

- В Беларуси наблюдается парадоксальная ситуация: с одной стороны, уровень развития информационных технологий (ИТ) очень высок, с другой стороны, использование ИТ на транспорте носит не системный, а выборочный характер. Фактически отсутствует полноценное взаимовыгодное сотрудничество.

- Имеются отдельные разработки и использование элементов ITS. Но единой национальной белорусской ITS пока нет. Отсутствует также единый координирующий правительственный орган по ITS.

- Професионалов по ITS в Беларуси никто не готовит. До сих пор БНТУ не организовал анонсированную подготовку специалистов по ITS, владеющих знаниями как в транспортной сфере, так и области ИТ.

## **Выводы**

Таким образом, основной проблемой Беларуси в создании ITS является не техническая, а институциональная проблема. Так как ITS нужны транспортникам, органам дорожного движения, ГАИ, МВД, МЧС, скорой помощи, органам городского управления и др., то возглавлять структуру ITS должен высокий орган государственной власти РБ, объединяющий все эти министерства и структуры.

## **Список литературы**

1. Грабауров, В.А. Интеллектуальная транспортная система как инновационная концепция развития транспорта// Наука и техника. – 2014. - № 1. С. 63-69.
2. ITS Handbook/ <http://road-network/>.
3. ERTICO Network/ [website@erticonetwork.com/](http://website@erticonetwork.com/)

УДК 004.896

## **АЛГОРИТМ АВТОНОМНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ НАЗЕМНОГО РОБОТА С УЧЕТОМ ПРОГНОЗА МЕСТНОСТИ**

Д.В. Багаев<sup>1</sup>, А.А. Кобзев<sup>2</sup>, И.Н. Клопов<sup>1</sup>, В.В. Немонтов<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>ФГБОУ ВПОГ «Ковровская государственная технологическая академия имени В.А. Дегтярева», Ковров, Россия;  
<sup>2</sup>ФГБОУ ВПОГ «Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых», Владимир, Россия

*Рассмотрена структура системы управления траекторным движением наземного робота с прогнозирующим управлением траектории движения. Показаны алгоритмы формирования программной траектории. Приведены алгоритмы управления движением наземным роботом в автономном, полуавтономном и дистанционном режимах с прогнозированием рельефа местности.*

## **Введение**

Как показывает опыт использования наземных роботов (НР), особенно военного назначения [1], разработка новых алгоритмов управления движением наземным роботом имеет цель – преодоление принципиальных ограничений и недостатков дистанционного управления.

Дальнейшее развитие наземной робототехники связано с повышением автономности НР в результате передачи функций, выполняемых человеком-оператором бортовым средством. Такая «интеллектуализация» НР требует решения бортовыми средствами следующих основных задач [2]:

- дистанционное определение геометрических и опорных характеристик поверхности – зоны маневрирования;
- определение текущих координат и ориентации НР;
- формирование оперативной (локальной) и тактической (глобальной) моделей внешней среды с учетом показания бортовых датчиков и сенсоров, а также картографические данные о районе маневрирования;
- согласованное планирование траекторий движения на оперативной и тактической моделях внешней среды;
- отработка траекторий движения.

Анализ известных систем управления НР показал, что достаточно хорошо разработаны и реализованы принципы построения систем управления роботами, перемещающихся по заранее известным траекториям, которые определяются директивными способами. Эти системы могут предусматривать достаточно сложное поведение роботов:

- переход с одной возможной траектории на другую;
- анализ препятствий местности;
- оптимальное групповое управление.

Однако ни одна из них не учитывает возможности объезда препятствий с отклонением от заданной траектории. Известны экспериментальные системы управления роботами, позволяющие объезжать препятствия, но они не находят оптимальной траектории объезда. Одним из эффективных видов управления движением НР в условиях неопределенности рельефа местности и трассы является прогнозирующее управление [3, 4, 5, 6]. Функциональная схема управления НР приведена на рис. 1, где использованы следующие обозначения: НР – наземный робот, ИМ – исполнительный механизм (двигатель с корпусом НР); ЛГ – левая гусеница, ЛП – правая гусеница;  $V_L$ ,  $V_R$  – скорости движения, создаваемые соответственно левой и правой гусеницами.

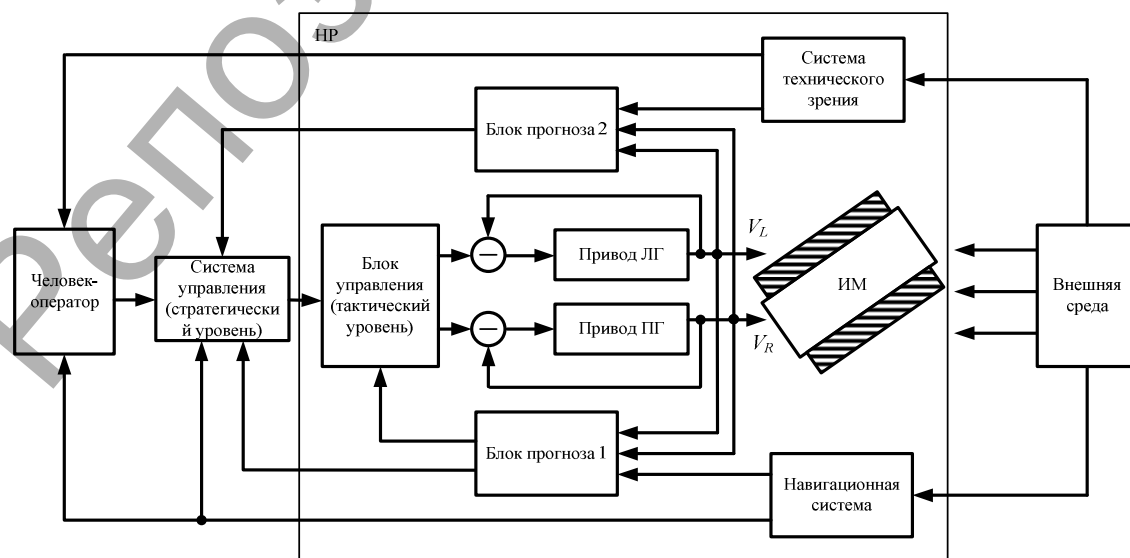


Рисунок 1 – Функциональная схема управления НР

Одним из вопросов при разработке таких систем является выбор метода прогнозирования и прогнозирующих функций. В настоящее время существуют различные методы технического, экономического и социального прогнозирования. Для этого могут быть использованы полиномы Ньютона, Лагранжа, на основе метода наименьших квадратов, тригонометрических функций и др. Наиболее приемлемым, как показали исследования, является полином Ньютона [5].

Разработку алгоритмов управления движением наземных роботов в автономном, полуавтономном и дистанционном режимах с прогнозированием рельефа местности можно представить в виде обобщенной схемы выполняемых процедур при управлении движением НР с прогнозированием траектории и рельефа местности (рис. 2). На рис. 2 использованы следующие обозначения функций:  $F(x_n, y_n, z_n)$  – программная траектория движения;  $F(x_n^*, y_n^*, z_n^*)$  – скорректированная по прогнозу траектория;  $V_L, V_R$  – скорости движения, создаваемые соответственно левой и правой гусеницами;  $x_\phi(t), y_\phi(t), z_\phi(t)$  – фактические составляющие вектора скорости НР соответственно по трем декартовым осям координат.

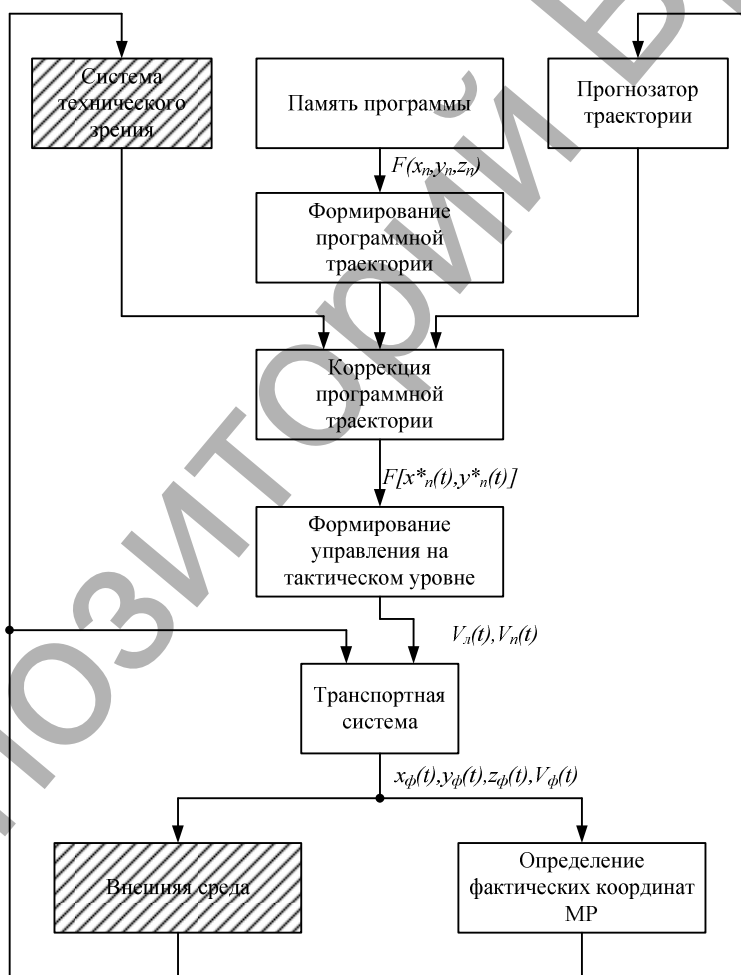


Рисунок 2 – Обобщенная схема выполняемых процедур

В процессе траекторного управления НР реализуется три группы алгоритмов: прогнозирования траектории; формирование программной траектории управляющей подсистемами скоростного вращения гусениц; прогнозирующего управления траекторией движения.

**Автономный режим. Алгоритмы прогнозирования траектории.** Задача состоит в прогнозировании траектории по трем декартовым координатам в системе НР. Первичная информация о текущих (мгновенных) координатах поступает с навигационной системы. Прогнозатор формирует значения последующих координат трассы движения с интервалом на некоторое время вперед (время прогнозирования).

**Алгоритмы формирования программной траектории.** В настоящей работе для управления движением НР по заданной траектории в автономном (программном) режиме рассматриваются методы и алгоритмы разложения заданной траектории на управляющие воздействия для приводов гусениц, применяемые в технологическом оборудовании (станки с ЧПУ, промышленные роботы). Сегодня эти методы и их модификации, использующие модели виртуальной реальности, позволяют решить следующие задачи интеллектуального управления НР:

1. Оптимальное или адаптивное планирование маршрута движения НР в среде с препятствиями и использованием локальной (сенсорной) или глобальной (супервизорной) информации;
2. Моделирование в виртуальном пространстве НР окружающей среды и его поведения;
3. Распознавание ситуаций и принятие оптимальных решений;
4. Программирование (интерполяция) и адаптивная коррекция движения НР по спланированному маршруту;
5. Адаптивное управление движением НР.

Наиболее известное решение задачи управления движением наземным роботом основывается на построении системы управления по принципу следящей системы (задача слежения за программной траекторией). В этом случае желаемая траектория задается в параметрической форме. Для ее построения в систему управления включают генератор желаемых сигналов (интерполятор). Однако, точностные требования, предъявляемые к интерполяторам, а также низкий уровень совместимости с сенсорной информацией существенно ограничивают возможности применения следящих систем управления.

Метод траекторного управления предполагает использование текущих значений отклонений от заранее заданной траектории и исключает необходимость привлечения генераторов эталонной модели. Здесь желаемая траектория движения представляется отрезками гладкой кривой, заданной в неявной форме. Задача контурного управления заключается в стабилизации робота относительно заданной траектории и поддержании требуемой скорости перемещения вдоль нее.

Для управления движением НР по заданной траектории с произведенной топографической съемкой местности могут использоваться известные алгоритмы интерполяции с коррекцией расчетных координат в зависимости от типа привода НР.

Алгоритмы, работающие по методу оценочной функции, решаются с помощью классических методов дискретного целочисленного программирования. Суть этих алгоритмов заключается в том, что в каждом цикле расчета приращений необходимо минимизировать соответствующие целевые функции в форме с неотрицательными коэффициентами и переменными.

**Режим дистанционного управления.** Режим дистанционного управления выполняется оператором с пункта дистанционного управления, расположенного вне НР. При этом человек-оператор кроме воздействия на джойстики выполняет следующие процедуры:

- устанавливает вид режима управления (стратегический уровень) - дистанционное; при этом локальные системы управления скоростью гусениц по управляющему для них воздействию переключаются на джойстик оператора;
- анализирует информацию с системы технического зрения (СТЗ);
- принимает решение об учете прогноза траектории и соответственно управляет органами управления (джойстиками), (прогнозатор формирует координаты траектории с упреждением, и они выводятся на индикацию).

**Режим полуавтономного управления.** Режим полуавтономного управления представляет сочетание дистанционного и автономного управления. При потере связи оператора в режиме дистанционного управления с НР, последний переходит в режим автономного управления. При этом формируется фрагмент модуля для движения в режиме программного управления с прогнозированием. Используются алгоритмы, рассмотренные для автономного режима.

## **Заключение**

Прогнозирующее управление траекторными перемещениями НР возможно с реализацией по двум алгоритмам для систем управления скоростями гусениц: 1) с формированием абсолютной составляющей дополнительного управления; 2) с коррекцией программы на этапе разложения ее на задающие воздействия НР. Функции и полиномы для задач прогноза траектории НР должны учитывать частотные возмущения, порождаемые взаимодействием наземного робота с поверхностью при его движении, и частотные свойства и характеристики как непосредственно транспортной системы НР, так и подсистем управления скоростями гусениц.

## **Список литературы**

1. Лапшов, В.С., Носков, В.П., Рубцов, И.В. Опыт создания автономных мобильных робототехнических комплексов специального назначения. Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. "Машиностроение". 2011. – с.7-23.
2. Красовский, А.А. Прогнозирование и оптимальное автоматическое управление // Изв. АН СССР. Техн. Кибернетика. 1986, №4. – С. 115-122.
3. Кабанов, С.А. Управление системами на прогнозирующих моделях. С.Пб.: СПбГУ. 1997. – 198с.
4. Кобзев, А.А., Малышев, А.Н., Мишулин, Ю.Е., Мишулин, Е.Ю. Прогнозирующее управление мобильными роботами // Оборонная техника. - 2014, №5-6. –С. 189-192.
5. Кобзев, А.А., Филиппов, С.И. Управление программным движением мобильных роботов военного назначения с прогнозированием рельефа местности // Информационно измерительные и управляющие системы военной техники: материалы III Всерос. научно-технической конф. – М.: РАН, 2012. – С.228-230.
6. Шашок, В.Н., Филиппов, С.И., Багаев, Д.В., Малышев, А.Н., Кобзев, А.А., Соловьев, В.А., Мишулин, Ю.Е., Немонтов, В.А. Планирование маршрута движения наземным роботом в недетерминированной местности // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 11: В 2 ч. Ч.2. Тула: Изд-во ТулГУ, 2015. – С.149-159.