

Значение дисперсии колебания глубины

$$D_h = \int_0^{\infty} \omega^2 S_y(\omega) d\omega.$$

Среднее значение колебаний глубины можно определить в первом приближении:

$$a_{cp} \approx \sqrt{2D_h}.$$

Полученная величина a_{cp} не должна превышать допустимое значение по агротехническим требованиям.

УДК 631.353.3

Р.Х. Юсупов, доктор техн. наук

Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина

В.П. Деметей

В.Р. Юсупов

Научно-исследовательский институт специального машиностроения МГТУ имени Н. Э. Баумана

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ УНИВЕРСАЛЬНОГО РОБОТИЗИРОВАННОГО БАЗОВОГО ТРАНСПОРТНОГО МОДУЛЯ

В случае возникновения техногенных аварий и пожаров как локального характера, так и сопряженных с поражением больших площадей в зонах повышенного риска, обусловленных наличием радиации, химической и биологической зараженности местности, взрывоопасностью, для подавления пожара и проведения аварийно-спасательных и восстановительных работ необходимо максимально сократить непосредственное нахождение людей в опасных зонах, исключив при этом возможность их поражения.

Сокращение нахождения людей в опасных зонах может быть достигнуто использованием дистанционно управляемых робототехнических комплексов (РТК), предназначенных для подавления пожаров и проведения аварийно-спасательных и восстановительных работ [1].

С целью унификации РТК и средств, применяемых для подавления пожаров и проведения аварийно-спасательных и восстановительных работ, был разработан универсальный роботизированный базовый транспортный модуль (УРТМ), предназначенный для формирования на его основе специализированных мобильных роботизированных комплексов (МРК):

- для проведения работ по пожаротушению с использованием различных огнетушащих средств в условиях техногенных аварий, сопровождаемых повышенным уровнем радиации, наличием отравляющих и взрывчатых веществ в зоне работ;

Список литературы

1. Труфанов, В.В. Глубокое чизелевание почвы / В.В. Труфанов. — М.: ВО «Агропромиздат», 1989. — 142 с.
2. Пугачёв, В.С. Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления / В.С. Пугачёв. — М.: Физматгиз, 1962. — 242 с.
3. Телавов, Н.К. Эффективное использование глубокорыхлителей сельскохозяйственных земель и повышение производительности сельхозпродукты // Роль мелиорации в обеспечении продовольственной и экологической безопасности России: материалы Международной научно-практической конференции. Ч. 2 / Н.К. Телавов, В.П. Юферев. — М., 2009. — 428 с.

- проведения специальных технологических работ с применением механизированного инструмента (тросорез, домкрат, отбойные молотки и т. п.);
- выполнения различных операций по разборке завалов, сбору твердых продуктов аварии, выполнению демонтажных, транспортных и других работ;
- проведения мониторинга и обследования в зонах аварий с использованием оптических средств, приборов химической и радиационной разведки;
- оказания помощи и эвакуации пострадавших из зон поражения.

УРТМ представляет собой транспортное средство на гусеничном ходу, оснащенное телевизионной системой и системой дистанционного управления. В носовой части модуля имеется площадка для установки сменного оборудования:

- телескопического устройства с универсальным стыковочным узлом;
- модуля загрузки контейнеров;
- установки порошкового пожаротушения;
- электромеханического манипуляторного модуля;
- гидравлического манипулятора с набором сменного оборудования для выполнения подъемно-транспортных и технологических операций.

На рис. 1 представлен УРТМ, оснащенный гидравлическим манипулятором.



Рис. 1. Универсальный роботизированный базовый транспортный модуль

МРК управляется в командном режиме с поста дистанционного управления. Конструктивно система управления делится на пост дистанционного управления и бортовую часть.

Пост дистанционного управления состоит из пульта управления, автономного источника питания и системы приема-передачи (табл. 1).

Пульт управления транспортного модуля состоит из панели управления, предназначенной для задания команд управления, компьютера, на мониторе которого отображается телеметрическая информация, экрана для отображения видеосигнала, передаваемого бортовой системой управления.

Система приема-передачи состоит из телеприемника и радиомодема, принимающего телеметрическую информацию с борта робота и отправляющего команды на борт робота.

Бортовая система управления состоит из блока управления, к которому подключены штатные дискретные устройства, телекамеры и бортовой системы приема-передачи, которая передает на пульт видеосигнал и телеметрическую информацию. Блок управления посредством двух шин

CAN осуществляет управление исполнительными устройствами: гидрораспределителями, двигателем, механизмами наведения обзорных телекамер и дополнительным оборудованием.

На рис. 2 представлена функциональная схема системы управления МРК.

На рис. 3 представлен МРК, оснащенный двумя электромеханическими манипуляторами, установленными на гидравлические телескопические модули. Данный МРК предназначен для выполнения сложных технологических операций, сбора твердых продуктов аварии, а также выполнения демонтажных работ.

При выполнении таких операций зоны работы манипуляторов пересекаются. Поэтому система управления манипуляторами должна обеспечивать их безопасную совместную работу. Немаловажным также является уменьшение загруженности оператора телеметрической информацией при работе с двумя манипуляторами. В то же время для адекватного и оперативного управления оператор должен получать всю необходимую информацию

Таблица 1

Технические характеристики УРТМ

Наименование параметра	Значение
Габаритные размеры, м, не более	
длина	3,84
ширина	1,72
высота	1,5
Масса, кг, не более	3700
Максимальная скорость передвижения, км/ч, не менее	5,0
Высота преодолеваемого порогового препятствия, м	0,2
Допустимый угол крена, дифферента, град., не более	30
Управление изделием с ПУ на расстоянии: по радио на открытой местности, м, до	1000
Время непрерывной работы, ч, не менее	8
<i>Шасси</i>	Hinowa PT70G45 1001, гусеничное
Привод	Гидравлический
Рабочее давление, бар, не более	250
Расход максимальный, л/мин, не более	120
<i>Двигатель</i>	Deutz BF04M2012C дизельный
Максимальное число оборотов, мин ⁻¹	2300
Мощность, не более, кВт	98
Напряжение, В	24
<i>Главный насос</i>	Bocshrexroth A11VO75LRS/10R-NSD12N00
Номинальный объем, см ³	75
Номинальное давление, бар	350
Номинальный расход, л/мин	170

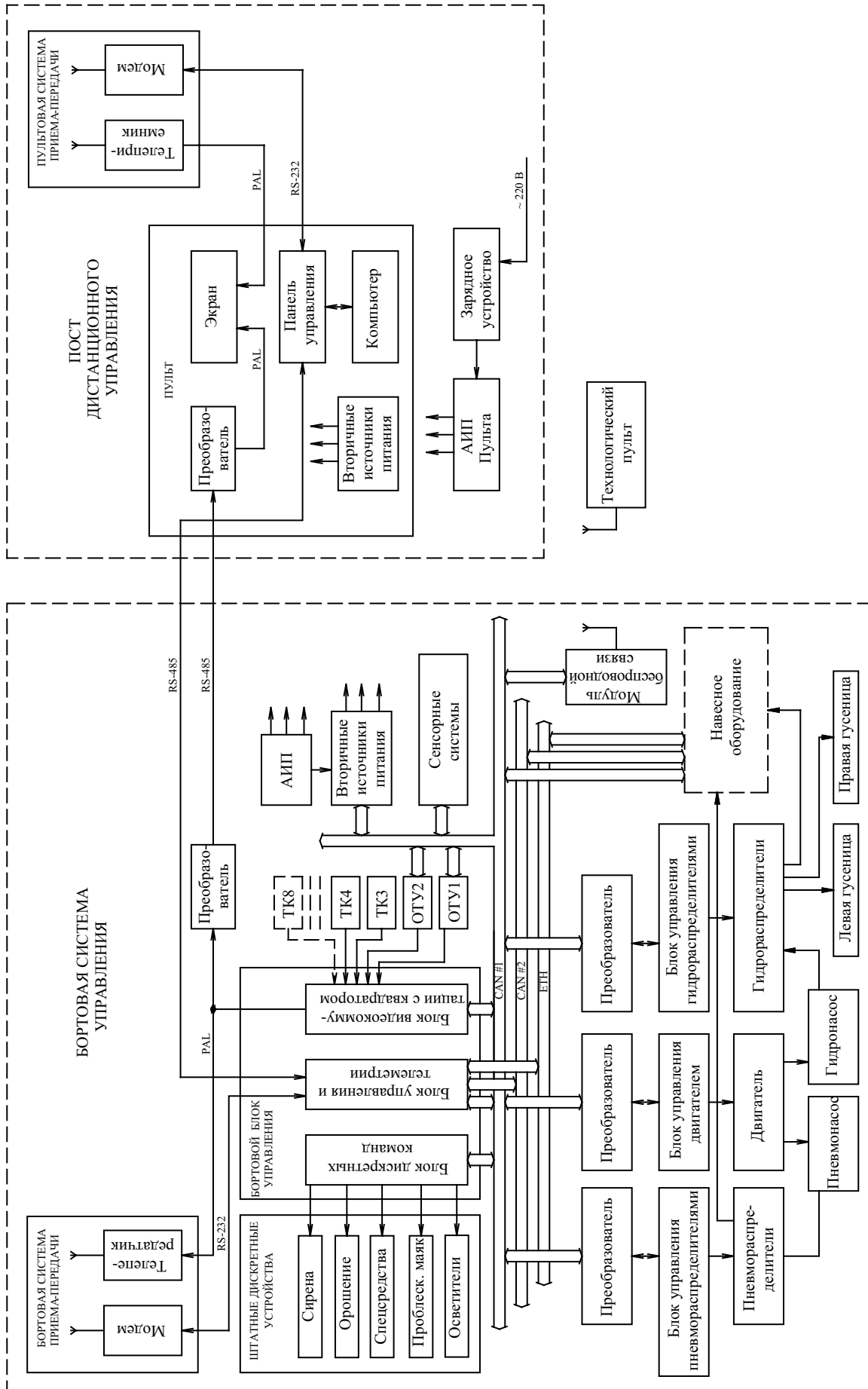


Рис. 2. Функциональная схема системы управления модулем

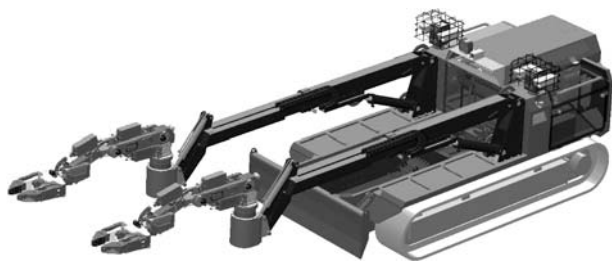


Рис. 3. МРК с двумя электромеханическими манипуляторами

о состоянии манипуляторов и характеристиках объектов, над которыми выполняются технологические операции (табл. 2).

Для обеспечения безопасности выполнения работ алгоритм управления должен учитывать положения манипуляторов и накладывать условия на их движения таким образом, чтобы избежать столкновения манипуляторов.

Для адекватного восприятия оператором процесса выполнения работ на пульте управления должна отображаться трехмерная модель всего робота и манипуляционных механизмов, чтобы оператор, управляя роботом по видеокерам, имел представление о положении механической системы. Также оператор должен иметь сведения о силах и моментах, приложенных к конечному звену манипулятора, что может быть обеспечено как применением 6-компонентного сило-моментного датчика, так и определением вектора сил и моментов, приложенных к схвату с использованием уравнений динамики манипулятора на основе величин сил, развиваемых приводами его звеньев.

Предполагается, что траектории движения звеньев манипуляторов задаются оператором

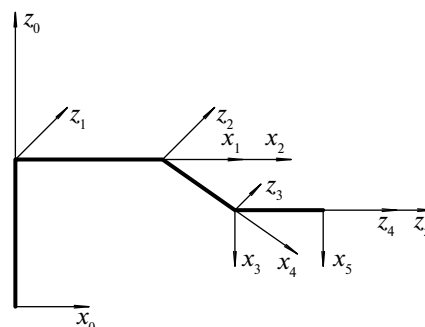


Рис. 4. Система координат Денавита–Хартенберга

в процессе выполнения операции. Расчет движения звеньев манипулятора может быть осуществлен на основе анализа кинематики манипулятора [2, 3].

Для проведения анализа кинематики манипулятора необходимо ввести специальную систему координат, позволяющую наипростейшим способом задавать положение и ориентацию звеньев. Такая система координат может быть построена с использованием метода построения систем координат, предложенного Дж. Денавитом и Р. Хартенбергом (рис. 4). В соответствии с данным методом с каждым звеном манипулятора связывается подвижная система координат, а также вводится базовая система координат. Оси Z совпадают с осями шарниров, соединяющих текущее звено с последующим. Ось X направляется вдоль общей нормали к осям Z текущего и предыдущего звеньев.

Обобщенными координатами манипулятора являются углы q_i между осями X_{i-1} и X_i . Координаты схвата s_i определяются векторной функцией $s = f(q)$.

Вид этой функции определяется кинематическими параметрами манипулятора: количеством звеньев, видом кинематических пар, геометрическими размерами звеньев.

Таблица 2

Технические характеристики электромеханического манипулятора

Наименование параметра	Значение
Масса манипулятора, кг, не более	130
Вылет максимальный, м	1,81
Грузоподъемность манипулятора номинальная (в положении «схват вперед»), кг	70
Предельно допустимая грузоподъемность манипулятора (в положении «схват вниз»), кг	120
Усилие сжатия губок схвата максимальное, Н	2000
Крутящий момент ротации схвата номинальный, Н·м	60
Крутящий момент ротации схвата максимальный, Н·м	115
Максимальное раскрытие губок схвата, мм	330
Максимальное раскрытие губок схвата (с переставленными губками и при ограничении усилия сжатия до 1000 Н), мм	450
Габаритные размеры МР, не более, м:	
длина	2,06
ширина	0,39
высота	0,85

Расчет обобщенных скоростей \dot{q}_i на основе линейных и угловых скоростей схвата \dot{s}_i может быть осуществлен решением обратной задачи о скорости:

$$\dot{q} = J^{-1}(q)\dot{s},$$

где $\dot{q} = \begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \\ \dot{q}_3 \\ \dot{q}_4 \\ \dot{q}_5 \end{bmatrix}$, $\dot{s} = \begin{bmatrix} \dot{s}_1 \\ \dot{s}_2 \\ \dot{s}_3 \\ \dot{s}_4 \\ \dot{s}_5 \end{bmatrix}$, $J^{-1}(q)$ — обратная матрица Якоби.

Так как манипулятор имеет 5 степеней свободы, то и вектор \dot{s} имеет 5 компонентов. Составляющая скорости схвата по оставшей-

ся 6-й степени свободы линейно зависима от компонент вектора \dot{s} .

Компонентами матрицы Якоби являются числа $J_{i,j} = \frac{\partial f_i}{\partial q_j}$.

Если матрица Якоби не является вырожденной, то может быть проведена процедура ее обращения. Для данного манипулятора характерно множество положений, когда звенья манипулятора вытянуты в линию, в которых матрица Якоби вырождается.

В качестве алгоритма расчета необходимых скоростей в сочленениях по командному вектору линейных и угловых скоростей схвата предполагается использовать линеаризованный алгоритм управления по положению, так как он позволит избежать накопления ошибки и увода манипулятора [2, 3]. Данный алгоритм предполагает, что отклонение от заданного положения и ориентации конечного звена не велико, поэтому необходимо с высокой частотой формировать вектор заданного положения и ориентации схвата и передавать в систему управления.

На рис. 5 представлена структурная схема системы управления электромеханическим манипулятором.

В системе управление сначала вычисляется вектор отклонения от заданного положения Δp и ориентации $\Delta \phi$. Для совмещения текущего и заданного положения схвата необходимо переместить схват на вектор Δp , затем повернуть его вокруг оси параллельной вектору $\Delta \phi$ на угол равный его модулю:

$$\Delta \phi = \frac{1}{2}(x \times x^* + y \times y^* + z \times z^*),$$

где x, y, z — орты системы координат, связанной с схватом, заданные в базовой системе координат, для текущего положения схвата; x^*, y^*, z^* — орты системы координат, связанной с схватом, заданные в базовой системе координат, для требуемого положения схвата.

После того как вектора Δp и $\Delta \phi$ рассчитаны,

они объединяются в вектор $\begin{bmatrix} \Delta p \\ \Delta \phi \end{bmatrix}$, и этот вектор

умножается на обратную матрицу Якоби $J^{-1}(q)$ и таким образом вычисляется вектор Δq отклонения положения манипулятора в пространстве обобщенных координат. Компоненты этого вектора, а также время, которое отводится для устранения отклонения положения манипулятора, позволяют определить требуемую обобщенную скорость в каждом сочленении манипулятора. Вектор \dot{q} обобщенных скоростей является командным для системы управления исполнительного уровня. На основе датчиков положения в звеньях манипулятора формируется вектор обобщенных координат Q , который используется для формирования матрицы Якоби, а также для определения текущего положения и ориентации схвата с использованием функции $f(Q)$.

В системе управления МРК предполагается осуществить следующие режимы управления: командный режим; полуавтоматический режим; supervisory режим.

Командный режим управления является наиболее универсальным и позволяет решать широкий круг задач, однако связан с большой загруженностью оператора, так как в командном режиме оператор должен сам задавать траектории движения каждого звена манипулятора.

Δp — вектор, характеризующий несовпадение заданного и текущего положения характерной точки конечного звена; $\Delta \phi$ — вектор, характеризующий несовпадение заданной ориентации конечного звена и текущей; \dot{q} — вектор обобщенных скоростей манипулятора. В данном случае обобщенными скоростями являются угловые скорости в сочленениях; Δq — вектор, характеризующий несовпадения требуемого и текущего положения манипулятора в пространстве обобщенных координат; Q — вектор обобщенных координат, полученный на основе датчи-

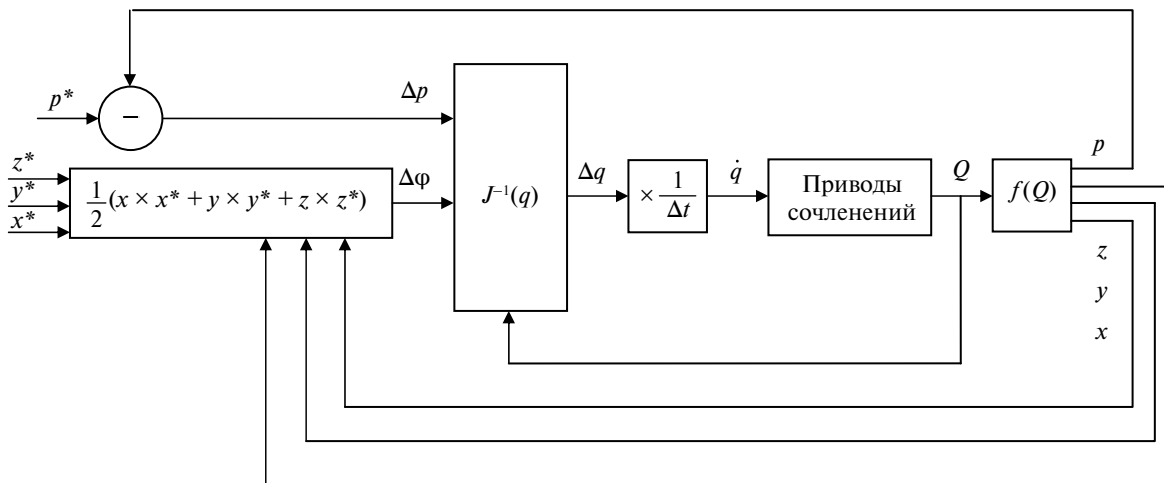


Рис. 5. Структурная схема системы управления электромеханическим манипулятором

ков взаимного положения звеньев; $f(Q)$ — функция, определяющая взаимосвязь обобщенных координат манипулятора и координат конечного звена.

В полуавтоматическом режиме оператор задает только траекторию движения схвата, не заботясь о движении приводов манипулятора. Полуавтоматический режим также может быть использован при управлении манипулятором для решения большинства задач, которые могут возникнуть при использовании МРК и в то же время позволяет существенно снизить загруженность оператора.

Супервизорный режим управления, в отличие от полуавтоматического, не предполагает использования труда оператора для задания траектории движения схвата в реальном времени, а лишь указание оператором целей, что позволяет существенно повысить скорость выполнения операций.

Для осуществления супервизорного режима управления необходима трехмерная модель среды, в которой работает робот, и трехмерные модели объектов, с которыми непосредственно работает манипулятор, так как необходимо обеспечить распознавание целей, задаваемых оператором, а также обеспечить безопасность работы МРК в окружающей среде. Для построения трехмерных моделей среды и объектов может быть использован лазерный дальномер, а поиск и распознавание целей, заданных оператором, предполагается осуществить с использованием алгоритмов, позволяющих распознавать и находить различные объекты на трехмерных моделях.

Выводы

Система управления манипуляторами должна обеспечивать их безопасную совместную работу,

выдавать оператору необходимую телеметрическую информацию и уменьшать загруженность оператора, осуществляя предварительную обработку информации и выдавая ее оператору в наиболее приемлемом для него виде.

В системе управления МРК предлагается использовать командный, полуавтоматический и супервизорный режим управления, так как в этом случае может быть обеспечен широкий круг задач, решаемых с помощью МРК, и вместе с тем при применении супервизорного и полуавтоматического режимов может быть уменьшено время выполнения значительной части задач, решаемых МРК.

Полуавтоматический режим управления манипуляторами предполагается осуществить на основе анализа кинематики манипулятора с использованием линеаризованного алгоритма управления по положению.

Супервизорный режим управления манипуляторами предлагается реализовать с использованием алгоритмов, позволяющих распознавать и находить различные объекты на трехмерных моделях, что необходимо для поиска и распознавания целей, задаваемых оператором.

Список литературы

1. Воробьев, Е.И. Промышленные роботы агрегатно-модульного типа / Е.И. Воробьев, Ю.Г. Козырев, В.И. Царенко; под общ. ред. Е.П. Попова. — М.: Машиностроение, 1988. — 240 с.
2. Проектирование и разработка промышленных роботов / С.С. Аншин [и др.]; под общ. ред. Я.А. Шифрина, П.Н. Белянина. — М.: Машиностроение, 1989. — 272 с.
3. Детали и механизмы роботов: Основы расчета, конструирования и технологии производства: учеб. пособие / Р.С. Веселков [и др.]; под ред. Б.Б. Самотокина. — Киев: Выща шк., 1990. — 344 с.

УДК 656.027.4

Н.В. Алдошин, доктор техн. наук

Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина

А.С. Пехутов, канд. техн. наук

Бурятская государственная сельскохозяйственная академия имени В.Р. Филиппова

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ

Повышение эффективности перевозок грузов в сельском хозяйстве связано не только с техническим совершенствованием подвижного состава, технологических и погрузочно-разгрузочных машин, но и внедрением прогрессивной технологии перевозки грузов. Основной задачей технологии является снижение продолжительности и трудоемкости перевозок за счет сокращения чис-

ла выполняемых операций и этапов процесса перевозки [1].

Под *технологией процесса перевозки грузов* понимается способ реализации конкретного перевозочного процесса путем расчленения его на систему последовательных взаимосвязанных этапов и операций. Сущностью технологии перевозки грузов является два основных понятия — этап и операция.