

С.А. Бекетов

Теория управляемого движения гусеничных машин



МОСКВА
ИЗДАТЕЛЬСТВО
МГТУ им. Н.Э. БАУМАНА
2017

УДК 629.3

ББК 34.4

Б42

Рецензенты:

заведующий кафедрой «Автомобили и тракторы»
Московского государственного машиностроительного университета
(МАМИ) д-р техн. наук, профессор *В.М. Шарипов*;
заведующий кафедрой «Колесные машины»
МГТУ им. Н.Э. Баумана д-р техн. наук, профессор *Г.О. Котиев*

Бекетов, С. А.

Б42 Теория управляемого движения гусеничных машин / С. А. Бекетов. — Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017. — 125, [1] с. : ил.

ISBN 978-5-7038-4734-3

В монографии изложены основы теории движения гусеничных машин. Представлена математическая модель движения, позволяющая исследовать управляемое движение гусеничных машин. Определены граничные условия и общие закономерности управляемого движения гусеничных машин. Приведены теоретические основы выбора параметров элементов трансмиссии.

Для научных и инженерно-технических работников, занимающихся исследованием, проектированием и созданием механических систем гусеничных машин, а также для студентов и аспирантов высших технических учебных заведений машиностроительных специальностей.

УДК 629.3

ББК 34.4

ISBN 978-5-7038-4734-3

© Бекетов С.А., 2017

© Оформление. Издательство
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017

*Посвящается памяти учителя
Авинира Алексеевича Дмитриева*

Предисловие

Работа над предлагаемой вниманию читателей монографией обусловлена потребностью исследователей и разработчиков быстроходной гусеничной техники в информационном обеспечении закономерностей движения гусеничных машин, соответствующем современному уровню развития техники.

Знание данных закономерностей позволит при разработке быстроходных гусеничных машин согласовывать их технические возможности с внешними условиями и обеспечивать гарантированно управляемое криволинейное движение.

При этом будет реализована возможность определения как граничных условий управляемого движения, так и параметров, по которым можно судить о достижении гусеничной машиной границы гарантированно управляемого движения.

В результате будет обеспечена возможность выбора параметров и расчета элементов системы двигатель — трансмиссия — ходовая часть проектируемой гусеничной машины и оценки эксплуатационных свойств как существующих, так и создаваемых образцов при обосновании стратегии их применения.

Автор надеется, что настоящая работа будет полезна инженерно-техническим и научным работникам организаций, связанных с разработкой гусеничной техники, а также студентам и аспирантам высших учебных заведений, осуществляющих подготовку специалистов соответствующих специальностей.

Основные условные обозначения

M_c	—	момент сопротивления повороту гусеничной машины
M_n	—	поворачивающий момент гусеничной машины
$F^{ц.б}$	—	центробежная сила
S	—	равнодействующая поперечных реакций грунта
χ	—	продольное смещение мгновенного центра поворота гусеничной машины
P	—	сила тяги
R	—	сила реакции грунта
β	—	угол между касательной к траектории движения и продольной осью гусеничной машины
k	—	кривизна траектории движения центра масс гусеничной машины
s	—	координата движения центра масс гусеничной машины, отсчитываемая вдоль траектории движения
φ	—	угол поворота продольной оси гусеничной машины относительно ее центра масс
T	—	кинетическая энергия гусеничной машины
J_z	—	момент инерции гусеничной машины относительно вертикальной оси, проходящей через ее центр масс
m	—	масса гусеничной машины
B	—	ширина колеи гусеничной машины
ρ_c	—	радиус траектории движения центра масс гусеничной машины
μ	—	коэффициент взаимодействия трака гусеницы с грунтом
λ	—	коэффициент анизотропии трака гусеницы
V_x	—	скорость буксования гусениц
V_0	—	скорость перематывания гусениц относительно корпуса гусеничной машины

- L — длина опорной поверхности гусеницы
- $\Phi_{\text{сц}}$ — коэффициент сцепления гусениц с грунтом
- k_6 — коэффициент буксования гусениц
- ω — угловая скорость поворота гусеничной машины
- V_C — скорость центра масс гусеничной машины
- $\rho_{\text{ф}}$ — фактический радиус поворота гусеничной машины
- Q — нормальная нагрузка от катка на грунт
- n — число опорных катков одного борта
- l_i — расстояние от центра масс гусеничной машины до центра i -го опорного катка
- $f_{\text{гр}}$ — коэффициент сопротивления движения гусеничной машины по грунту
- $\varphi_{\text{пр}}$ — угол продольного наклона корпуса
- θ — угол поперечного наклона корпуса
- h_C — расстояние от центра масс гусеничной машины до опорной поверхности
- $\omega_{\text{т}}$ — теоретическая угловая скорость поворота гусеничной машины
- $V_{\text{кр}}$ — критическая по управляемости скорость движения гусеничной машины для данного радиуса поворота
- $\rho_{\text{т}}$ — теоретический радиус траектории
- $V_{\text{с.т}}$ — теоретическая скорость движения центра масс гусеничной машины
- $u_{\text{м.п}}$ — передаточное отношение механизма поворота
- Q_i — распределение веса гусеничной машины по опорным каткам
- l_i — расстояние от центра масс гусеничной машины до осей опорных катков
- $N_{\text{дв}}$ — мощность двигателя, требуемая для обеспечения криволинейного движения гусеничной машины
- N_0 — мощность, требуемая для преодоления внешних сил сопротивления движению
- $N_{\text{т}}$ — потери мощности в тормозах и фрикционных элементах, участвующих в управлении поворотом
- $N_{\text{тр}}$ — потери мощности на трение в элементах трансмиссии и ходовой части, не участвующих в управлении поворотом

f_0^T	— удельная сила тяги, требуемая для преодоления внешних сил сопротивления движению гусеничной машины, приведенная к ведущим колесам
u_0	— передаточное число от двигателя до ведущих колес при прямолинейном движении гусеничной машины
$f_{\text{пов}}$	— удельная сила тяги, требуемая для обеспечения поворота гусеничной машины
$f_{\text{крив}}$	— удельная сила тяги, требуемая для обеспечения криволинейного движения гусеничной машины
$m_S(f_{\text{пов}})$	— математическое ожидание по пути удельной силы тяги, требуемой для обеспечения поворота гусеничной машины
$m_S(f_{\text{крив}})$	— математическое ожидание по пути удельной силы тяги, требуемой для обеспечения криволинейного движения гусеничной машины
$u_{02}^{(1)}$	— обобщенное передаточное отношение от водила к эпициклу суммирующего планетарного ряда
$\hat{k}$	— характеристика суммирующего планетарного ряда
$u_{\text{гоп}}$	— передаточное отношение ГОП

Введение

Содержанием теории движения являются модели движения гусеничных машин, а также способы и результаты их анализа. При этом сложность моделей движения гусеничных машин определяется конкретными задачами, для решения которых эти модели предназначаются, например максимизация средней скорости движения гусеничной машины, минимизация расхода топлива и др.

Средняя скорость движения гусеничной машины определяется следующими факторами:

- техническими характеристиками гусеничной машиной;
- внешними условиями движения;
- квалификацией механика-водителя.

Роль механика-водителя состоит в согласовании возможностей гусеничной машины с внешними условиями с целью достижения максимальной скорости движения. Основной характеристикой гусеничной машины является удельная мощность, которая определяет потенциально возможную максимальную скорость движения. Однако полная реализация мощности двигателя гусеничной машины ограничивается внешними условиями движения, которые подразделяют на две статистически не связанные между собой группы [33]:

- ограничения по тяговым свойствам;
- прямые ограничения.

Поскольку данные ограничения определяются взаимодействием гусеничной машины с дорогой, представляется целесообразным также выделить две группы задач, которые должна решать теория движения:

- обеспечение максимальной средней скорости движения гусеничной машины по тяговым свойствам;
- обеспечение максимальной средней скорости движения гусеничной машины по прямым ограничениям, в первую очередь на криволинейных участках пути.

Основа существующей теории движения гусеничных машин создавалась для машин с невысокой удельной мощностью, скорость движения которых была низкой. В зависимости от прой-

Оглавление

Предисловие.....	3
Основные условные обозначения	4
Введение.....	7
Глава 1. Модели движения гусеничных машин и их возможности.....	12
Глава 2. Управляемое движение гусеничной машины	23
2.1. Понятие управляемого движения	23
2.2. Гусеничная машина как механическая система	25
2.3. Уравнения управляемого движения гусеничной машины.....	30
2.4. Взаимодействие элементов опорной поверхности гусениц с грунтом	35
2.5. Кинематика элементов опорных поверхностей гусениц при криволинейном движении гусеничной машины.....	48
2.6. Динамика элементов опорных поверхностей гусениц при криволинейном движении гусеничной машины.....	53
Глава 3. Общие закономерности управляемого движения гусеничной машины	64
3.1. Граничные условия управляемого движения гусеничных машин	64
3.2. Зависимости между действительными показателями криволинейного движения гусеничной машины и управляемыми параметрами движения	68
3.3. Влияние параметров грунта, конструкционных показателей гусеничной машины и режимов движения на характеристики ее управляемого движения	76

3.4. Аналитическое выражение для определения момента сопротивления повороту гусеничной машины	82
Глава 4. Теоретические основы выбора параметров элементов трансмиссии.....	87
4.1. Баланс мощности при управляемом движении гусеничной машины.....	87
4.2. Теоретические основы выбора кинематических характеристик механизмов поворота гусеничных машин	102
4.3. Расчет нагруженности элементов трансмиссии, обусловленной внешними условиями движения гусеничной машины.....	110
Литература	120
Именной указатель	123