с «узким» или «широким» зрачками.

## Список литературы

1. Роганов В.Р. Методы формирования виртуальной реальности / В.Р. Роганов. Пенза, ПензГУ, 2002. – 127 с.
2. Роганов В.Р. Математические и компьютерные методы в медицине, биологии и экологии: монография / В.Р. Роганов, А.А. Казанцев, А.М. Бабич и др. – Пенза. – М: Приволжский Дом знаний, МИЭМП, 2012. – 132 с.
3. Михеев М.Ю. Информационно-структурные модели тренажёров выработки профессиональных навыков вождения транспортных средств / М.Ю. Михеев, В.Р. Роганов // XX век: итоги прошлого и проблемы настоящего. – Пенза: Пенз. гос. технол.универс., 2013. – С. 69-78.

Поступила в редколлегию 1.08.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. И.В. Урнёв, Пензенский государственный технологический университет, Пенза.

## ІМІТАТОР ВІЗУАЛЬНОЇ ОБСТАНОВКИ ДЛЯ ТРЕНАЖЕРІВ МАШИНІСТІВ ЛОКОМОТИВІВ

В.Р. Роганов, О.О. Казанцев, І.А. Баятева

*Успіхи в розробці апаратно-програмних комплексів машинної графіки призвели до переконання, що вирішена задача моделювання віртуальної реальності. Стосовно до тренажерів підготовки машиніста локомотива, під віртуальною реальністю часто розуміють моделювання візуально спостережуваного тривимірного зображення простору, що оточує макет кабіни машиніста з розташованими в ньому рухомими і нерухомими моделями об'єктів. Ейфорія від успіхів машинного синтезу зображень призвела до появи висловлювань, що завдання створення імітаторів візуальної обстановки для таких тренажерів вирішена. Частина вважають, що для цього достатньо змоделювати на екрані перед спостерігачем вид з вікна кабіни, доповнюючи його рухомими текстурами, отриманими після обробки відеофрагментів знятих відеокамерою при русі локомотива по вибраному ділянці шляху. Автори статті, провівши дослідження, показали, що описаний підхід є необхідним але не завжди достатньою умовою при розробці імітаторів візуальної обстановки тренажера машиніста локомотива. У статті наводиться математичний апарат який можна застосувати для оцінки імітаторів тренажерів, в тому числі і імітатора візуальної обстановки машиніста локомотива з метою оцінки їх можливостей формувати професійні навички управління локомотивом.*

**Ключові слова:** імітатор візуальної обстановки, тренажери, навчальні комплекси.

## VISUAL ENVIRONMENT SIMULATOR FOR EXERCISERS OF TRAIN DRIVERS

V.R. Roganov, A.A. Kazantsev, I.A. Bajateva

*Advances in the development of software and hardware computer graphics led to the commandment of the belief that we solve the problem of modeling of virtual reality. With regard to the locomotive driver training simulators. Virtual reality simulation is often understood visually observed three-dimensional image space surrounding the cabin layout with the driver placed in him moving and stationary object models. The euphoria of success machine synthesis of images has led to the statements that the task of creating a visual environment simulators for such simulators solved. It is often assumed that it is sufficient to model on the screen in front of the observer view from the cockpit windows, complementing its mobile textures obtained after processing video sequences filmed a video camera while driving a locomotive on a selected portion of the path. The authors, having studies have shown that the approach described is a necessary but not always sufficient condition for the development of simulators, visual conditions of the locomotive simulator. The article provides a mathematical tool that can be applied to assess the imitators of simulators, including simulator visual conditions of the locomotive in order to assess their ability to form professional management skills locomotive.*

**Keywords:** visual indicators, simulators, educational complex.