

М85802

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени Н.Э.БАУМАНА

На правах рукописи

БЕЛЯКОВ Владимир Викторович

МЕТОДИКА РАСЧЕТА И АНАЛИЗ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ
ПРОХОДИМОСТИ МНОГООСНЫХ КОЛЕСНЫХ МАШИН
ПО СНЕГУ

Специальность 05.05.03 - Автомобили и тракторы

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

 =Беляков=

МОСКВА 1992

Работа выполнена в отраслевой научно-исследовательской лаборатории вездеходных машин (ОНИЛВМ) при Нижегородском политехническом институте.

- Научный руководитель - доктор технических наук,
профессор Л.В.Барахтанов
(ННПИ)
- Официальные оппоненты - доктор технических наук,
профессор Ю.А.Брянский
(МАДИ)
- кандидат технических наук,
доцент В.Н.Наумов
(МГТУ)
- Ведущее предприятие - В/ч 63539

Защита состоится " 15 " 06 1992 г. в 14³⁰ часов
в 15.10 в Московском
совете имени Н.Э.Баумана
2-я Бауманская, д. 5.
в библиотеке МГТУ.
ярах, заверенных гербовой
му адресу.

_____ 1992 г.

M85802

В.С.Цыбин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Во время эксплуатации автомобиля не всегда передвигаются по специально подготовленным дорогам. Во многих случаях им приходится работать на бездорожье, которое характеризуется разнообразными дорожно-грунтовыми условиями. Одним из наиболее тяжелых режимов движения является передвижение автомобилей по снегу.

Длительные наблюдения показывают, что около 80% территории Советского Союза на длительный срок (6-10 месяцев) покрывается снегом. В ряде районов Севера среднегоголетняя максимальная высота снежного покрова достигает 1,2 метра. Такая длительность, устойчивость и весьма большая глубина залегания снежного покрова является существенной особенностью климата нашей страны и оказывает большое влияние на ее экономику и образ жизни населения.

В этих условиях движение автомобилей не только затрудняется, но даже в большинстве случаев исключается совсем. Поэтому использование специализированных транспортных средств и колесных машин, оснащенных средствами повышения проходимости, является чаще всего единственной возможностью осуществления транспортных операций.

Если теория колесных машин при движении по грунтам хорошо разработана отечественными и зарубежными учеными, то вопросы передвижения автомобилей по снегу освещены еще недостаточно. Специфические условия работы требуют уточнения и пересмотра целого ряда положений, особенно в области взаимодействия колесного движителя со снежным полотном пути.

Цель работы. Разработка методики расчета проходимости многоосных колесных машин по снегу и анализ путей ее повышения на основе экспериментально-теоретических исследований.

Объекты исследований. На разных этапах исследований в качестве объектов исследований выбирались различные модификации полноприводной колесной машины ГИМ-3901 с бортовым способом поворота, переменной колесной формулой и коэффициентом базы, полным весом от 7 до 9 тонн в зависимости от конструкции движителя.

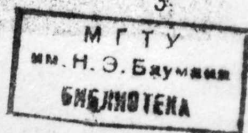
Общая методика исследований. При проведении теоретических исследований были использованы методы аналитической механики, численные методы решения систем нелинейных уравнений и разнообразные методы математического моделирования. Экспериментальные исследования на модификациях специально созданного полноразмер-

НБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1085802

Беляков В.В. Методика рас



ного ходового макета и стендах с использованием разнообразных измерительных средств.

Достоверность полученных результатов обеспечивалась:

- применением при теоретических и экспериментальных исследованиях обоснованных допущений;
- проверкой результатов теоретических исследований, в полевых условиях при экспериментальных исследованиях на полноразмерном ходовом макете ГПИ-390I и его модификациях;
- применением средств измерений, прошедших соответствующую метрологическую проверку и аттестацию.

Научная новизна. Разработана математическая модель взаимодействия многоосной колесной машины со снежным полотном пути с использованием уравнений взаимосвязи параметров снега и с учетом режимов работы колесного двигателя.

Рассмотрены процессы, связанные с экскавационно-бульдозерным перемещением снега колесами машины из зоны контакта в межколесную область.

Проведен сравнительный анализ проходимости по снегу машин с различными параметрами колесных двигателей и при использовании различных средств повышения проходимости.

Практическая ценность работы состоит в следующем:

- на основе обработки экспериментальных данных, полученных в ОНИЛВМ более чем за 25-летний период исследований деформационных свойств снега, разработаны эмпирические зависимости, связывающие физико-механические свойства снега и его плотности;
- получены зависимости для учета взаимовлияния колес двигателя, которое связано с разрушением снежного покрова и переноса снега из зоны контакта в межколесную область при заданных кинематических режимах движения (учет экскавационно-бульдозерных эффектов);
- предложены методы расчета и оценки проходимости полноприводных многоосных колесных машин, которые позволяют при выборе конструкции двигателя определить его мобильные характеристики, наметить пути их повышения, а также обосновать применение того или иного типа средств повышения проходимости;
- разработанные стенды, измерительное оборудование и методики проведения лабораторных и полевых исследований позволяют наиболее полно и с достаточной степенью точности произвести исследования взаимодействия колеса со снежным полотном пути, а

также ускорить конструктивное адаптирование колесных движителей реальных машин к использованию для передвижения по снегу и сократить затраты на разработку новых конструкций движителей.

Реализация работы. Результаты экспериментально-теоретических исследований по теме диссертации внедрены в п/я А-7701, использованы при проведении НИОКР в ОННЛВМ для объединения ГАЗ, а также внедрены в учебный процесс кафедры "Автомобили и тракторы" Нижегородского политехнического института.

Апробация работы. Отдельные результаты и основные положения на региональных научно-технических конференциях "Повышение эффективности проектирования, испытаний и эксплуатации автомобилей" (Горький, 1986, 1987, 1988 гг.); на седьмой научно-технической конференции молодых ученых Волго-Вятского региона (Горький, 1987 г.); на Всесоюзной научно-технической конференции "Повышение надежности и экологических показателей автомобильных двигателей" (Горький, 1990 г.); на совместном заседании кафедры "Автомобили и тракторы" ГПИ и НТС ОННЛВМ (Горький-Нижний Новгород, 1984 - 1991 гг.).

Публикации. По теме диссертации задепонировано 4 работы, опубликовано 6 тезисов докладов на конференциях, выпущено 4 отчета по НИР.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка литературы из III наименований и четырех приложений. Работа изложена на 130 страницах машинописного текста, содержит 69 рисунков, 25 таблиц и 4 приложения на 59 страницах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дана характеристика актуальности темы, новизны и практической полезности работы, ее реализация, апробация и структура.

Первая глава включает обзор работ в области теории взаимодействия колесного движителя с деформируемым полотном пути и анализ этих теорий с точки зрения применимости к описанию процесса работы колес автомобиля на заснеженных поверхностях движения.

Рассматривая общие положения теории взаимодействия колесного движителя с деформируемым полотном пути, можно выделить пять основных разделов: физико-механические свойства материала полотна пути; механические свойства колес движителя; аппрокси-

мация контактной поверхности колеса с полотном пути; образование колеи; формирование сопротивления движению и тягового усилия. Эти разделы применительно к грунтам достаточно хорошо разработаны как отечественными (Я.С.Агейкин, Д.А.Антонов, В.И.Баловнев, А.К.Бируля, В.П.Бойков, В.Ф.Бобков, Б.Л.Бухин, Ю.А.Брянский, В.Л.Бидерман, В.П.Горячкин, А.А.Хачатуров, Н.А.Левин, А.Л.Кемурджиан, А.Ю.Ишлинский, Н.Ф.Кошарный, М.И.Летошнев, А.Л.Маршак, В.Н.Наумов, Ю.Л.Рождественский, В.А.Петрушов, В.И.Кнороз, Г.А.Смирнов, В.В.Гуськов, Н.А.Ульянов, Ф.Г.Ульянов, Е.А.Чудаков, В.В.Кацигин, М.П.Чистов и многие другие), так и зарубежными (М.Беккер, Дж.Вонг, А.Рис и др.) авторами. Однако применительно к снегу этими вопросами занимался небольшой круг исследователей. Среди них следует особо выделить следующих: А.А.Кржиwickий, Н.Г.Ефимов, А.К.Донин, В.П.Кароль, П.П.Кузьмин, В.А.Малыгин, С.В.Рукавишников, Л.Г.Барахтанов, В.И.Панов. В основном, указанные авторы прорабатывали вопросы взаимодействия со снегом гусеничных движителей и лыжных.

Анализом известных работ установлено: недостаточная изученность процесса взаимодействия колесного движителя со снежным полотном пути; невозможность непосредственного использования разработанных для грунтов и шин расчетных формул применительно к работе колеса на снегу; отсутствие расчетных зависимостей для полного учета влияния на сопротивление и тягу экскавационно-бульдозерных эффектов как в зоне контакта колес со снегом, так и в межколесной области.

В соответствии с поставленной целью и проведенным анализом состояния вопроса были определены следующие основные задачи данной работы:

- обоснование процессов, происходящих в снеге при взаимодействии с ним колесного движителя и получение расчетных зависимостей для определения физико-механических свойств снега в зоне контакта колеса со снежным полотном пути и в межколесных областях, а также получение расчетных зависимостей для определения сопротивления снега сжатию и сдвигу применительно к колесному движителю;

- разработка математической модели взаимодействия колесного движителя со снежным полотном пути;

- разработка алгоритмов, вычислительных программ и методик расчета силы тяги, сопротивления движению и проходимости колесных машин по снегу;

- исследование влияния конструктивных параметров и обоснование путей повышения проходимости колесных машин;

- экспериментальная проверка теоретических разработок, методик расчетов, методов и средств повышения проходимости колесных машин;

- практическая реализация результатов исследований при создании новых и совершенствовании существующих конструкций колесных машин.

Во второй главе изложены теоретические предпосылки и разработана математическая модель взаимодействия колесного движителя со снегом и проходимости полноприводных автомобилей по снежной целине.

Составными элементами модели являются: схема колесного движителя и машины; квазистатические уравнения движения колесной машины и система уравнений связей; алгоритм решения и программная реализация математической модели на ЦЭВМ. В качестве входных параметров для модели принято три группы исходных величин: параметры машины; параметры колеса; исходные параметры состояния снега в недеформированном виде. Ввиду того, что исследования проходимости колесных машин основаны на изучении процесса взаимодействия колесного движителя со снегом, целесообразно систему уравнений движения машины представить в виде системы уравнений движения колес движителя и статического равновесия сил упругости шины реакций полотна пути:

$$G_{kij} - R_{ij} = 0,$$

$$G_{xij} - T_{ij} = 0,$$

$$M_{kij} - R_{ij} L_{kfij} - T_{ij} R_{kd,ij} = 0,$$

$$\int_{L_{k1}}^{L_{k2}} (G_{zr} - G_{zk})_{ij} dx = 0,$$

$$\int_{L_{k1}}^{L_{k2}} (G_{xr} - G_{xk})_{ij} dx = 0,$$

$$\int_{L_{k1}}^{L_{k2}} [(xG_{zr} - zG_{xr}) - (xG_{zk} + zG_{xk})]_{ij} dx = 0,$$

$$f_{ij} = (X_{ij}, Z_{ij}, \dot{X}_{ij}, \dot{Z}_{ij}, \lambda_{ij}) = 0,$$

где G_k, G_x, M_k - вертикальная, продольная силы и крутящий момент, приложенные к колесу; $G_{zr}, G_{xr}, G_{zk}, G_{xk}$ - проекции контактных напряжений на оси координат соответственно от дефор-

мации снега и шины; X, Z - текущие координаты точек контактной линии колеса со снегом; R_{kd}, L_{kf} - динамический радиус колеса и величина сноса результирующей реакций полотна пути; $i = 1, 2$ - число бортов машины; $j = 1, 2, \dots, N$ - число осей машины; R, T - вертикальная и продольная реакции полотна пути, которые рассчитываются по зависимостям:

$$R = B_k \int_{L_{k1}}^{L_{k2}} (\sigma_{nr} + \sigma_{tr} \operatorname{tg} \alpha_r) dx, \quad T = B_k \int_{L_{k1}}^{L_{k2}} (\sigma_{tr} - \sigma_{nr} \operatorname{tg} \alpha_r) dx,$$

L_{k1}, L_{k2} - координаты крайних точек контактной линии соответственно в зоне загрузки и разгрузки шины. Эти величины связаны уравнением $L_{k1,2} = [R_{k0}^2 - (R_{k0} - h_z - H_{k1,2})^2]^{1/2}$ с высотами контакта колеса с полотном пути, которые с учетом экскавационно-бульдозерных эффектов равны: $H_{kij} = h_{kij} + h_{k2ij} + h_{k1ij}$; $H_{k2ij} = h_{k2ij} + h_{k1ij}$, где R_{k0} - радиус колеса в недеформированном состоянии; h_{kr} - осадка колеса в снег от смятия; h_{kz} - осадка колеса от экскавации снега из зоны контакта; h_{kk} - высота дополнительного прироста контакта колеса с полотном пути, которая зависит от кинематики предшествующего колеса и наличия изового режима у рассматриваемого колеса и может быть определена выражением $h_{kij} = h_{k2ij} + h_{k1ij}$. Здесь h_{kz} - высота бульдозерно-вытесненного снега с межколесную область; h_{kv} - высота вынесенного снега в межколесную область из предшествующего колеса. Величина h_z - определяет деформацию шины в нижней точке контакта и рассчитывается по аппроксимационной зависимости:

$$h_z = K_{kor} \frac{P_w K_{ж}}{(P_w + P_0)(P_w + h_{ж})} G_k^{3/4} [1 - \exp(-R_{kk})],$$

где K_{kor} - коэффициент коррекции; $K_{ж}$ - коэффициент жесткости снега; P_w - давление воздуха шины колеса; P_0 - давление, создаваемое каркасом шины; R_{kk} - радиус качения колеса, который определяет кинематический режим движения колеса и связан с коэффициентом буксования δ зависимостью: $R_{kk} = V_{kd} / \omega = (R_{k0} - h_z) \cdot (1 - \delta_0)$; V_{kd} - действительная поступательная скорость колеса; ω - угловая скорость колеса.

Величина нормальных контактных напряжений σ_{nr} рассчитывается по зависимости, которая представляет собой модифицированный, применительно к колесу, аналог формулы Малыгина $\sigma_{nr} = A_c L_{nr} (B_c - L_{nr})^{-1}$, где A_c, B_c - коэффициенты, рассчитанные по эмпирическим формулам: $A_c = 0,735 K_{ж} B_c$, $B_c = H_r \cos(\alpha_r) (\eta_y B_k + d_c) / (B_k + d)$, $\eta_y = 0,3 / (\rho_p + 0,3)$, $d_c = 0,0287 [H_r \cos(\alpha_r)]^{3/2}$, L_{nr} - деформация снега по нормали; B_k - ширина колеи; α_r -

угол, определяющий направления действия напряжений; ρ_p - рабочее значение плотности снега для его расчета, на основе экспериментальных данных получена зависимость $\rho_p = \frac{b_j \rho_0 H_r}{(H_r - Z_r)^2}$; b_j - эмпирический коэффициент; Z_r - вертикальная деформация снега; H_r - толщина снежного покрова; ρ_0 - плотность снега в исходном состоянии. Для расчета тангенциальных контактных напряжений используется следующая гипотеза $\sigma_{\tau r} = \sigma_{\tau p} + \sigma_{сд}$, где $\sigma_{\tau p}$ - контактные напряжения от трения выступов грунтозацепов о снег; $\sigma_{сд}$ - контактные напряжения от сдвига снега по упорным поверхностям грунтозацепов. Для расчета этих величин используются зависимости:

$$\sigma_{\tau p} = \frac{V_n}{|V_n|} |\varphi_{pr} K_n \sigma_{\tau r} \exp(-|L_{\tau r} K_{\tau p} / l_{rp}|)|;$$

$$\sigma_{сд} = (1 - K_n) [C_0 \nu + \sigma_{\tau r} \operatorname{tg} \varphi_0] \cos(\beta_{rp}) \exp(-|L_{\tau r} K_{сд} / l_{rp}|),$$

где V_n - скорость проскальзывания произвольной точки контакта (ПТК) колеса со снегом; φ_{pr} - коэффициент трения резины о снег; K_n - коэффициент насыщенности протектора шины; l_{rp} - шаг грунтозацепов; β_{rp} - угол наклона средней линии грунтозацепа к меридиональной линии шины; $L_{\tau r}$ - тангенциальная деформация снега; $K_{\tau p}$ - динамический коэффициент трения; $K_{сд}$ - динамический коэффициент сдвига; ν - коэффициент учета шага грунтозацепов. Для вычисления последних трех величин используются зависимости:

$$K_{\tau p} = 0,05 \varphi_{pr} \delta_r, K_{сд} = 0,005 \left(\frac{C_0}{\sigma_{\tau r}} + \operatorname{tg} \varphi_0 \right) \delta_r, \nu = 1 - \frac{l_{rp}}{l_{rp}},$$

где δ_r - коэффициент буксования ПТК.

Для определения параметров состояния снежного покрова при последовательном прохождении колес и любой ПТК вдоль линии взаимодействия колеса с материалом полотна пути на основе большого экспериментального материала для снега с влажностью меньше 12%, температуре окружающего воздуха от $-5...-25^\circ\text{C}$, разработаны эмпирические аппроксимационные зависимости:

$$K_x = \exp\left(\sum_{k=0}^5 d_k \rho_p^k\right), C_0 = \exp\left(\sum_{k=0}^5 t_k \rho_p^k\right), \operatorname{tg} \varphi_0 = \operatorname{tg} \sum_{k=0}^5 m_k \rho_p^k,$$

где C_0 - связность снега; $\operatorname{tg} \varphi_0$ - коэффициент внутреннего трения снега; d_k , t_k , m_k - эмпирические коэффициенты.

Проведенные экспериментально-теоретические исследования показали, что оценить проходимость колесных машин по снегу целесообразно по запасу силы тяги ΔP_φ , что является условием проходимости, а за показатель проходимости принимается максимально-

возможная высота преодолеваемого снежного покрова. Запас силы тяги определяется $\Delta P_{\varphi} = P_{\varphi} - \sum_{k=1}^n P_{fk}$, где P_{φ} - обобщенная сила тяги; $\sum_{k=1}^n P_{fk}$ - суммарная сила сопротивления движению. Для расчета последней используется выражение:

$$\sum_{k=1}^n P_{fk} = P_{fr} + P_{fzb} + P_{fx} + P_{fd} + P_{fkr} + P_{fw} + \dots + P_{fn-1} + P_{fn},$$

где P_{fr} - сила сопротивления движению от смятия снега колесами

$P_{fr} = \sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^N (R_{ij} L_{kij} / R_{kaij})$ или с учетом разработок, проведенных Л. В. Варахтановым

$$P_{fr} = 2NB_k \gamma_c h_{max}^2 \left[\ln \frac{\gamma_c h_{max}}{\gamma_c h_{max} - \sigma_{max}} - \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{max} + \gamma_c h_{max}} \right];$$

P_{fzb} - сила сопротивления от экскавационно-бульдозерных эффектов

$$P_{fzb} = \sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^N B_{kij} \gamma_c h_{max}^2 \left\{ \ln \left[1 + \frac{h_{kij}}{h_{max}} \left(1 + \frac{\sigma_{max}}{\gamma_c h_{max}} \right) \right] - \frac{h_{kij}}{h_{max}} \right\};$$

P_{fdn} - сила сопротивления движению от посадки машины на днище

$$P_{fdn} = (C_0 + \sigma_{ant} g \varphi_0) S_{ан} + B_{ан} \int_{S_{ан}}^{\sigma_{ан}} \sigma_{ан} dh.$$

P_{fw} - сила сопротивления движению от преодолеваемого подъема;

P_{fkr} - крутяковая нагрузка; P_{fw} - гистерезисные потери при деформации шины; P_{fw} - сопротивление преодолеваемой воздушной среды. Последние величины легко находятся по известным формулам, используемым в теории автомобиля. В приведенных выше формулах величины: σ_{max} - максимальное (пиковое) контактное напряжение под колесами; γ_c - коэффициент начальной жесткости снега; h_{max} - коэффициент, характеризующий максимальную величину деформации снега; $\sigma_{ан}$ - давление днища на снег; $B_{ан}$, $S_{ан}$ - ширина и площадь днища; $h_{ан}$ - глубина осадки днища в снег,

Тяговое усилие находится по зависимости:

$$P_{\varphi} = \sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^N B_{kij} \int_{L_{k1}}^{L_{k2}} \sigma_{\tau ij} \cos \alpha_{\tau ij} dX.$$

В третьей главе приведены результаты экспериментально-теоретических исследований взаимодействия колес движителя со снегом.

Проведено экспериментально-теоретическое исследование процесса образования колеи эластичным колесным движителем при взаимодействии его со снежным полотном пути с учетом экскавационно-бульдозерных эффектов. С ростом проскальзывания колес растут экскавационно-бульдозерные составляющие высот контакта, соответственно возрастает сопротивление движению, которое в свою оче-

редь, обуславливает рост проскальзывания.

Определена связь между показателем кинематического режима (радиус качения или коэффициент буксования) и энергетическими затратами на движение. На рис. 1 приведена эта зависимость, рассчитанная для одного борта полноразмерного ходового макета ГПИ-3901 (8×8 , $G_A = 85000$ Н, шины И-II2, $P_w = 0,05$ МПа) и снега с параметрами $k_k = 0,375 \cdot 10^5 \dots 0,620 \cdot 10^5$ Па/м, $C_0 = 750 \dots 1500$ Па, $\varphi_0 = 0,25 \dots 0,38$ рад, $\rho_0 = 0,25 \dots 0,35$ г/см³, $H_r = 0,3 \dots 0,75$ м. Точками на графике нанесены экспериментальные данные.

Установлено, что максимальную долю до 50% затрат на сопротивление движению связывают с работой первого колеса, а экскавационно-бульдозерные эффекты, в целом по движителю, увеличивают, энергозатраты на передвижение - на 30...40%.

Раскрыто влияние кинематического режима работы движителя на формирование опорных реакций. Показано изменение контактных напряжений по длине зоны взаимодействия со снегом в зависимости от скорости проскальзывания элементов поверхности шины.

Проведена проверка достоверности экспериментальных данных и адекватности математической модели объекту исследований. Установлено, что модель в среднем дает достаточно хорошую сходимость оцениваемую в 15...30%.

В четвертой главе приведены результаты экспериментально-теоретических исследований проходимости полноприводных колесных машин по снегу.

В результате проведенных расчетно-теоретических и экспериментальных исследований установлено, что в среднем сопротивление движению распределено следующим образом: сопротивление от смятия - 64...70%; экскавационно-бульдозерное сопротивление - 29...34%, прочие факторы - 1...2%. Это наглядно показано на рис. 2.

Установлено, что при любом самом рациональном сочетании конструкционных параметров колесного движителя и автомобиля в целом невозможно добиться проходимости колесных машин по снегу, глубина которого в среднем превышает радиус колеса.

Сформулирована и решена задача применения технических средств повышения проходимости. Теоретические результаты представлены на рис. 3, а экспериментальные в табл. I.

Наряду с выше перечисленными в табл. I экспериментальным исследованиям подвергались: широкопрофильные шины; плечевые це-

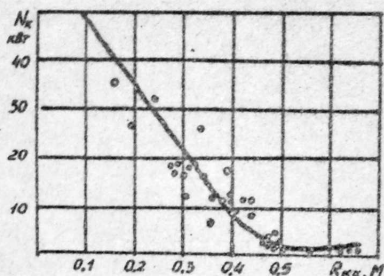


Рис. 1. Зависимость затрат мощности на передвижение от радиуса качения

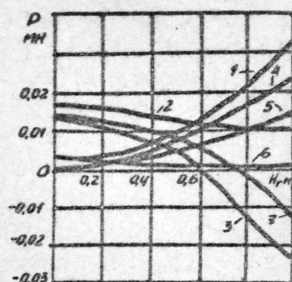


Рис. 2. Сопротивление движению колесной машины по снегу: 1-суммарное сопротивление ΣP_k ; 2-сила тяги P_{tr} ; 3-запас силы тяги ΔP_{tr} ; 4-сопротивление от смятия снега P_{fr} ; 5-экскавационное; 6-бульдозерное сопротивление P_{fz} ; 6-сопротивление воздушной среды P_{fw} ; 7-запас силы тяги без учета P_{fz}

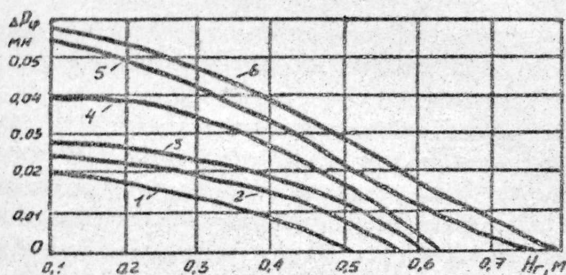


Рис. 3. Запас силы тяги от глубины снежного покрова для колесного движителя 8x8 оснащенного различными средствами повышения проходимости: 1- 8x8 одиночные И-ИИ2 $P_w = 0,25$ МПа; 2- 8x8 одиночные И-ИИ2 $P_w = 0,05$ МПа; 3- 8x8 сдвоенные И-ИИ2 $P_w = 0,15$ МПа; 4- 8x8 дискретные уширители /14 элем./ $P_w = 0,05$ МПа; 5- 8x8 ленточные уширители $P_w = 0,25$ МПа; 6- 8x8 гусеница $P_w = 0,15$ МПа.

Таблица I

Запас силы тяги (кН)

Вид движителя и давление воздуха	Глубина снежного покрова, м			
	0,0-0,2	0,2-0,4	0,4-0,6	0,6-0,8
8x8 одиночные шины $P_n = 0,25$ МПа	8,15	5,0	1,40	П-П*
8x8 одиночные шины $P_n = 0,05$ МПа	24,0	21,9	14,8	П-П
8x8 сдвоенные шины $P_n = 0,05$ МПа	-	14,8		П-П
8x8 дискретные уширители (14 эл) $P_n = 0,05$ МПа	-	26,7		П-П
8x8 ленточные уширители $P_n = 0,25$ МПа	-		33,15	
Гусеничный движитель		36,8		

*П-П - потеря проходимости.

льнометаллические звенчатые, которые надеваются на колеса движителя; опорные площадки циклического действия. Краткие сведения по результатам применения средств повышения проходимости сформулированы в седьмом пункте общих выводов.

В приложении изложено описание и техническая характеристика полноразмерного ходового макета ГИМ-3901, описание приборов и оборудования для исследований, а также программа-методика экспериментальных исследований.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Разработана методика расчета проходимости многоосных колесных машин по снегу на основе экспериментально-теоретических исследований, которая позволяет оценить проходимость серийных машин, провести их сравнение и прогнозировать проходимость при проектировании новых и модернизации существующих конструкций. Проведен анализ путей повышения проходимости многоосных машин по снежной целине.

2. Установлены закономерности формирования физико-механи-

ческих свойств снега в системе "колесная машина—снежное полотно пути". При этом получены уравнения взаимосвязи параметров снежного покрова, на основе которых разработана методика расчета контактных напряжений с учетом изменения свойств снега как по длине зоны взаимодействия колеса, так и в результате последовательных проходов колес движителя.

3. Разработана методика расчета высот контакта колес движителя со снегом с учетом экскавационно-бульдозерных эффектов, обусловленных проскальзыванием шин относительно полотна пути. Установлено, что фрикционное вытеснение снега из зоны контакта составляет 10...15% от экскавационно-бульдозерного выноса снежного покрова в межколесную область.

4. Создана математическая модель взаимодействия колесного движителя со снегом с учетом разрушения снежного покрова и переноса снега из зоны контакта в межколесную область в зависимости от кинематического режима работы колес машины. Разработаны алгоритм, вычислительные программы и методика расчета показателей проходимости.

5. В результате расчетно-теоретических и экспериментальных исследований существенно уточнена физическая картина и раскрыты особенности формирования силы тяги и сопротивления движению. Установлено, что при буксовании колес, соответствующем максимальному тяговому усилию, сопротивление движению на снежной целине формируется следующим образом: от смятия снега — 55...65%, экскавационно-бульдозерное сопротивление — 35...45%, прочие факторы до 5%. При этом максимальная доля до 50% затрат на сопротивление движению связана с работой первого колеса. Показано, что разработанный комплекс математического моделирования и методик расчетов дает достаточно достоверную качественную и количественную (10...25%) оценку параметров проходимости многоосных колесных машин по снегу.

6. Теоретическими и экспериментальными исследованиями доказано, что при любом самом рациональном сочетании конструктивных параметров колесного движителя и автомобиля в целом невозможно добиться существенного повышения проходимости колесных машин по снежной целине, глубина которой превышает 0,85...1,08 радиуса колеса. При этом нижняя граница справедлива для снегов с плотностью 0,15 г/см³, а верхняя — 0,30 г/см³.

7. Сформулирована и решена задача применения технических

средств повышения проходимости. Установка сдвоенных колес на машину не дала видимого повышения проходимости по сравнению с односкатным двигателем. Плицевые цепи противоскольжения целесообразно использовать на снегах с глубиной снежного покрова 0,05... 0,35 метра. Дискретные уширители с семью элементами на колесо не эффективны, а дискретные уширители с четырнадцатью элементами дали прирост на 20...25% по запасу силы тяги. Ленточные уширители колес обеспечили повышение проходимости на 32% по сравнению с обычным колесным двигателем. Звенчатая цельнометаллическая гусеница увеличивает показатель проходимости на 40% по сравнению с одиночным колесным двигателем. Упорные площадки циклического действия позволяют кратковременно преодолевать снежный покров глубиной более одного метра.

8. Теоретические разработки, методики расчетов, результаты экспериментальных исследований, технические предложения, практические рекомендации повышения проходимости многоосных колесных машин внедрены при создании новых и совершенствовании существующих конструкций в ОНИЛВМ, ВНИИТРАНСМАШ, Горьковском автомобильном заводе и в учебном процессе кафедры "Автомобили и тракторы" Нижегородского политехнического института.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. На снегах с толщиной слоя до половины диаметра колеса возможна эффективная эксплуатация колесных машин без применения специальных средств повышения проходимости. В этом случае целесообразно снижать давление воздуха в шинах, применять для оснащения двигателя широкопрофильные и арочные шины, а также пневмокотки. Использование сдвоенных колес на всех осях машины является малоэффективным конструкционным решением проходимости.

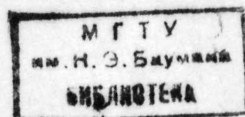
2. На снегах с толщиной слоя больше половины диаметра колеса проходимость машины возможна при оснащении двигателя специальными средствами повышения проходимости. По мере эффективности средства повышения проходимости распределяются следующим образом: цельнометаллические гусеницы, надеваемые на колесный двигатель; ленточные уширители; опорные площадки циклического действия. Малоэффективными для колесных машин оказались дискретные уширители колеса и плицевые цепи противоскольжения.

Основные положения диссертации отражены в следующих работах:

1. Беляков В.В. Исследование процесса взаимодействия эластичного колеса с деформируемым полотном пути с учетом экскавационных эффектов /Горьков. политехн. ин-т.- Горький, 1987.- 26 с.- Деп. в НИИНавтопроме 02.06.87, № 1541-ап87.
2. Беляков В.В. Процесс образования колеи движителем машины с учетом экскавационно-бульдозерных эффектов /Горьков. политехн. ин-т.- Горький, 1989.- 54 с.- Деп. в ЦНИИТЭИавтопроме 12.06.89, № 1897-ап89.
3. Беляков В.В., Козлов В.С. Экскавационно-бульдозерное взаимодействие колесного движителя с полотном пути /Горьков. политехн. ин-т.- Горький, 1989.- 41 с.- Деп. в ЦНИИТЭИстроймаше 19.03.90, № 23-сд90.
4. Беляков В.В., Масленников В.А., Козлов В.С., Курнев В.И. Экспериментальные исследования проходимости и управляемости колесных машин // Повышение эффективности проектирования и испытаний автомобилей: Тез.докл. региональной научно-техн. конф.- Горький, 1986.- С. 15.
5. Беляков В.В., Козлов В.С., Курнев В.И. Определение сопротивления движению многоосного полноприводного колесного движителя с учетом экскавационных эффектов // УП научн. конф. молодых ученых Волго-Вятского региона: Тез.докл.- Горький, 1987.- С. 68.
6. Беляков В.В. Расчет тягово-сцепных свойств полноприводных колесных машин при движении по снежной целине // Повышение эффективности проектирования и испытаний автомобилей: Тез.докл. региональной научн.-техн. конф.- Горький, 1987.- С. 10-11.
7. Беляков В.В., Малыгин В.А. К вопросу построения регрессионных уравнений связи параметров состояния снежного покрова // Повышение эффективности проектирования, испытаний, эксплуатации автомобилей и строительно-дорожных машин: Тез.докл. региональной научн.-техн. конф.- Горький, 1988.- С. 26.
8. Беляков В.В. Имитационное моделирование процесса взаимодействия колесного движителя с деформируемым полотном пути с учетом экскавационно-бульдозерных эффектов // Повышение надежности и экологических показателей автомобильных двигателей: Тез.докл. Всесоюзн. научн. конф.- Горький, 1990.- С. 69.
9. Беляков В.В., Барахтанов Л.В. Влияние конструктивных параметров колесного шасси на проходимость автомобиля по снежной целине // Повышение надежности и экологических показателей ав-

томобильных двигателей: Тез.докл. Всесоюзн.научн.-техн.конф.
Горький, 1990.- С. 70.

- Ю. Беляков В.В., Барахтанов Л.В. К вопросу выбора аппроксимационного уравнения для описания формы контактной линии взаимодействия колеса с полотном пути / Горьков.политехн. ин-т.- Горький, 1990.- 28 с.- Деп. в МАШИСТР 12.12.90, № 90-сд90.



Владимир Викторович Беляков

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подп. 30.03.92. Формат 60x84^I/16. Бумага оберт. Печать офсетная.
Уч.-изд. л. I, O. Тираж 100 экз. Заказ 60. Бесплатно.

Лаборатория офсетной печати ННПИ. 603022, ГСП-41, Н.Новгород,
.пр. Гагарина, I.

