

Чернышев В.В., Калинин Я.В., Шаронов Н.Г.

ИСПЫТАНИЯ ШАГАЮЩЕГО АППАРАТА МАК-1 В ПОДЛЕДНЫХ УСЛОВИЯХ

Волгоградский государственный технический университет
Проспект Ленина, 28, 400005 Волгоград, Россия
e-mail: dtm@vstu.ru

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ
в рамках научного проекта № 19-08-01180

РОССИЙСКИЕ ПОДВОДНЫЕ АППАРАТЫ НА ГУСЕНИЧНОМ ШАССИ



Самоходный траншеекопатель (ООО «Аква-эко»)



Самоходный кабелеукладчик («ЗАО Подводспецстрой»)

ПОДВОДНЫЕ БУЛЬДОЗЕРЫ И ЭКСКАВАТОРЫ



Подводный бульдозер
фирмы «Komatsu» (Япония)



Подводный экскаватор фирмы
«Menzi Muck»

ГЛУБОКОВОДНЫЕ КАБЕЛЕУКЛАДЧИКИ



Подводный гусеничный
кабелеукладчик на борту судна



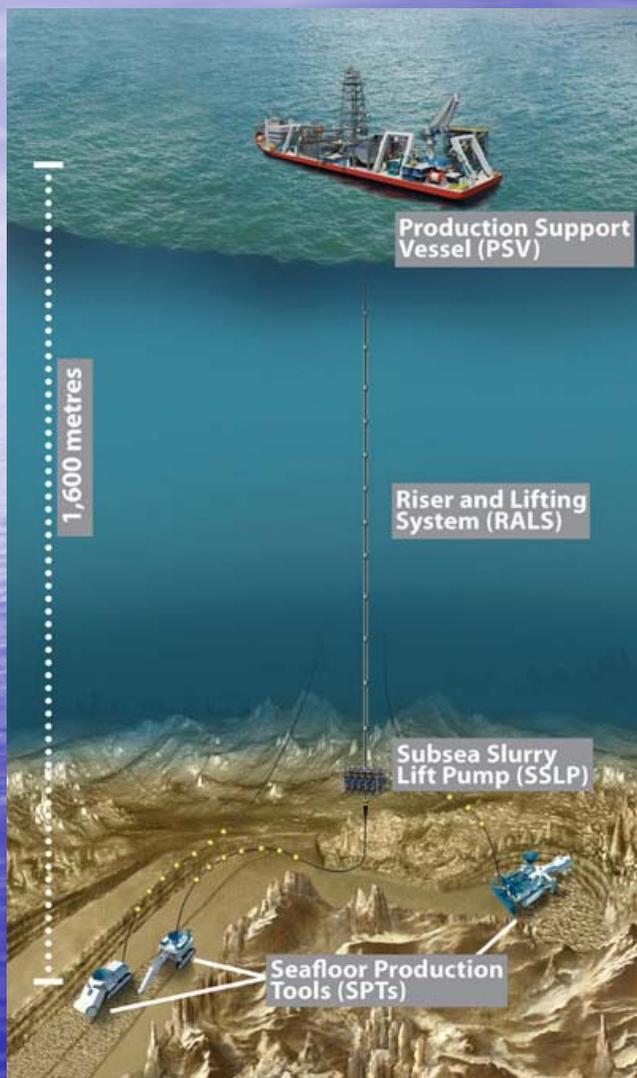
Подводный кабелеукладчик
«Tyco Resolute»

САМОХОДНЫЕ ДОННЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ



Добычный гусеничный модуль компании «De Beers Marine»

САМОХОДНЫЕ ДОННЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ



Глуководная добычная система компании «Nautilus Minerals»

САМОХОДНЫЕ ДОННЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

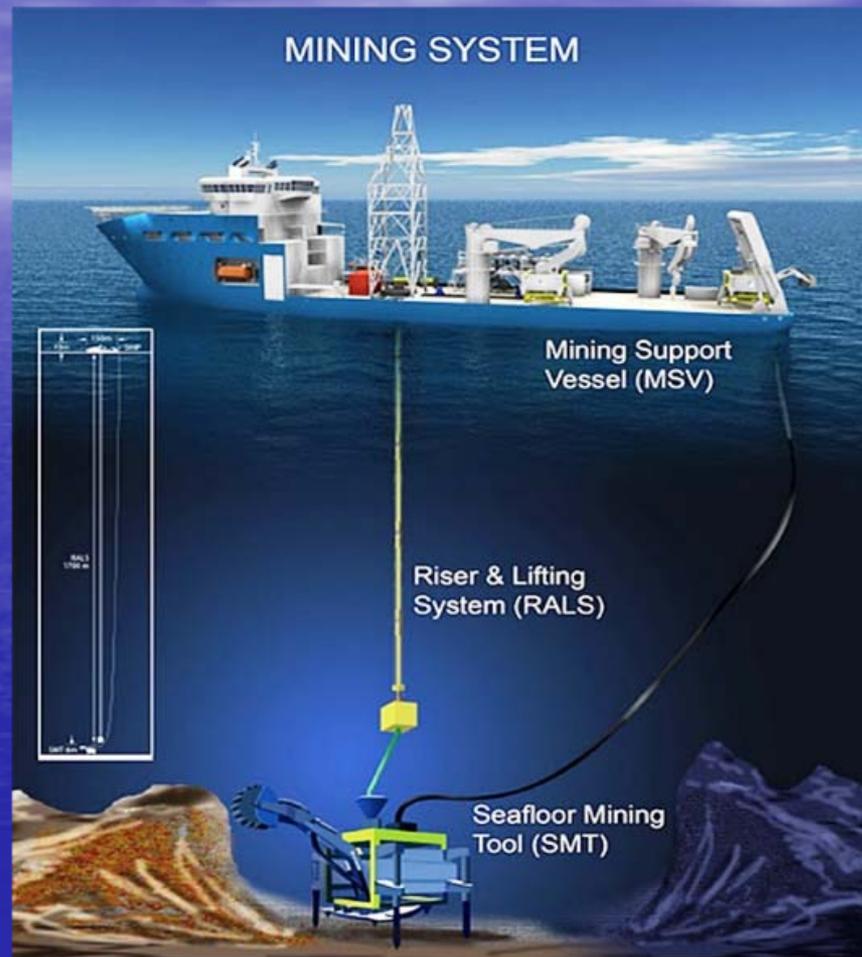


Глубоководный добычный робот MineRo (Южная Корея)

ДОННЫЕ ДОБЫЧНЫЕ УСТРОЙСТВА С НЕТРАДИЦИЦИОННЫМИ ДВИЖИТЕЛЯМИ



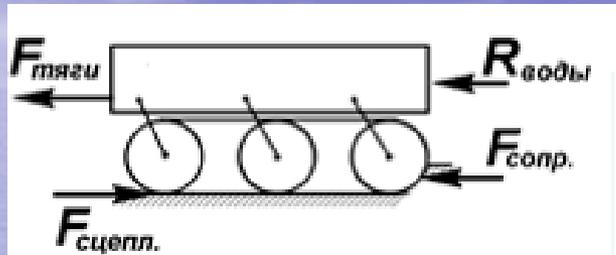
Донный добычный модуль с шнековым двигателем



Проект добывающей системы с шагающим добычным модулем с двигателями ортогонального типа

СИЛЫ ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА КОЛЕСНЫЕ, ГУСЕНИЧНЫЕ И ШАГАЮЩИЕ МАШИНЫ

Колёсные и гусеничные машины



$$F_{тяги} = F_{сцепл} - F_{сопр} - R_{воды}$$

$F_{тяги}$ – сила тяги, идущая на совершение полезной работы;

$F_{сцепл} = k_{\phi} N$ – сила сцепления;

$F_{сопр} = k_f N$ – сила сопротивления движению со стороны грунта;

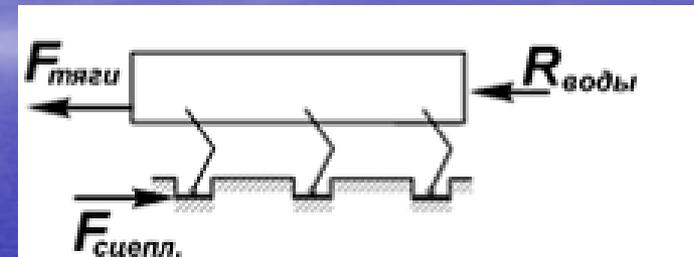
N – нормальная реакция грунта;

$R_{воды}$ – сила гидравлического сопротивления воды.

Для гусеничных машин на слабых грунтах:

- коэффициент сопротивления движению $k_f = 0,1 - 0,2$;
- коэффициент сцепления $k_{\phi} = 0,2 - 0,3$

Шагающие машины



$$F_{тяги} = F_{сцепл} - R_{воды}$$

Для шагающих машин:

- сопротивления движению нет ($k_f = 0$);
- коэффициент сцепления может быть $\gg 1$

ПОДВОДНЫЕ ШАГАЮЩИЕ АППАРАТЫ



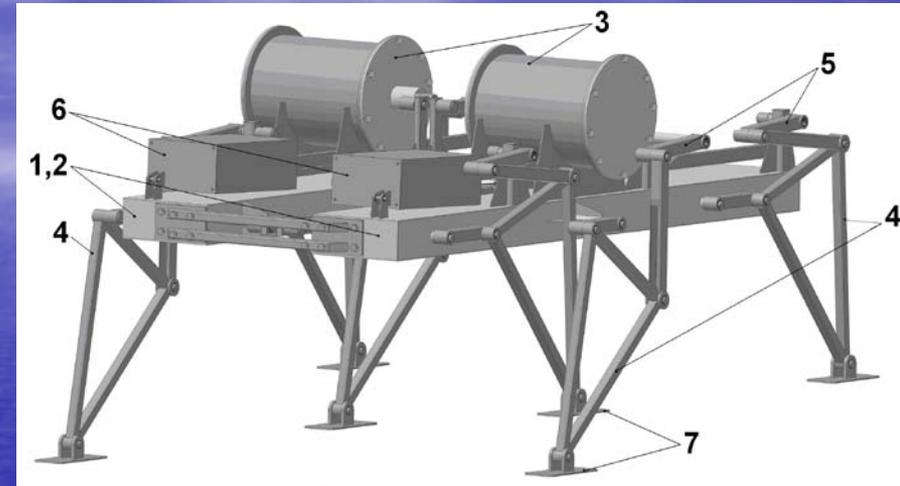
Подводный шагающий робот Arie1-II (США) для сбора противодесантных мин в зоне приобья

ПОДВОДНЫЕ ШАГАЮЩИЕ АППАРАТЫ



Подводный шагающий робот Crabster CR200I (Южная Корея)

ПОДВОДНЫЙ ШАГАЮЩИЙ АППАРАТ МАК-1



Конструктивная схема аппарата:

- 1 – шагающие опоры;
- 2 – несущие балки;
- 3 – бортовой электропривод в водозащищенных боксах;
- 4 – механизмы шагания;
- 5, 6 – механизм смещения точек подвеса механизмов шагания и его линейный электропривод;
- 7 – стопы



МЕХАНИЗМ ШАГАНИЯ АППАРАТА МАК-1

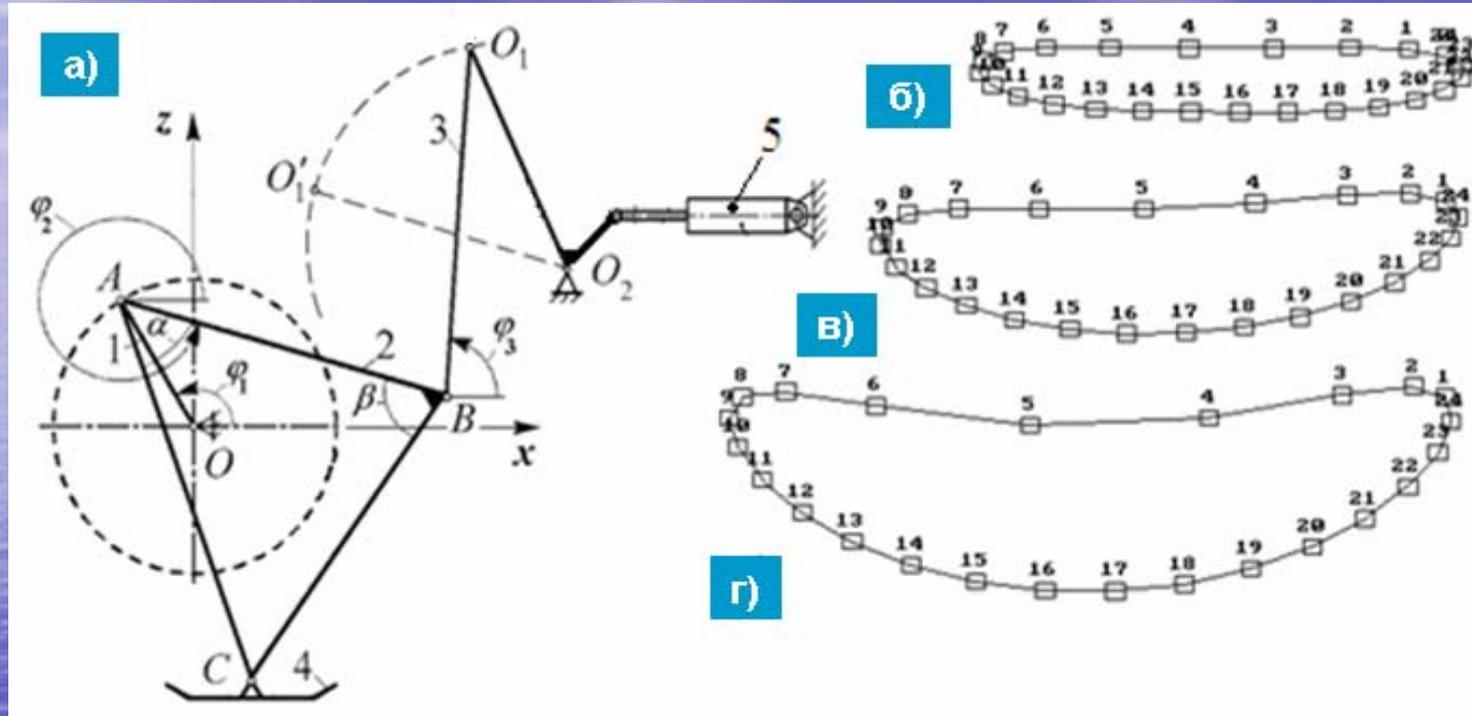


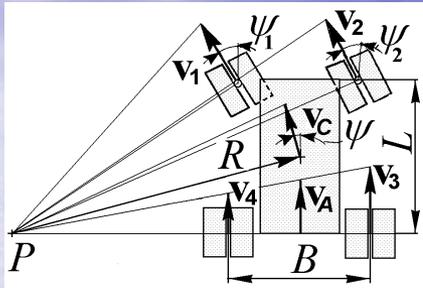
Схема механизма шагания аппарата МАК-1 (а) и трансформация траектории его опорной точки (б, в, г):

- 1 — ведущий кривошип; 2 — опорное звено (нога); 3 — коромысло; 4 — стопа;
- 5 — линейный электропривод; O_1O_2 — управляемое поворотное звено.

ПОВОРОТ ШАГАЮЩЕЙ МАШИНЫ

ПОВОРОТ ИЗМЕНЕНИЕМ ОРИЕНТАЦИИ ПЛОСКОСТЕЙ ШАГАНИЯ

Поворот путем поворота плоскостей шагания передних движителей



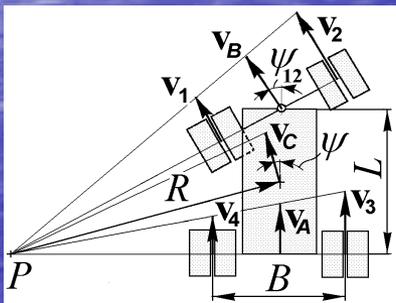
$$v_1 = \frac{v_c L}{R \sin \psi_1}$$

$$v_2 = \frac{v_c L}{R \sin \psi_2}$$

$$v_3 = \frac{v_c L \cos \psi_2}{R \sin \psi_2}$$

$$v_4 = \frac{v_c L \cos \psi_1}{R \sin \psi_1}$$

Поворот за счет управления скоростями движителей



Пат. 2239577

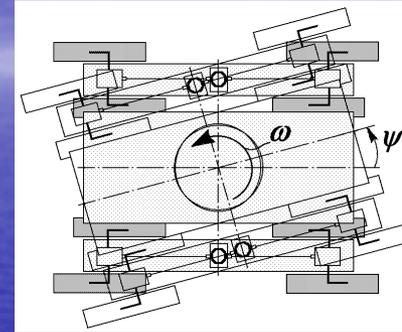
$$v_1 = \frac{v_c}{R} \left(\frac{L}{\sin \psi_{12}} - \frac{B}{2} \right)$$

$$v_2 = \frac{v_c}{R} \left(\frac{L}{\sin \psi_{12}} + \frac{B}{2} \right)$$

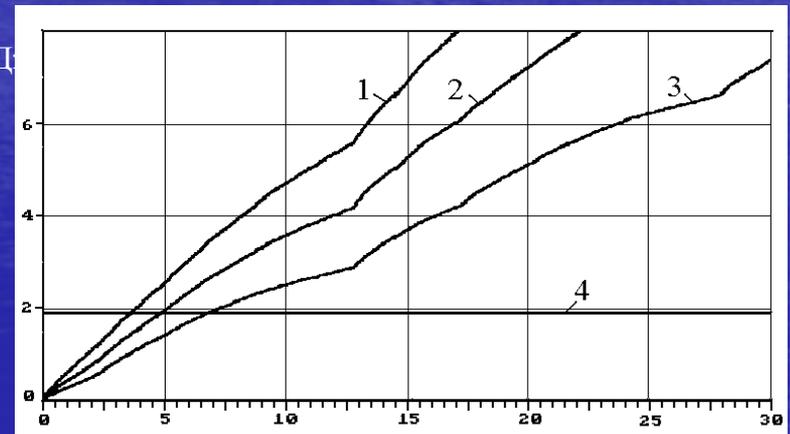
$$v_3 = \frac{v_c}{R} \left(\frac{L \cos \psi_{12}}{\sin \psi_{12}} + \frac{B}{2} \right)$$

$$v_4 = \frac{v_c}{R} \left(\frac{L \cos \psi_{12}}{\sin \psi_{12}} - \frac{B}{2} \right)$$

Смена направления движения с помощью подъемно-поворотных механизмов



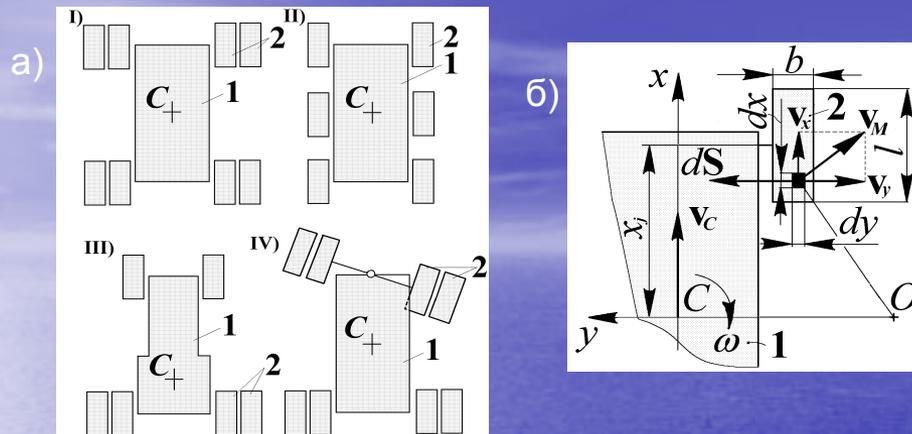
А, кД



Работа при повороте робота «Восьминог-М»:
 1, 2, 3 — бортовой поворот при $k_\mu = 0,8; 0,6; 0,4$ соответственно; 4 — поворот с помощью подъемно-поворотных механизмов

БОРТОВОЙ СПОСОБ ПОВОРОТА

Сопротивление бортовому повороту



Схемы размещения ног (а) и схема определения момента сопротивления повороту (б): 1 — корпус; 2 — стопы

Момент сопротивления повороту N -ной машины:

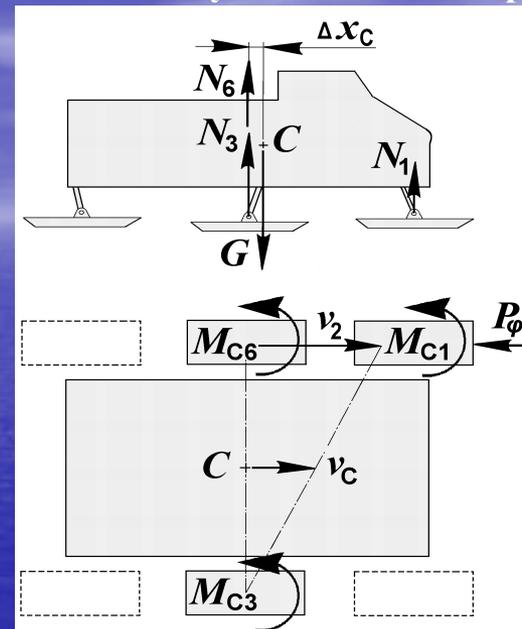
$$M_C = \sum_{k=1}^2 \sum_{j=1}^N U_{jk} \iint_{A_{cm}} k_{\mu} \frac{N_{jk}}{bl} x dy dx,$$

где k_{μ} — коэффициент сопротивления повороту,

N_{jk} — нормальная реакция грунта под j -той стопой

Оценка поворота по сцеплению: $k_{\mu} \leq \frac{k_{\phi}}{2(L/B)k_{cx}}$

Статически неустойчивый поворот



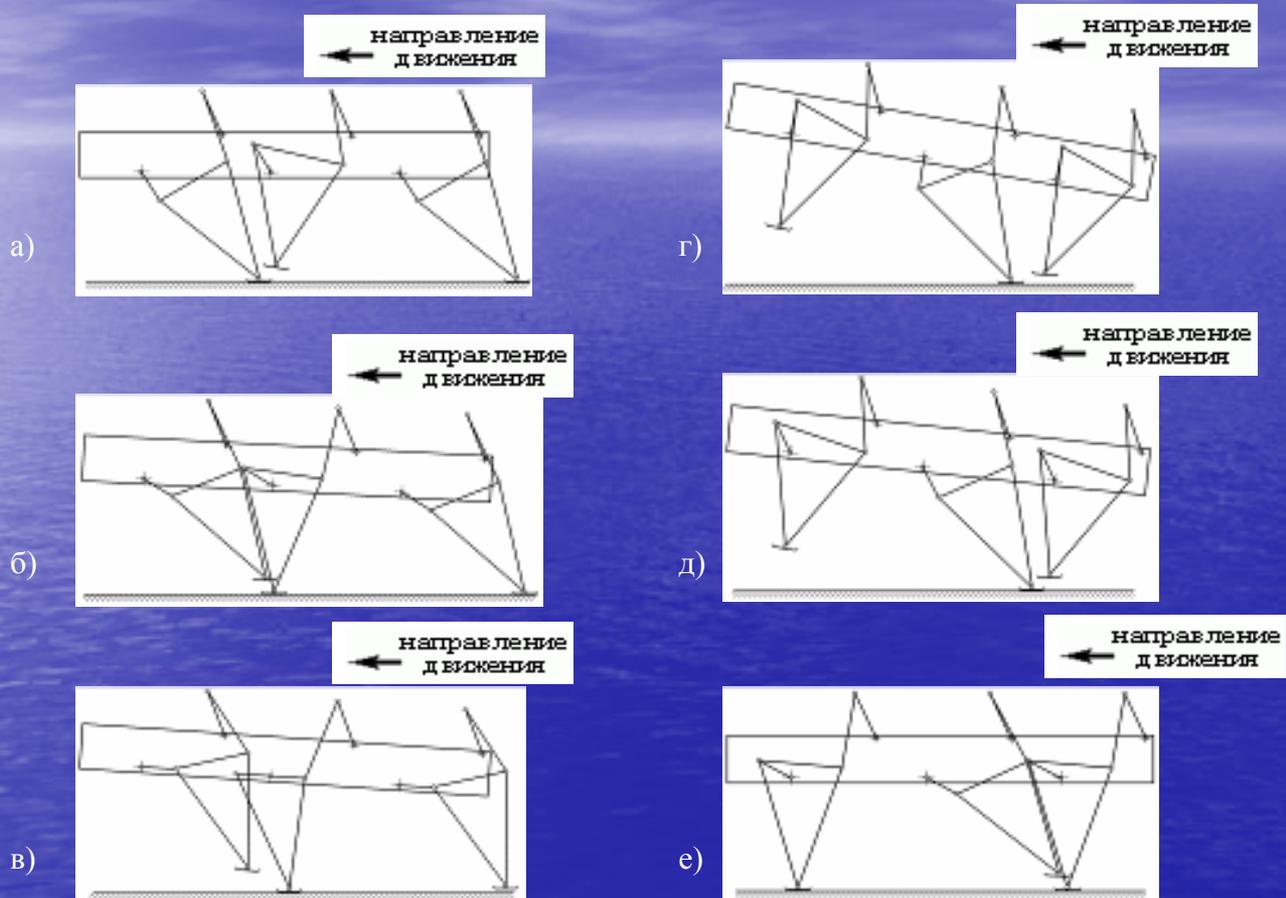
Сопротивление повороту шагающей машины в статически неустойчивом положении:

$$M_C = \frac{k_{\mu} l N_3}{8} + \frac{k_{\mu} l N_6}{8} + \frac{k_{\mu} N_1 (L-l)}{2} + k_{\phi} N_1 B$$

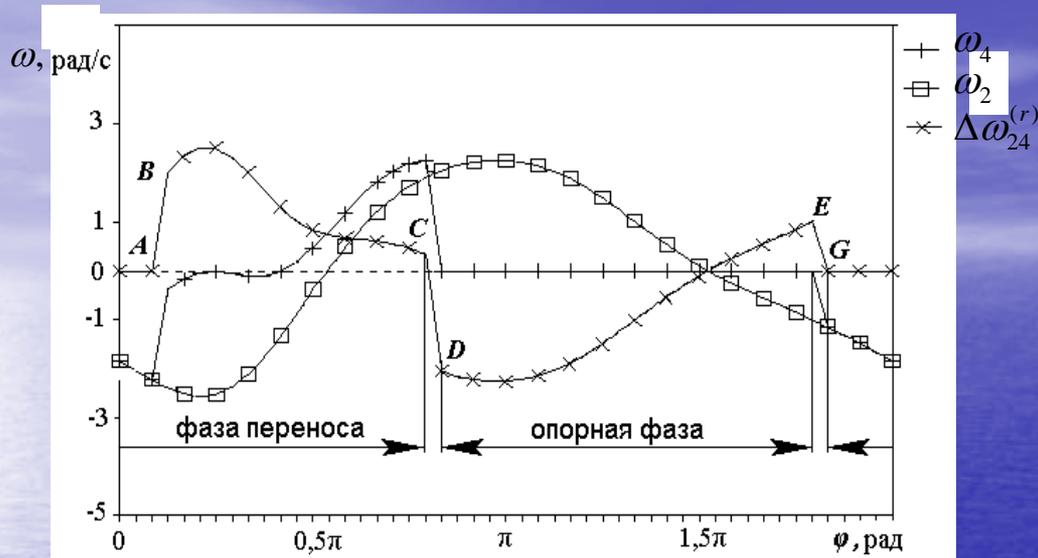
Момент сопротивления бортовому повороту

	Схема I	Схема II	Схема III	Двигатели объединенные в цепь	Статически неустойчивый поворот
M_C	$0,33 \div 0,45 k_{\mu} GL$	$0,21 \div 0,24 k_{\mu} GL$	$0,28 \div 0,40 k_{\mu} GL$	$0,25 k_{\mu} GL$	$0,01 \div 0,04 k_{\mu} GL$

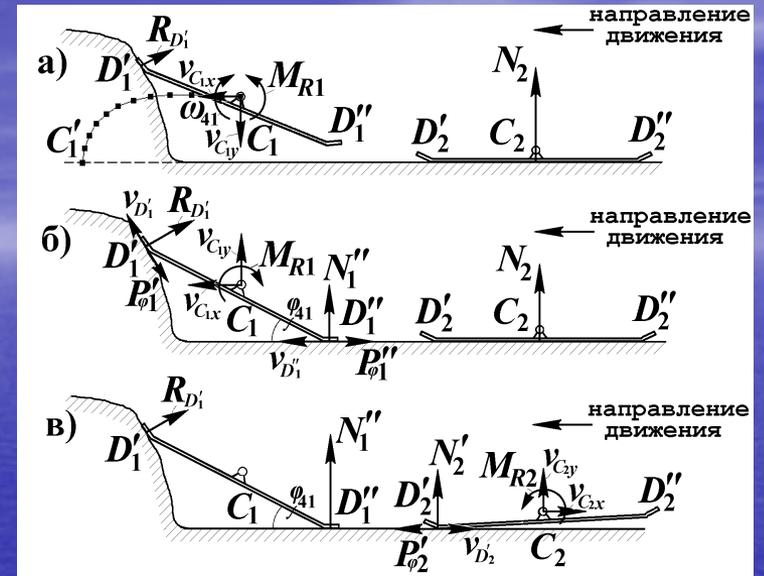
Фазы статически неустойчивых режимов движения



УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ В УСЛОВИЯХ НЕПОЛНОГО И НЕОДНОЗНАЧНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ТЕКУЩЕЙ СИТУАЦИИ

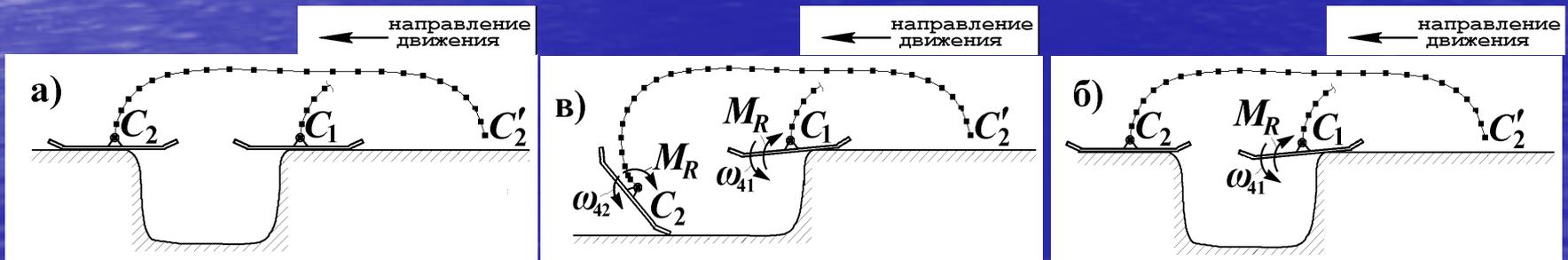


Программное изменение угловых скоростей стопы ω_4 , опорного звена ω_2 и относительной угловой скорости стопы $\Delta\omega_{24}^{(r)}$ за цикл



Корректировка длины шага при встрече с препятствием

Управление стопой в условиях нечеткого представления о положении и типе препятствия





ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты работы могут быть востребованы при разработке шагающих робототехнических систем предназначенных для подводно-технических работ, для новых промышленных технологий освоения ресурсов морского дна, для обеспечения антитеррористической и техногенной безопасности объектов подводной инфраструктуры и др. работ.

БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ