

# **Имитационное моделирование взаимодействия мобильного робота с возможностью вертикального перемещения с окружением<sup>1</sup>**

**Н.В. Быков, М.С. Товарнов**

*Московский государственный технический университет  
им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия*

Проблема выбора характеристик технических устройств, эффективность которых определяется решением тех или иных задач в сложной окружающей среде, в особенности включающей противодействие противника, сводится к вопросу формирования адекватных числовых критериев оценки, что практически никогда нельзя сделать объективно. Поэтому назначение тех или иных критериев всегда отражает личную или коллективную точку зрения разработчиков или потребителей продукта. Одним из подходов, позволяющих на определенной стадии исследования избежать вопроса построения критерия эффективности, является имитационное моделирование, дающее возможность провести симуляцию реального функционирования объекта в ходе выполнения своей цели. Степень успешности выполнения этой цели и позволяет оценить эффективность заложенных параметров.

Одной из задач, относящихся к классу взаимодействия технических устройств со средой в условиях противодействия, является разработка мобильных роботов для противодействия террористическим угрозам и выполнения специальных операций.

В настоящей работе рассматривается имитационное моделирование (ИМ) малогабаритного мобильного робота, с возможностью вертикального перемещения по стенам (МРВП), предназначенного для разведки и нейтрализации террористической угрозы с помощью нелетальных средств воздействия в закрытых помещениях [1, 2].

Целью имитационного моделирования поведения МРВП при выполнении его задач является симуляция реальных условий применения.

Задачей имитационного моделирования является обоснование требований к внешним характеристикам МРВП: требуемая скорость вертикального и горизонтального передвижения, маневренность, запас

---

<sup>1</sup> Работа поддержана грантом РФФИ № 16-29-09596\_офи-м.

вертикального хода с учетом массы ленты, запас боевых элементов, радиус поражающего действия и др.

### Принцип построения имитационной модели

В основе имитационной модели лежит агентный подход при котором поведение каждого объекта описывается индивидуально, а глобальное поведение возникает в результате взаимодействия нескольких агентов, каждый из которых, действуя по своим правилам, взаимодействует с внешней средой и другими объектами.

Таким образом, имитационная модель представляет собой совокупность агентов и среды, в которой они находятся и взаимодействуют.

Среда описывается плоским векторным полем

$$\mathbf{E}(x, y) = [h(x, y), s(x, y), \dots]^T. \quad (1)$$

Здесь  $h(x, y)$  – скалярное поле высот помещения ( $h = 0$  означает пол), в простейшем случае  $h$  – бинарное поле (0 – пол, 1 – стена);  $s(x, y)$  – скалярное поле статических шумов.

В функцию среды могут быть включены и другие функции.

Для простоты будем считать, что помещение прямоугольное:

$$0 \leq x \leq a, \quad 0 \leq y \leq b. \quad (2)$$

На рис. 1 представлены примеры полей  $h(x, y)$  (слева) и  $s(x, y)$  (справа).

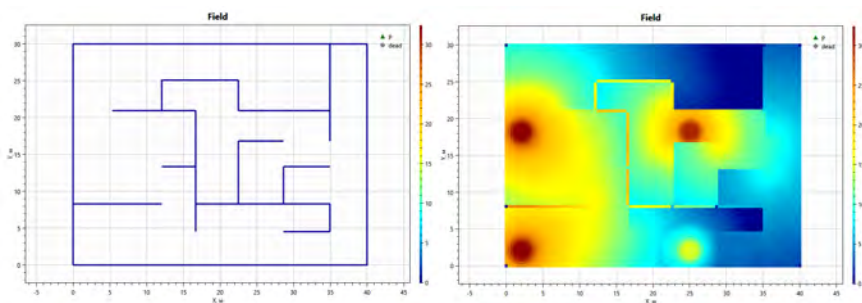


Рис. 1. Пример внешней среды: слева – геометрия помещения  $h(x,y)$ ; справа – распределение статических шумов  $s(x,y)$

Агенты могут относиться к различным типам  $g \in \{1, 2, \dots\}$ . Наиболее простой случай, когда агенты могут быть только двух типов – мобильный робот ( $g = 1$ ) и противодействующий ему элемент ( $g = 2$ ). Каждый

из агентов представляет собой конечный автомат, описываемый графом состояний, примеры которых представлены на рис. 2 и 3.

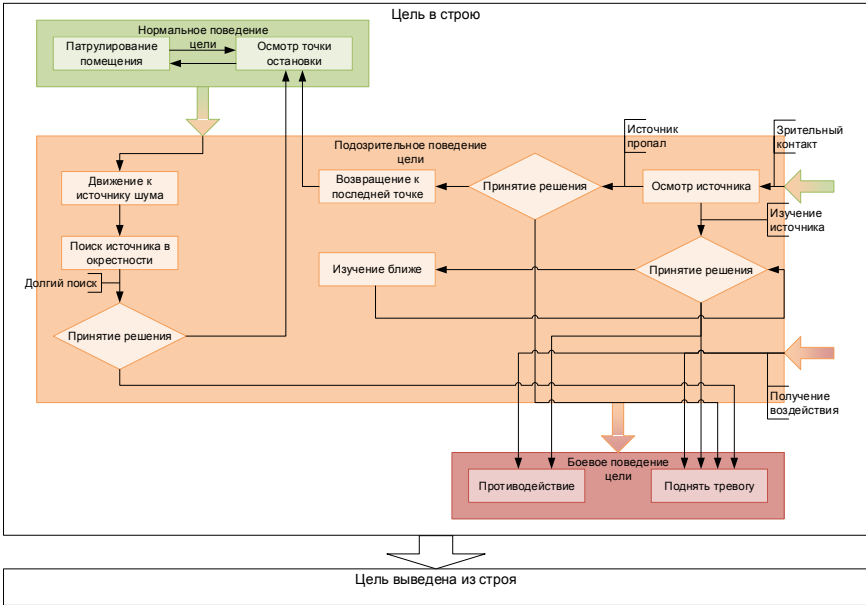


Рис. 2. Граф состояний цели (противодействующий элемент)

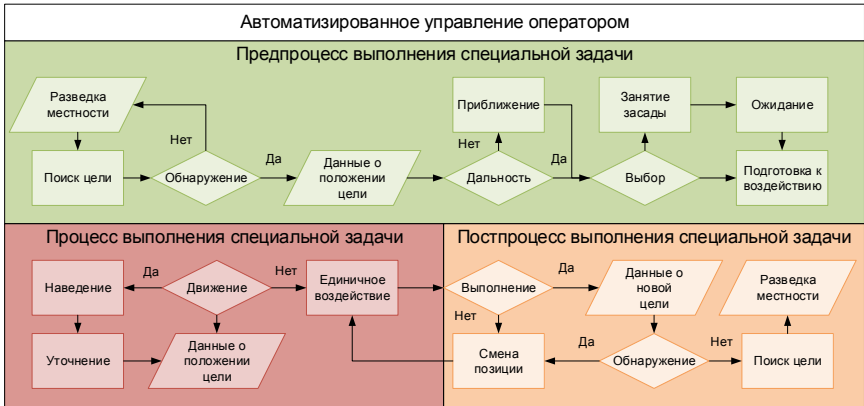


Рис. 3. Граф состояний МРВП

В момент применения МРВП специального средства, в математическую модель (ММ) оценки вероятности передаются данные о положении МРВП, цели и параметры наведения на цель. Далее многократно решается прямая задача внутренней и внешней баллистики, с разыгрыванием случайных начальных параметров в пределах отклонений. В результате решения задачи внешней баллистики в трехмерной постановке, находятся точки попадания в цель (рис. 4).

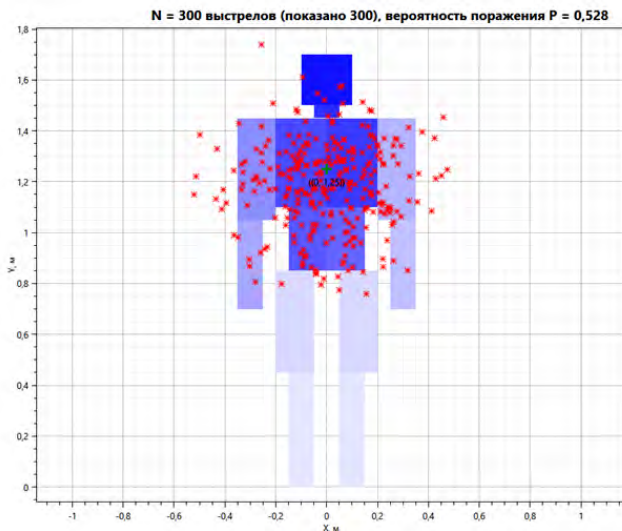


Рис. 4. Многократный розыгрыш взаимодействия МРВП и цели

### Результаты моделирования

В результате сбора статистики с  $10^6$  прогонов ИМ на случайно сгенерированных закрытых помещениях были получены результаты эффективности применения спецсредств. На рис. 5 показаны усредненные вероятностные зоны (вид сверху).

Цветом показана вероятность поражения цели одним комплектом спецсредств, расположенным на МРВП, при условии, что МРВП находится в центре. Статистика была дополнена информацией, полученной при применении спецсредств на повышенную дальность (до 50 м), в результате чего были определены теоретические дальности применения этих средств.

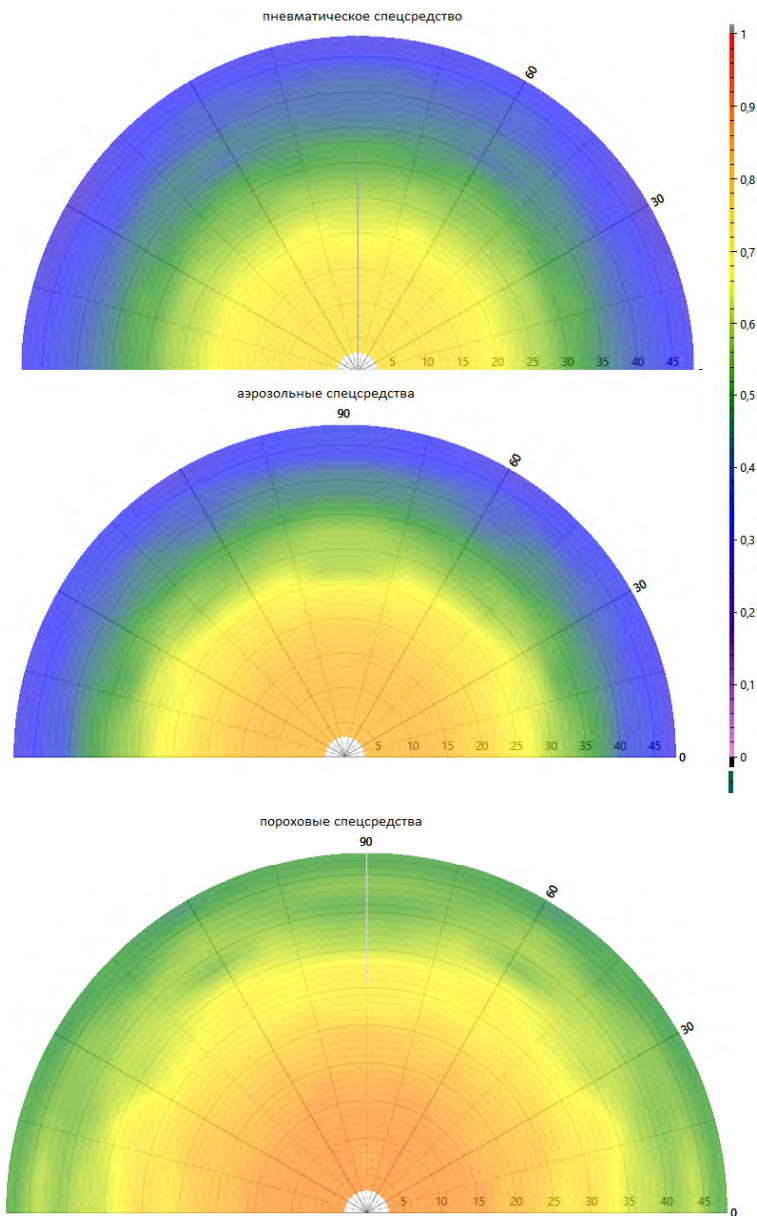


Рис. 5. Граф состояний МРВП

Относительно невысокая эффективность применения обуславливается вероятностями возникновения случаев, когда МРВП не успевал применить спецсредства первым, вероятностью непопадания в цель, вероятностью непоражения цели при попадании.

### **Заключение**

Была разработана имитационная модель проведения специальных операций в закрытых помещениях с использованием МРВП. Модель позволяет моделировать сложное поведение как МРВП, так и его потенциальных целей. ИМ также включает в себя ММ-оценки эффективности применения различных спецсредств, расположенных на МРВП, и различных тактик применения МРВП. ММ-оценки эффективности включают в себя модель внутренней и внешней баллистики для различных спецсредств, учитывает разброс параметров и характеристик механизмов наведения, массовых, линейных и баллистических характеристик спецсредств, учитывает координатный закон поражения цели.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. *Быков Н.В., Власова Н.С., Бузлов Н.А.* Разработка механизма перемещения малогабаритного мобильного робота // Экстремальная робототехника. Тр. Междунар. науч.-технич. конф. СПб: ООО «АП4Принт», 2016. С. 346–348.
2. *Товарнов М.С., Быков Н.В., Власова Н.С.* Математическая модель мобильного робота специального назначения // Материалы XX Междунар. конф. по вычислительной механике и современным прикладным программным системам (ВМСППС'2017). М.: МАИ-ПРИНТ, 2017. С. 268–271.

---

**Быков** Никита Валерьевич, к.т.н, доцент; bykov@bmstu.ru;

**Товарнов** Михаил Степанович, ассистент, mtovarnov@mail.ru