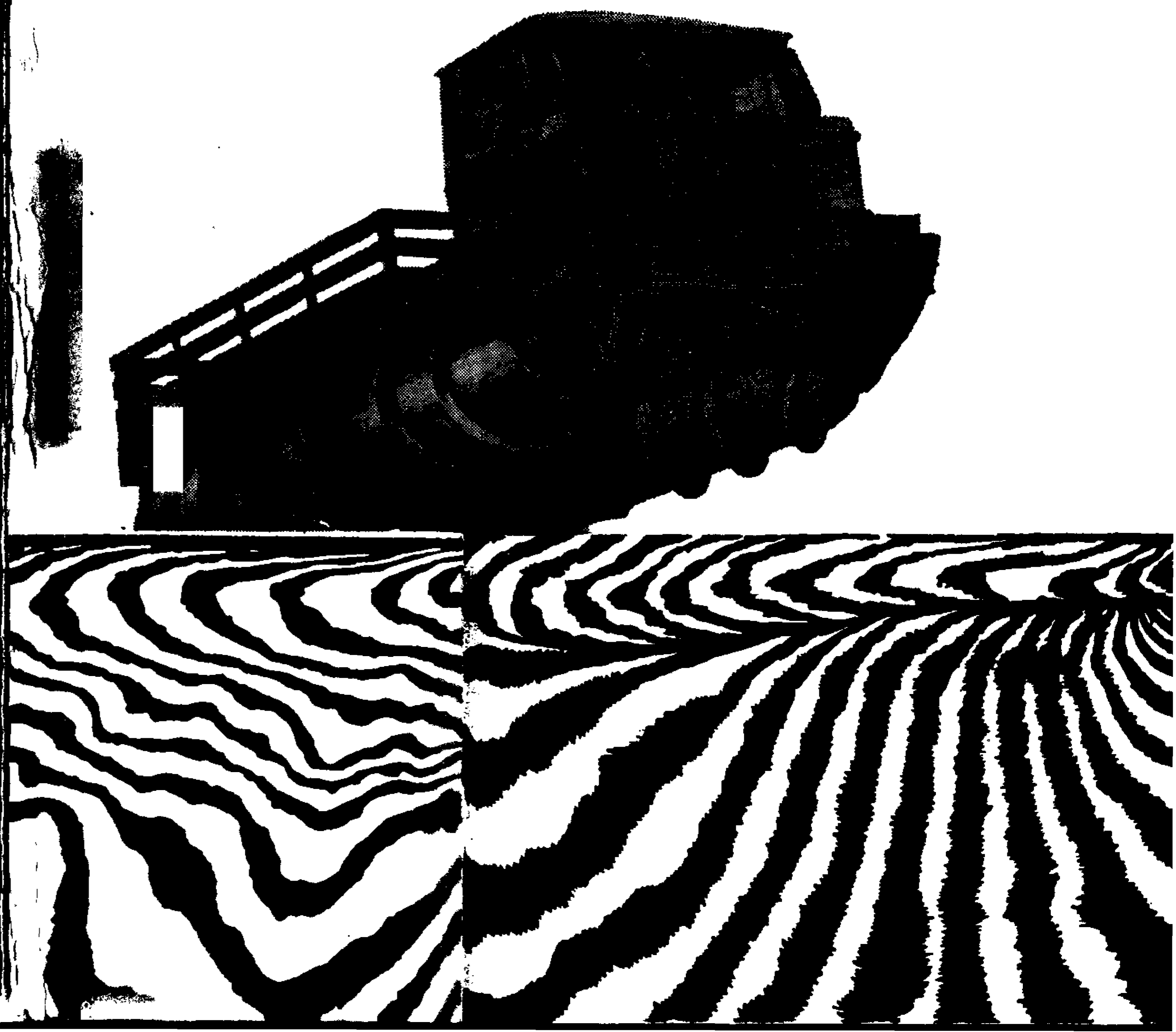


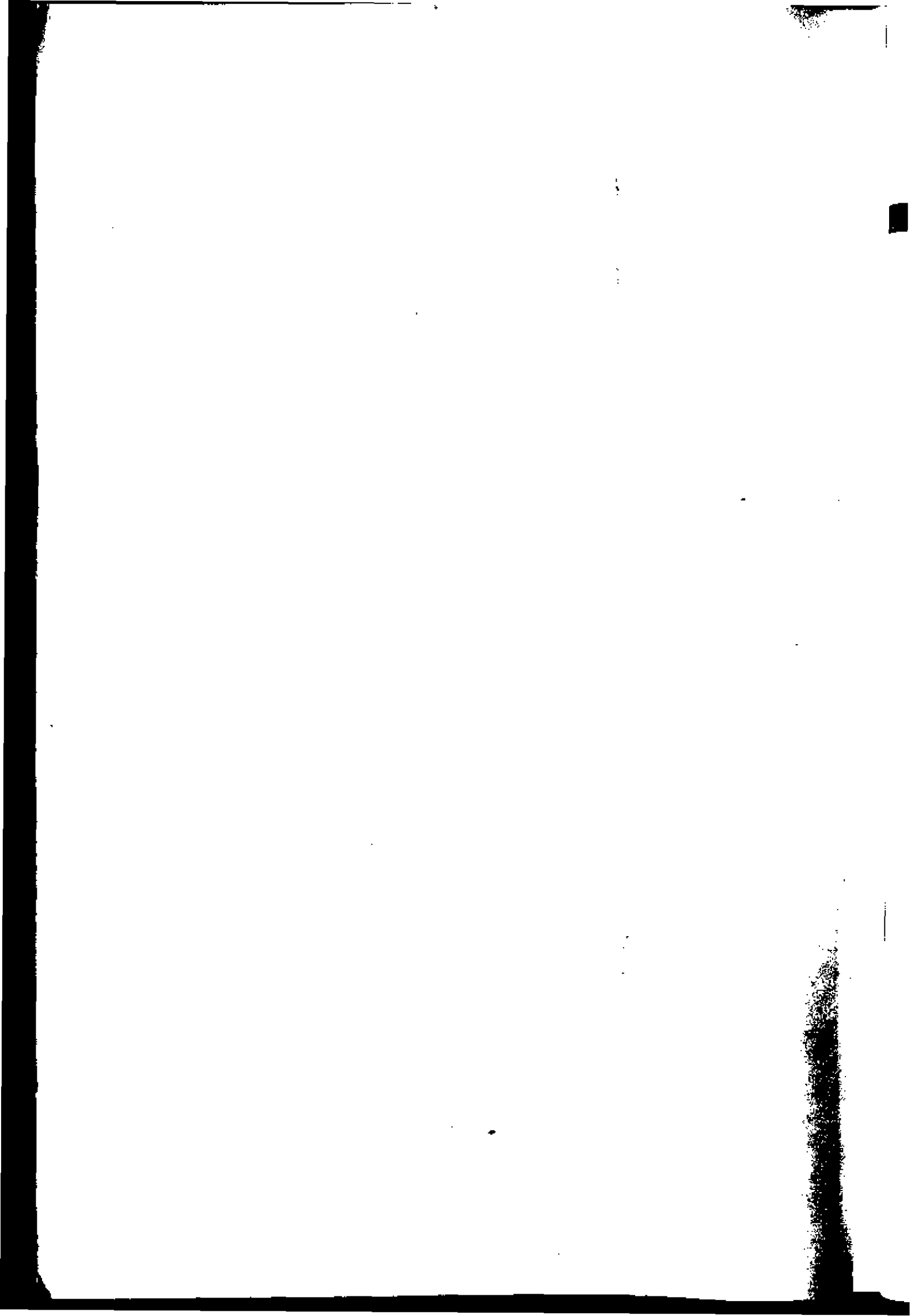
9 коп.

25

А. Ф. НИКОЛАЕВ
А. П. КУЛЯШОВ

РОТОРНО- ВИНТОВЫЕ АМФИБИИ





ГОРЬКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
им. А. А. ЖДАНОВА

А. Ф. Николаев,
А. П. Куляшов



РОТОРНО- ВИНТОВЫЕ АМФИБИИ



Горький

Волго-Вятское
книжное издательство
1973

Основным двигателем транспортных средств для бездорожья является гусеничный. Однако в некоторых грунтовых условиях — глубокий снег, неосушенное болото, залитые рисовые поля, ледоход — гусеничные машины мало эффективны. Поэтому конструктивный поиск надежного двигателя идет в двух направлениях: совершенствование гусеничного двигателя и создание принципиально новых видов — шагающего, фрикционного, типа «Ротопед», «Аэрол» и т. д. Одним из перспективных является роторно-винтовой, испытания которого на переувлажненных грунтах, на льду, на снегу были достаточно успешными.

Авторы этой брошюры — доктор технических наук, профессор Горьковского политехнического института лауреат Государственной премии А. Ф. Николаев и кандидат технических наук А. П. Куляшов характеризуют конструкции отечественных и зарубежных роторно-винтовых машин, некоторые результаты испытаний, особенности движения по грунту и воде, рассказывают о выборе основных конструктивных параметров роторно-винтового двигателя и перспективах его совершенствования.

© Волго-Вятское книжное издательство, 1973.

Н 03183—083
М140(03)—73

Вездеходу нет преград

В эпоху юности человечества было изобретено колесо, которое мы в настоящее время воспринимаем как неотъемлемую часть современных транспортных аппаратов — автомобилей, мотоциклов, электровозов и т. д., одним словом, с момента своего появления колесо было предназначено для передвижения.

Долгое время колесные средства оставались единственными в системе сухопутного транспорта.

Однако такой весьма существенный недостаток колесных машин, как ограниченная способность передвигаться по бездорожью и грунтам со слабой несущей способностью, послужил причиной возникновения других типов движителей, из которых наибольшее распространение получил гусеничный движитель. Впервые в массовом масштабе он был применен перед первой мировой войной на тракторах, а впоследствии использован на целом ряде других машин.

Но оказалось, что и гусеничные машины не обеспечивают надежного передвижения в некоторых грунтовых условиях — сильно переувлажненные болотистые участки, глубокий снег, а также водные преграды, особенно в период ледохода, когда проходимость гусеничных машин весьма ограничена. Что же такое проходимость?

Проходимость, или вездеходность, транспортного средства — это способность его безостановочно и по возможности быстро двигаться по плохим дорогам и в условиях бездорожья.

Проходимость в основном определяется тягово-сцепными и конструктивными параметрами транспортного средства. Кроме того, на проходимость влияет маневренность, устойчивость движения, качество подвески и плавность хода, а в некоторых случаях и возможность транспортного средства преодолевать особые препятствия (например, водные). Улучшение проходи-

мости имеет большое народнохозяйственное значение, так как в сложных условиях бездорожья производительность транспортного средства определяется, главным образом, степенью его вездеходности.

Поиск эффективного универсального двигателя для вездеходных машин идет по двум путям: усовершенствованию гусеничного двигателя и созданию вездеходов с другими типами двигателей. Так, например, в Чехословакии построена машина с двигателем «Ротопед», в США изготовлен вездеход с двигателем типа «Аэрол», во многих странах, в частности и в Советском Союзе, ведутся разработки машин с шагающим типом двигателя, машин, у которых в качестве двигателя используются колеса эллиптической, ромбовидной формы, и т. д. Все эти вездеходные машины имеют ряд положительных качеств, однако низкие работоспособность, надежность, долговечность, несовершенство конструкции свидетельствуют о том, что говорить о серийном их выпуске пока преждевременно.

Одним из перспективных двигателей для вездеходных машин-амфибий является роторно-винтовой (РВД). Вездеход на роторно-винтовом двигателе свободно преодолевает непроходимые болотистые участки, легко движется по илистому грунту, по глубокому снегу, плавает по воде со скоростью, недоступной для колесных и гусеничных плавающих машин. Поэтому в нашей стране, а также за рубежом (в США, Англии, Японии, Польше, Голландии) исследуют роторно-винтовой двигатель с целью использования его в качестве универсального двигателя для вездеходных машин, которые должны обладать особенно высокой проходимостью.

Универсальность РВД состоит в том, что, сочетая в себе качества гидравлического и сухопутного двигателей, они могут с достаточной эффективностью работать на сильно переувлажненных грунтах. Используют роторно-винтовой двигатель на машинах различного назначения — дорожностроительных, сельскохозяйственных, военных и т. д. Так, например, в Горьковском политехническом институте ставят РВД на тяжелых и мощных ледорезных машинах и на легких снегоболотоходах. В США — на военных бронетранспортерах для передвижения по болотам и залитым водой полям. В Польше поставили РВД на специальный тягач, пере-

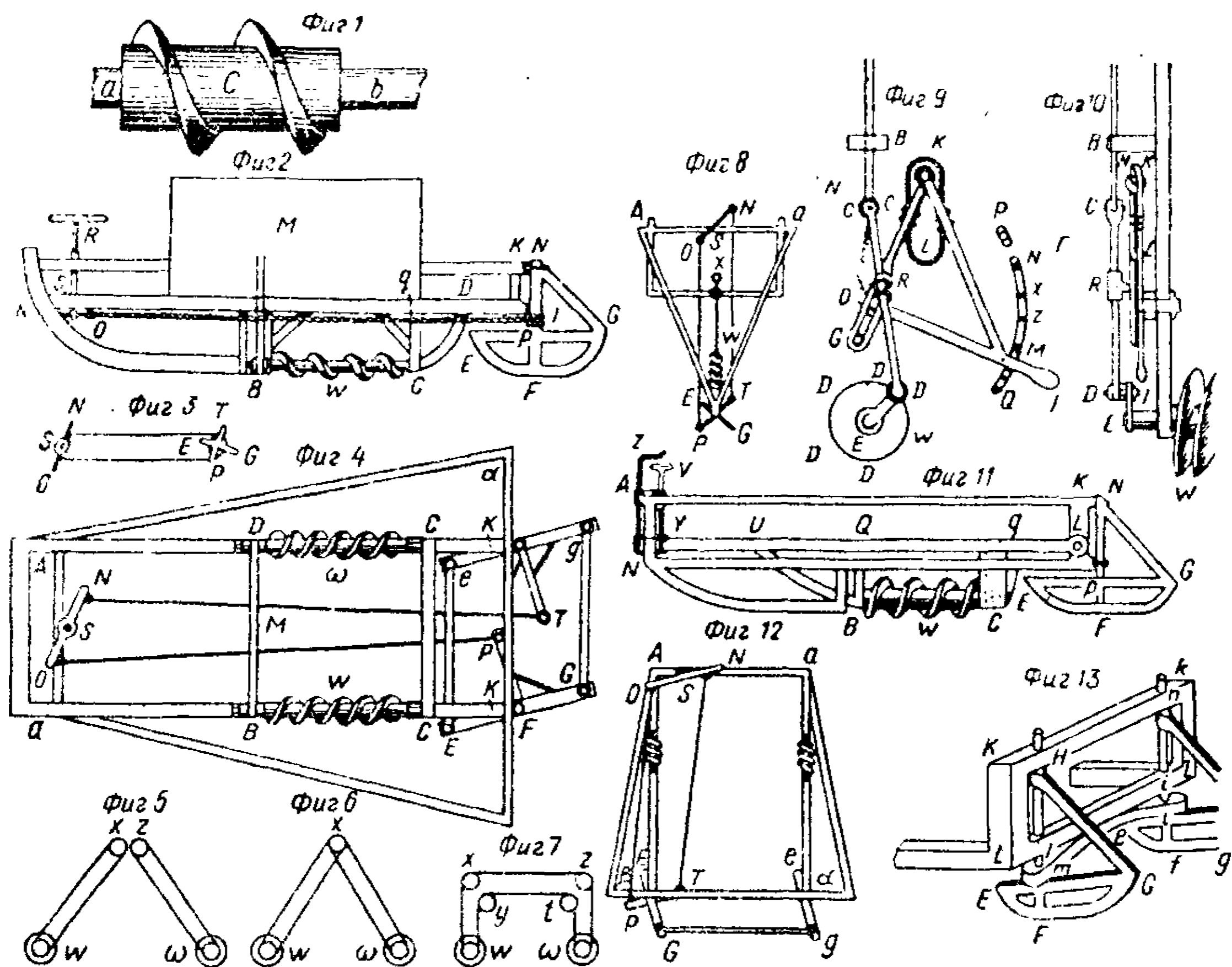


Рис. 1. Мотосани Ф. Дергивта

двигающийся по толстому слою ила и предназначенный для известкования дна водоемов рыбных хозяйств после спуска из них воды.

Принцип движения на роторно-винтовом движителе имеет много достоинств, однако нельзя считать, что машины на РВД будут тем универсальным средством передвижения, которое заменит все остальные. Они только восполняют пробелы в проблеме всеобщности и расширяют возможности успешной работы человека в труднопроходимых районах земли.

Несколько страничек истории

Идея использования роторно-винтового движителя для передвижения по земле и воде не новая. Впервые такой движитель применил Дж. Стивенс. В 1804 г. он построил пароход с роторно-винтовым движителем и испытал его на Северной реке в Нью-Йорке.

Позднее, в 1900 г., русскому изобретателю Ф. Дергивту был выдан патент на моторные сани, приводи-

В последующие годы (1939—1950) вопросами создания и исследования машин на роторно-винтовых двигателях практически не занимались ни в СССР, ни за рубежом.

В 1950 г. в Гренландии был испытан модифицированный транспортер «Weasel», предназначенный для армии США, на котором вместо гусеничного двигателя был установлен роторно-винтовой.

В 1957 г. на промышленной выставке в Ганновере демонстрировалась роторно-винтовая амфибия, которая была изготовлена одной из западногерманских фирм.

Первым теоретическим и экспериментальным исследованием считают работу доктора В. Н. Cole, результаты которой были опубликованы в 1960 г. в Англии в трудах Бирмингемского университета. Исследования проводились с целью изучения возможностей роторно-винтового двигателя как универсального средства для передвижения вездеходов-амфибий по суше и воде. Задачей исследований являлись приближенное аналитическое определение тягово-сцепных характеристик двигателя в двух граничных по эксплуатационным условиям средах — на уплотненном сыром песке и воде, экспериментальные исследования самоходной модели

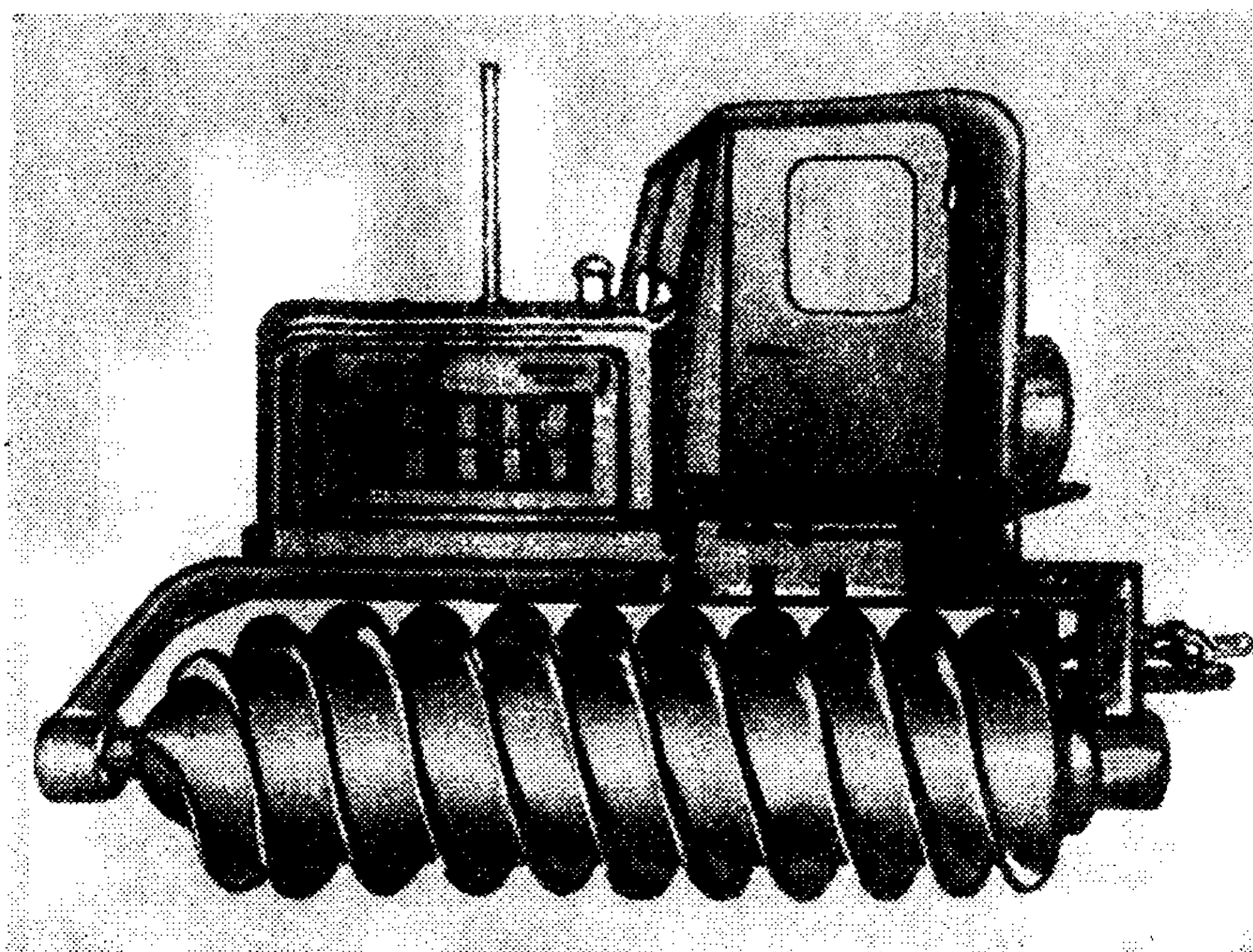


Рис. 3. «Болотоход»

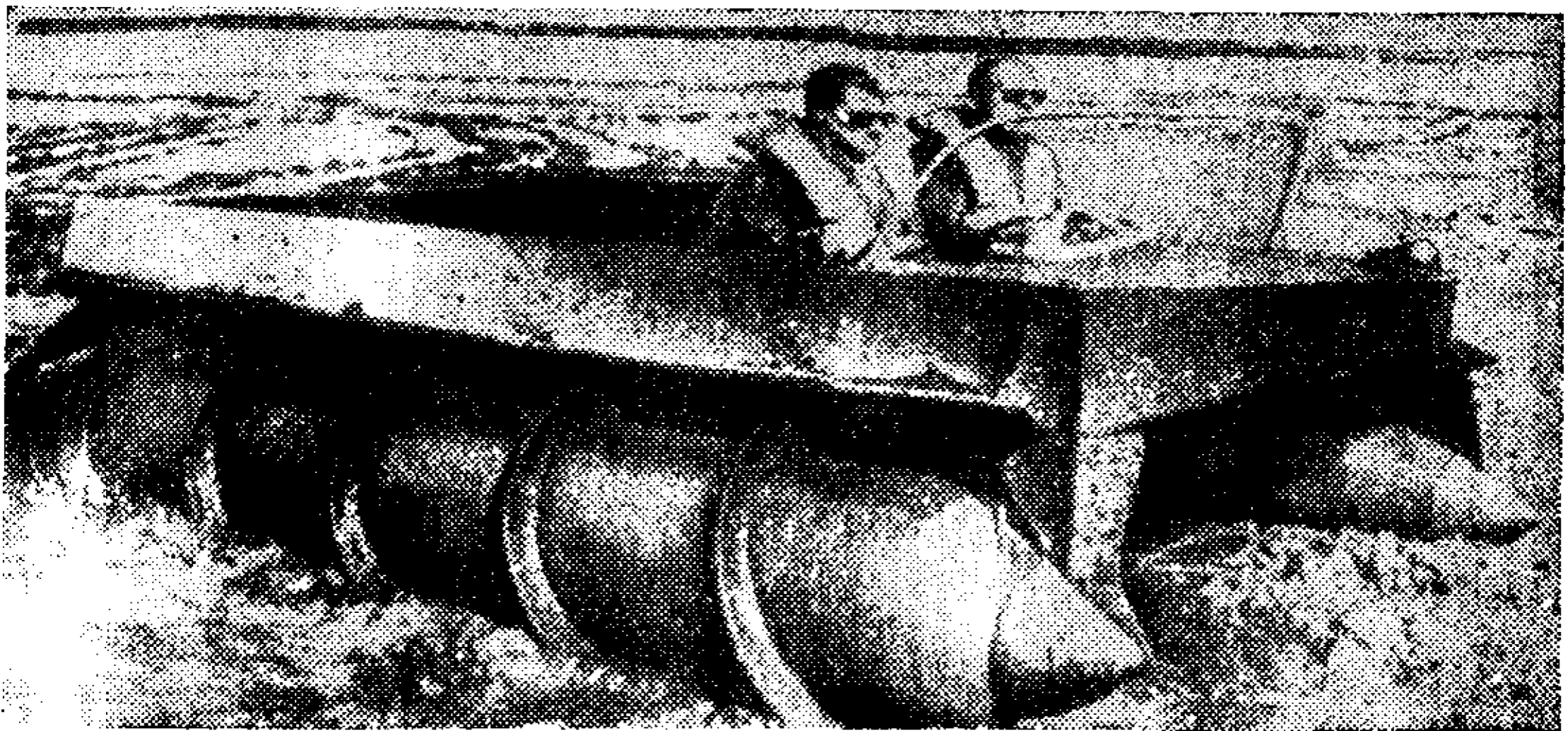


Рис. 4. Болотоход фирмы «Крайслер»

при движении по песку, швартовые испытания модели с различными типоразмерами роторно-винтового движителя.

В результате исследований были предложены формулы необходимой мощности, крутящего момента, упора (тягового усилия на воде) движителя, а также сделан ряд выводов о влиянии конструктивных параметров РВД на затраты мощности, на величину тягового усилия и т. д.

В соответствии с рекомендациями, изложенными в работе В. N. Cole, после ограниченной программы модельных испытаний фирма «Крайслер» в 1961 г. изготовила первую «болотную амфибию» — «Marsh Screw Amphibian» с целью повышения мобильности армейских подразделений в условиях заболоченных джунглей и залитых водой рисовых полей.

Для проведения расширенной программы исследований роторно-винтовых вездеходов фирмой «Крайслер» были заключены контракты с рядом научно-исследовательских лабораторий Мичиганского университета и Технологического института имени Дж. Стивенса.

В лаборатории Мичиганского университета были проведены испытания в бассейне с серией моделей роторно-винтового движителя для определения влияния конструктивных параметров РВД — высоты винтовой лопасти, угла подъема винтовой лопасти, длины и диаметра — на гидродинамические качества его.

В лаборатории Технологического института были проведены аналогичные исследования, но на грунтах — песке и иле.

В результате исследований выявили ряд зависимостей тягово-сцепных качеств движителя от положения центра тяжести, буксования, конструктивных параметров и физико-механических свойств грунта.

В 1967 г. были опубликованы материалы исследований, проводимых польским ученым А. Солтынским в Варшавском институте механизации и электрификации сельского хозяйства. Рассматривались вопросы теоретического и экспериментального характера, связанные с созданием роторно-винтового тягача, предназначенного для нужд рыбных хозяйств. В этих хозяйствах есть водоемы большой площади (160 га), в которых осенью после спуска воды возникает необходимость известкования дна, покрытого слоем полужидкого ила толщиной до одного метра и более.

Передвижение других средств в таких условиях практически невозможно. Но до практического применения работы в этом институте доведены не были.

В Горьковском политехническом институте им. А. А. Жданова с 1964 г. под руководством д. т. н. А. Ф. Николаева проводится исследовательская работа по созданию машин на роторно-винтовом движителе. Исследования проводятся, в основном, в двух направлениях — создание легких транспортных роторно-винтовых вездеходов и создание базовых рабочих машин различного назначения (ледорезные, мелиоративные, полярные и т. д.).

Исследованию легких снегоболотоходов на РВД посвящена работа инж. В. И. Вологодина; разработка и исследование большинства рабочих машин производилось при непосредственном участии авторов.

В некоторых организациях созданы опытные образцы машин на РВД, предназначенные для проведения различных работ. Так, например, во ВНИИЗЕМ-МАШе — Всесоюзном научно-исследовательском институте землеройного машиностроения создана внутриканальная очистительная машина на РВД; в Свердловском научно-исследовательском горном институте (НИПИГОРМАШ) — машина для обеспечения работ в открытых карьерах; на Московском автомобильном заводе им. И. А. Лихачева (ЗИЛе) — специальный транс-

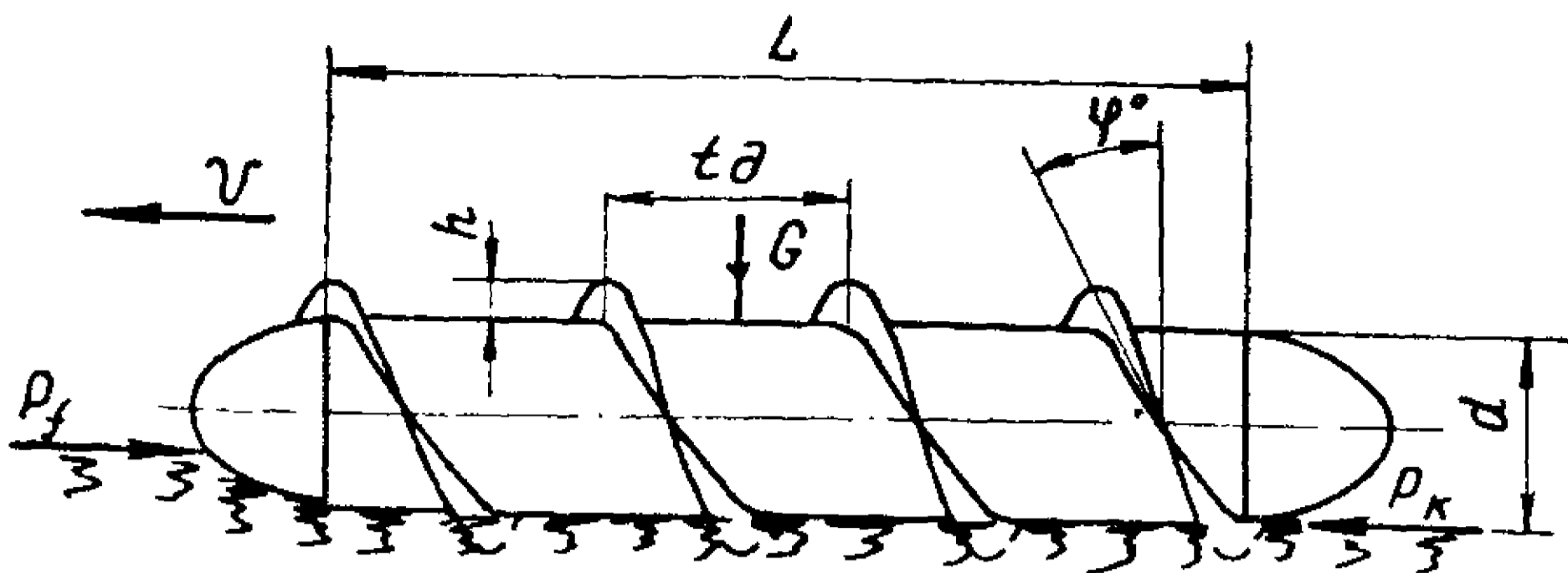


Рис. 5. Роторно-винтовой движитель

портный вездеход; в Киевском научно-исследовательском институте местной промышленности (УКРНИИ-ИМестпром) сконструирована машина для проведения мелиоративных работ, уборки камыша и т. д.

Роторно-винтовой движитель

По телевидению, в кино или на испытаниях опытных образцов многие неоднократно могли видеть, как машина с необычным, на первый взгляд, движителем преодолевает непроходимые болота, водные преграды, снежные заносы, выходит из полыньи на лед, свободно взбирается на крутые откосы.

Каким же образом машина без колес, без гребных винтов, без гусениц может двигаться как по суше, так и по воде? Ответ на этот вопрос содержится в особенностях конструкции роторно-винтового движителя.

Что такое роторно-винтовой движитель

Принцип движения роторно-винтового движителя можно понять, если представить перемещение винта в неподвижной гайке.

Величина перемещения за один оборот винта равна шагу (расстоянию между двумя соседними витками) резьбы.

Роторно-винтовой движитель представляет собой во много раз увеличенный винт, резьба (винтовая лопасть) которого навита на полый цилиндр (см. рис. 5).

На рисунке показано:

d — диаметр базового цилиндра;

φ^0 — угол подъема винтовой лопасти;
 td — шаг винтовой лопасти;
 L — длина движителя;
 G — нагрузка (вес машины) на движитель;
 P_f — сила сопротивления движению;
 P_k — тяговое усилие.

В качестве гайки в этом случае служит грунт, по которому происходит движение.

Следует оговориться, что величина охвата «грунтовой гайкой» движителя зависит от погружения его в грунт. А погружение, в свою очередь, определяется свойствами грунта — в основном сопротивляемостью его вертикальному сжатию. Горизонтальное перемещение движителя при движении по грунту не равно величине шага за один оборот в отличие от винта в жесткой металлической гайке.

Грунт, или, как мы его назвали, «грунтовая гайка», под действием роторно-винтового движителя деформируется — сминается и сдвигается. Величина этой деформации грунта зависит от сопротивления его горизонтальному смятию и сдвигу. Таким образом, чем больше горизонтальная деформация грунта, тем меньше перемещение движителя вперед за один оборот его. Это явление называется буксованием, или скольжением.

Как вертикальное сжатие, так и горизонтальная деформация зависят от физико-механических свойств грунта, но среди этого множества свойств к определяющему можно отнести влажность грунта.

При испытаниях машин была замечена такая закономерность: чем больше влажность, тем больше буксование и тем меньше величина передвижения вперед. Так, например, при движении по чистой воде величина перемещения винтового ротора за один оборот не более половины шага винтовой лопасти, т. е. буксование в этом случае достигает 50% и выше.

Как видно из схемы (рис. 5), основными конструктивными параметрами роторно-винтового движителя являются диаметр цилиндра, длина цилиндра, угол подъема винтовой лопасти, высота винтовой лопасти и материал цилиндра и винтовой лопасти.

От выбора и сочетания между собой этих элементов движителя зависят такие основные характеристики машины, как тяговое усилие, проходимость, плаву-

честь, скорость движения, устойчивость прямолинейного движения и т. д.

Вопросам, в которых рассматриваются зависимости характеристик машин от конструктивных параметров двигателя, посвящены имеющиеся немногочисленные научно-исследовательские работы.

Проектирование машины начинается с выдачи конструктору технического задания, в котором даны вес машины, грузоподъемность, скорость движения и, в соответствии с назначением машины, ряд других данных.

Далее следует творческий процесс расчета и выбора необходимых конструктивных параметров на основе известных формул и рекомендаций.

Сложность в создании роторно-винтовых амфибий заключается в том, что расчетных формул и рекомендаций очень мало и они не систематизированы.

Попробуем рассказать, каким образом производится выбор конструктивных параметров роторно-винтового вездехода.

Диаметр и длина базового цилиндра ротора

Название «амфибия» говорит о том, что роторно-винтовые машины должны быть плавающими. В дан-



Рис. 6. Роторно-винтовая машина ЛФМ-66 с лыжеобразными кронштейнами

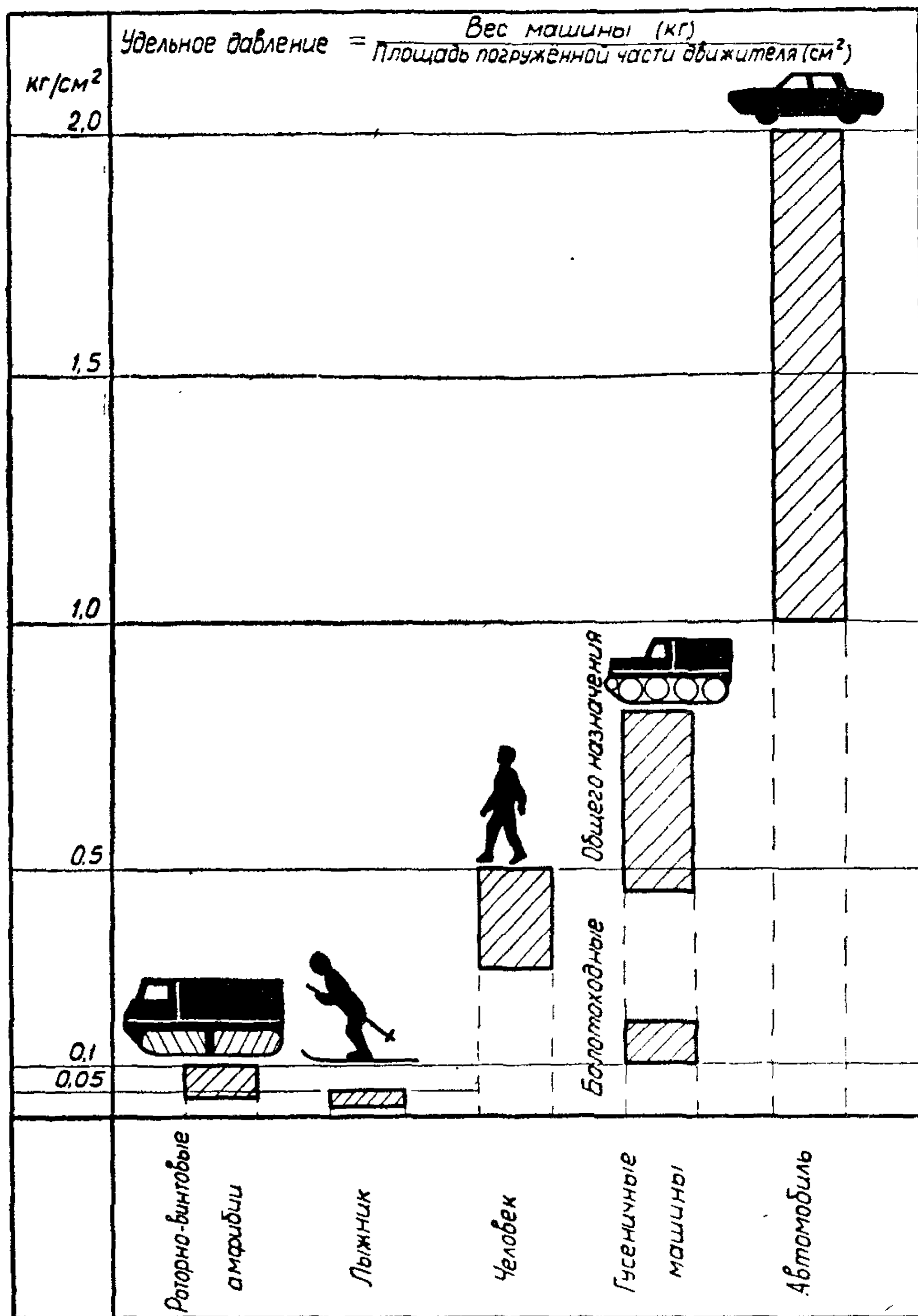


Рис. 7. Схема распределения удельных давлений на транспортных средствах

ном случае основным водоизмещающим элементом является роторно-винтовой движитель, или, точнее, базовые цилиндры. От размеров базовых цилиндров — диаметра и длины — зависит величина осадки машины в воде. Из испытаний известно, что с увеличением

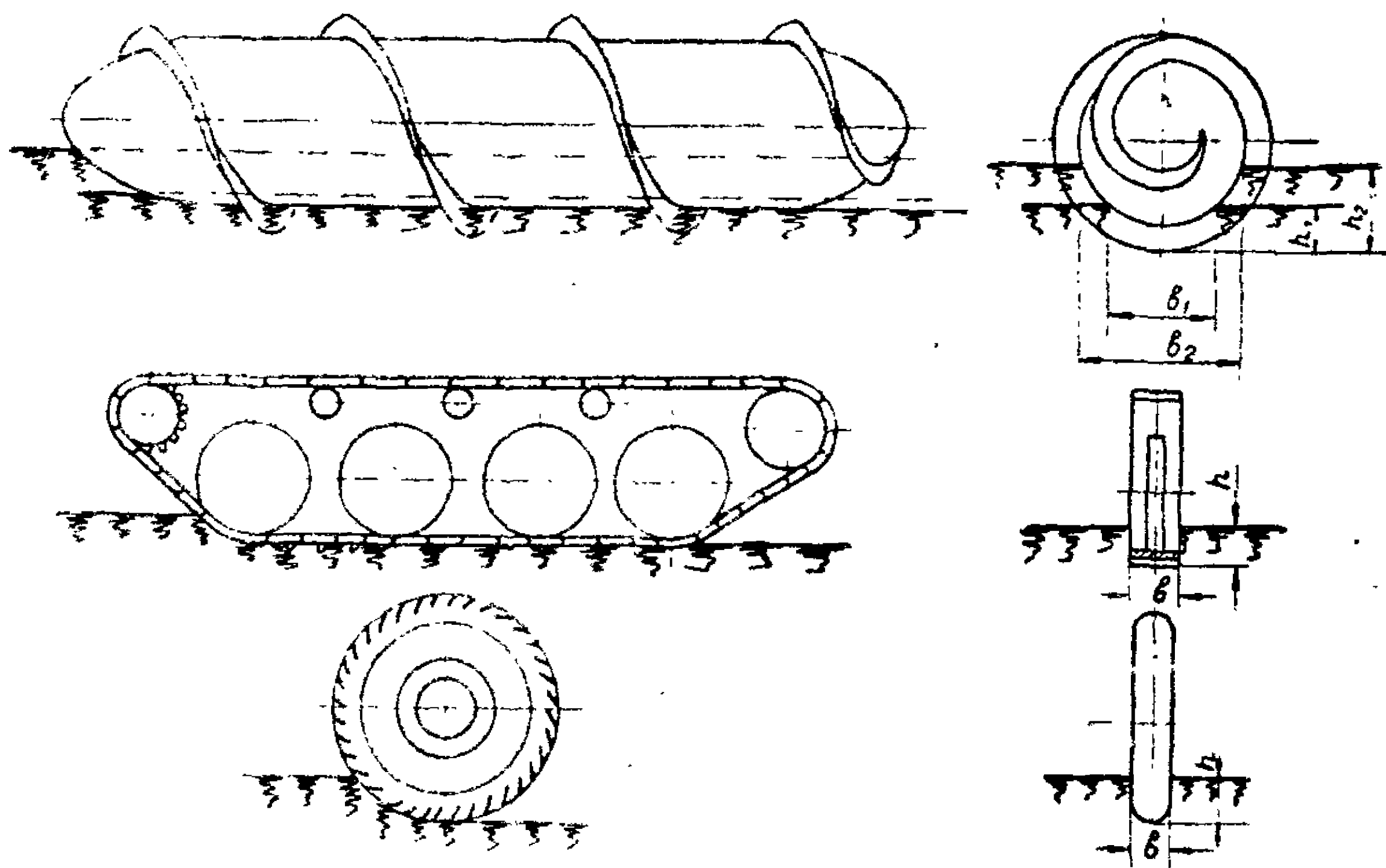


Рис. 8. Схема погружения 3 типов движителей: роторно-винтового, гусеничного и колесного

глубины погружения РВД повышается скорость движения машины на воде. С другой стороны, если машине необходимо выйти из небольшой по размерам полыньи на лед, большая глубина погружения движителя не обеспечивает надежного и быстрого выхода. На некоторых машинах приходилось дополнительно ставить впереди лыжеобразные кронштейны (см. рис. 6).

На большинстве последних образцов машин величина осадки равна $\frac{3}{4}$ диаметра базового цилиндра. Приходится мириться с тем, что скорость движения на воде несколько снижается, так как движитель работает в полупогруженном состоянии, в водовоздушной эмульсии, однако эффективность выхода на лед, а также на обрывистые, крутые берега значительно выше. При движении по суше от размеров базовых цилиндров — длины и диаметра их — зависят проходимость и тягово-сцепные качества машины.

Основным показателем проходимости любой вездеходной машины является величина удельного давления. Удельным давлением следует называть отношение веса машины к площади части движителя, погруженной в грунт.

На схеме (рис. 7) показаны пределы изменений удельного давления различных движущихся средств — автомобиля, трактора, человека, человека на лыжах и роторно-винтовой амфибии. Величина удельного давления лыжника и амфибии на РВД примерно одинаковы. Чем меньше удельное давление, тем выше проходимость вездеходного средства по грунтам с малой несущей способностью (болото, ил, снег).

В отличие от гусеничного и колесного движителей у роторно-винтового с увеличением погружения площадь контакта движителя с грунтом также увеличивается. Этим отчасти и можно объяснить столь малые удельные давления роторно-винтовых амфибий на слабых грунтах. (Глубине h_1 соответствует b_1 — хорда сектора поверхности контакта, и соответственно глубине h_r — величина b_r , см. рис. 8).

Проходимость машин на РВД в различных грунтовых условиях до настоящего времени остается еще малоисследованной, хотя эти данные весьма нужны и интересны. Объяснить этот парадокс можно только тем, что в данном случае практика создания роторно-винтовых машин опережает научно-исследовательскую работу над ними.

Экспериментальные исследования показали, что наибольшая величина тягового усилия машины достигается при вполне определенном соотношении размеров длины движителя и диаметра цилиндра, равного примерно шести ($\frac{L}{d} = 6$).

Высота винтовой лопасти

Параметр — высоту винтовой лопасти можно сравнить с высотой грунтозацепа гусеничного движителя и с величиной профиля протектора колеса.

Общей тенденцией трех типов движителей (роторно-винтового, гусеничного и колесного) является повышение тягового усилия с увеличением параметра высоты. Однако известно, что это увеличение небезгранично, а в некоторых грунтовых условиях даже вызывает противоположный эффект. Так, например, увеличение высоты лопасти роторно-винтового движителя при движении по илистой поверхности не дает ожидаемого прироста тягового усилия, а наоборот, величина тяго-

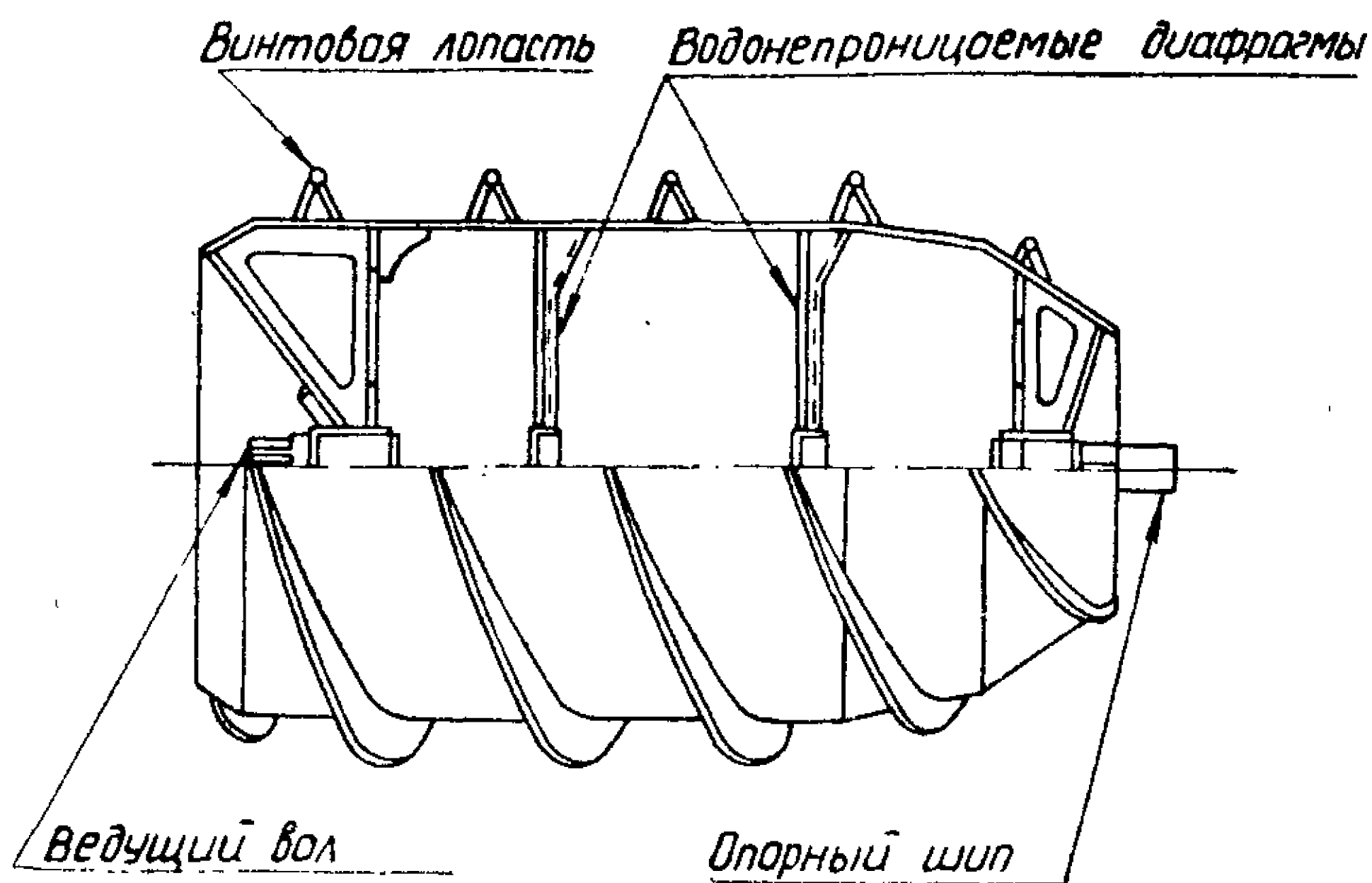


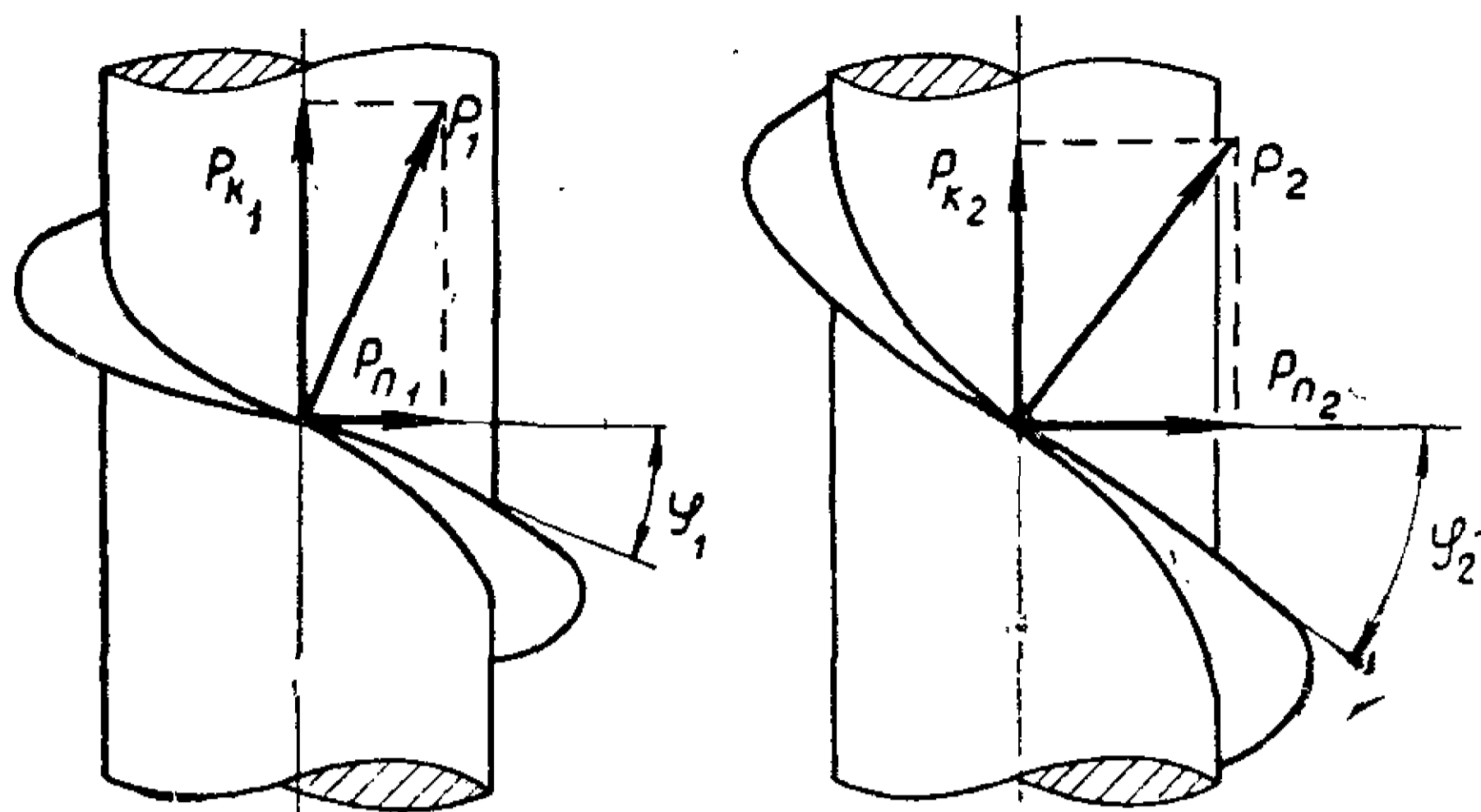
Рис. 9. Образец конструкции роторно-винтового движителя

вого усилия уменьшается. Достаточно строгого объяснения экспериментаторы не приводят. По всей вероятности, уменьшение тягового усилия происходит из-за появления дополнительных сопротивлений движению, не учтенных теоретической формулой.

В итоге испытаний роторно-винтового движителя на разных грунтах исследователи пришли к выводу, что величина тягового усилия наибольшая при отношении высоты лопасти к диаметру цилиндра, равному 0,165—0,170. Так, при диаметре базового цилиндра 600 мм рекомендуемая высота винтовой лопасти, равная 100 мм.

Относительно профиля винтовой лопасти единого мнения до настоящего времени нет. На одних машинах профиль треугольный, на других — трапецеидальный или комбинированный (рис. 9). Так, на машине ЛФМ — РВД-66 — профиль треугольный, на ШН-1 — трапецеидальный (см. рис. 14).

Различие в профилях лопастей можно объяснить назначением машины ШН-1. Создана она как вездеход для движения по снегу и болотам, ЛФМ — РВД-66 — для движения по льду, поэтому, чтобы не было буксования машины на льду, профиль винтовой лопасти остротреугольный. Такая форма лопасти выбрана из условий прочности и жесткости.



$$\psi_1 < \psi_2 \quad P_1 = P_2 \quad P_{n1} < P_{n2} \quad P_{k2} < P_{k1}$$

Рис. 10. Изменение сил на лопасти в зависимости от угла подъема винтовой лопасти

Угол подъема винтовой лопасти

Одним из важных и оригинальных параметров роторно-винтового движителя является угол подъема винтовой лопасти. Подобного параметра нет ни у гусеничного, ни у колесного движителей.

С увеличением угла подъема винтовой лопасти увеличивается шаг винтовой лопасти и соответственно скорость движения машины. Таким образом, при проектировании скорость движения машины можно изменить двумя путями — числом оборотов винтовых роторов или изменением угла подъема винтовой лопасти. Но по мере увеличения угла подъема величина тягового усилия падает, потому что осевая составляющая силы сцепления витков P_k винтовой лопасти уменьшается, а поперечная составляющая P_n возрастает. В связи с этим при увеличении скорости за счет увеличения угла подъема винтовой лопасти возрастает вероятность неустойчивого движения, так как поперечные силы сравнительно велики (рис. 10).

Итак, у тяговых машин угол подъема винтовой лопасти делают меньше $20 - 30^\circ$, у скоростных вездеходов $- 30^\circ$ и выше. Так, у легкого снегоболотохода С—ГПИ-16Ш угол подъема винтовой лопасти 42° ; тягача ШН-1 — 17° ; ледорезной машины ЛФМ—РВД-66 — $25^\circ 30'$.

Материал движителя

Специфика движения роторно-винтовой амфибии заключается в том, что движитель не катится по поверхности грунта, а как бы «ввертывается» в грунт. Значительная часть тягового усилия расходуется на преодоление сопротивления сил трения. Поэтому выбор материала движителя — вопрос, заслуживающий пристального внимания. Материал должен обладать минимальным коэффициентом трения, быть легким, прочным, износостойким. Одним из лучших вариантов конструкции движителя является изготовление его из тонколистовой стали, покрытой полиэтиленом или фторопластом (в частности, коэффициент трения их по снегу — 0,08 и 0,1 соответственно).

На существующих машинах движитель изготавливается из легированной нержавеющей стали, алюминиевого сплава (он быстро прирабатывается к грунту и становится гладким), из высокопрочной пенообразной пластмассы. Затем выбранные конструктивные параметры движителя проверяются по формулам, обеспечивают ли они необходимые скоростные и тяговые качества, а затем рассчитывается необходимая мощность двигателя.

Отсутствие необходимой информации привело к тому, что как за рубежом, так и в нашей стране было изготовлено несколько неудачных, неработоспособных образцов машин.

Особенности конструктивных схем

Движитель по своей конструкции очень прост и может быть изготовлен даже в небольшой ремонтно-механической мастерской.

Базовый цилиндр изготавливается из цельной трубы или гнется из листового материала. К базовому цилиндру приваривается или крепится болтами винтовая лопасть соответствующего профиля. На рис. 9 показан один из образцов винтовой лопасти, установленной на движителе японской амфибии «Dorothy».

Внутренняя часть движителя для обеспечения герметичности и жесткости внешней оболочки заполня-

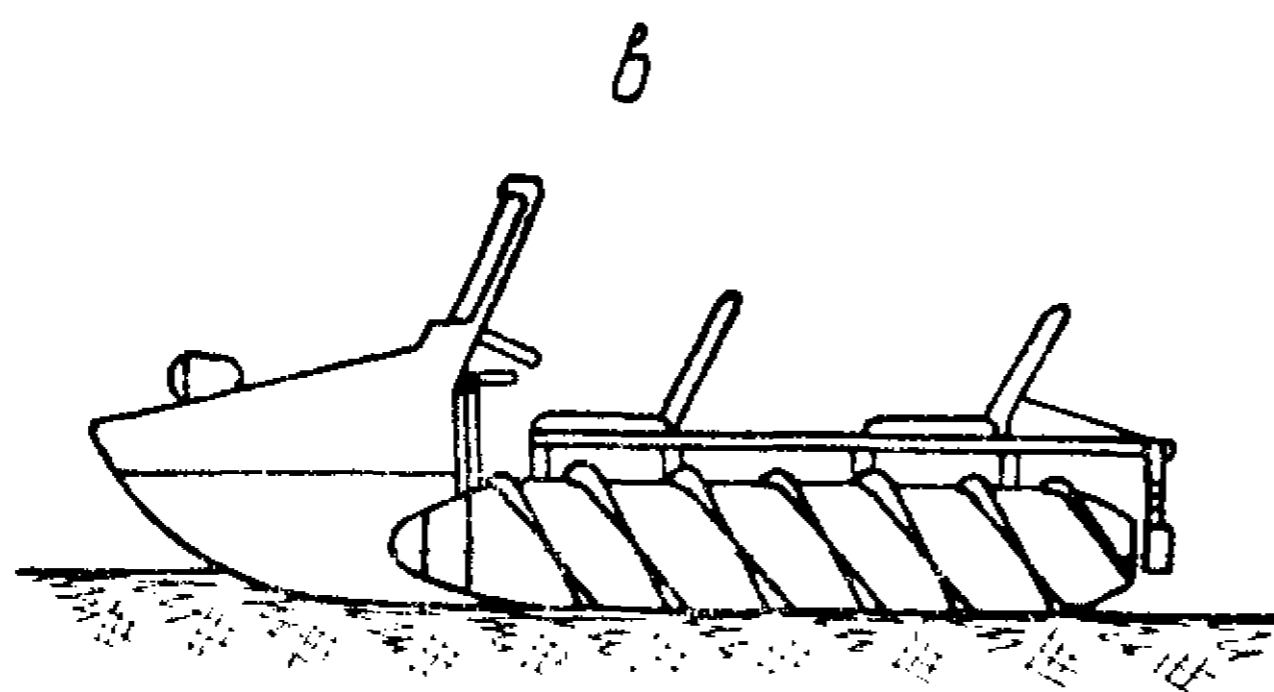
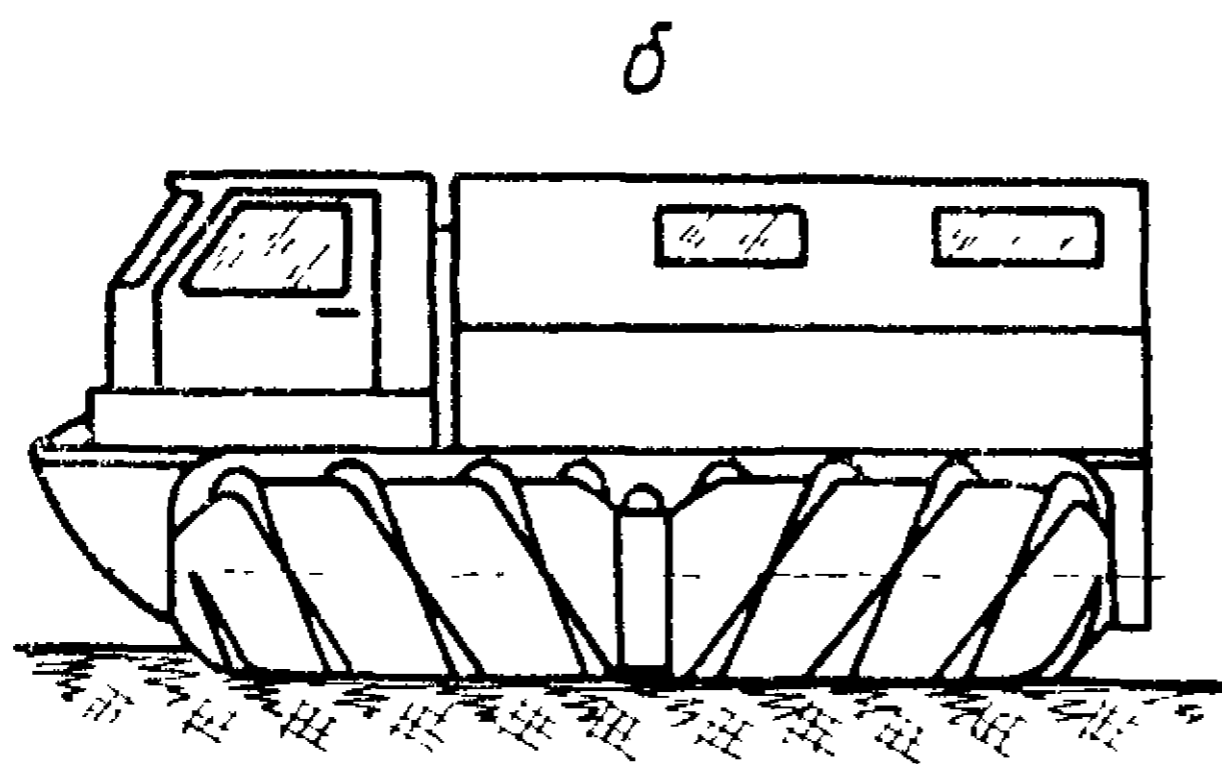
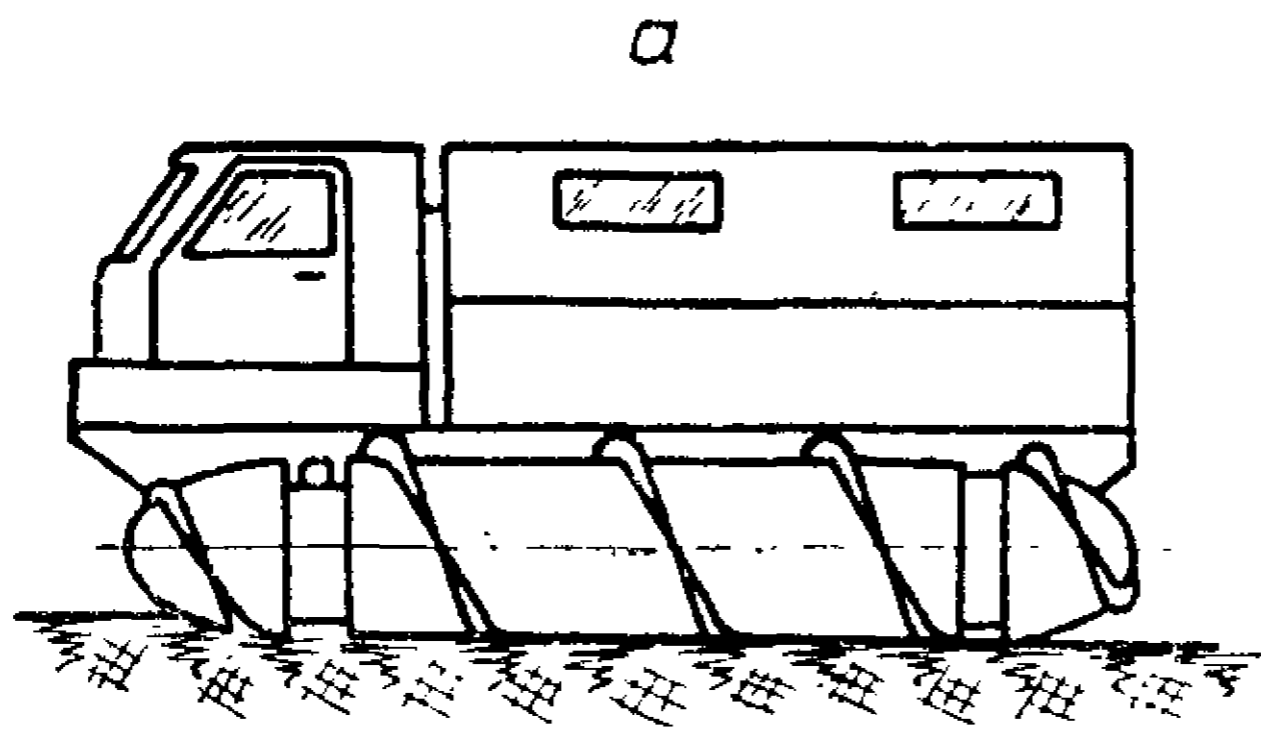


Рис. 11. Варианты конструкций роторно-винтовых машин

На рис. 11 а показана схема машины с двумя винтовыми роторами. Привод осуществляется или спереди или сзади. Двигатель в данном случае имеет цилиндрическую часть и активные (вращающиеся) головки. При движении вращающиеся головки винтовой лопастью зацепляются за край льда, за обрывистый берег или склон оврага. Такая схема достаточно эффективна, если осадка машины в воде не более половины диаметра базового цилиндра.

Если привод осуществляется в середине, возможна схема двигателя, показанная на рис. 11б. Движи-

ется пенопластом (ЛФМ — РВД-66, ЛФМ — РВД-72). С этой же целью на внутреннюю поверхность напыливают слой пластмассы, например пенополиуретана (ШН-1). Этот слой предохранит от попадания воды в случае прорыва обшивки. На японском варианте двигателя (см. рис. 9) внутри поставлен ряд металлических диафрагм.

В зависимости от компоновки машины и, в большей степени, от компоновки трансмиссии привод двигателя может быть в передней части, сзади или в середине. Варианты приводов могут быть самые различные: угловые редукторы, цепная передача, гидропривод и т. д.

Расстановка винтовых роторов на машине также может осуществляться различно.

тель одного борта разделен на два винтовых ротора, вращающихся в разные стороны, поэтому винтовые лопасти на цилиндрах навиты навстречу друг другу. Подобное устройство двигателя использовано на японских образцах и на ЛФМ — РВД-72 и ЛФМ — РВД-75.

Какие преимущества имеет такая схема ходовой системы, еще полностью не выяснено, но предполагают, что величина тягового усилия повысится, увеличится скорость движения на воде, улучшится устойчивость прямолинейного движения.

По степени восприятия полного веса машины конструктивная установка винтовых роторов двигателя может быть следующая: роторно-винтовой двигатель, воспринимающий полный вес машины (изображено на рис. 11а и 11б); роторно-винтовой двигатель, воспринимающий часть полного веса машины.

Разгрузка двигателя от действия веса машины может осуществляться различными способами. На рис. 11в показана разгрузка двигателя корпусом, т. е. часть силы веса машины воспринимается корпусом. Такой вариант возможен в основном только при движении по снежной и ледяной поверхности, так как от скольжения корпуса по поверхности значительно возрастает сопротивление движению.

Вес машины может также частично восприниматься лыжами или колесами.

Одним из весьма перспективных способов разгрузки двигателя является разгрузка с помощью воздушной подушки. Этот способ позволяет разгружать двигатель в различной степени в зависимости от свойств грунта. Разгрузка двигателя производится с целью повышения скорости движения и проходимости машины. Однако не следует забывать, что разгрузка двигателя воздушной подушкой требует увеличения затрат мощности. Кроме того, в отличие от гусеничных и колесных машин к разгрузке роторно-винтовых амфибий следует подходить более осторожно, так как под воздействием боковых сил при разгрузке возрастает вероятность нарушения устойчивости прямолинейного движения. Использование разгрузки, несмотря на перерасход мощности и некоторые конструктивные сложности, может значительно увеличить область применения роторно-винтовых машин при работе их в различных грунтовых условиях.

Движение роторно-винтовых машин на суше и воде

На движущуюся по грунту роторно-винтовую машину действуют в основном две группы сил сопротивления движению: силы, возникающие от деформации грунта движителем, и силы сопротивления трению поверхности винтовых роторов о грунт. Основным видом деформации грунта движителем является вертикальное сжатие (прессование), которое является причиной образования колеи.

Следует сказать о силах сопротивления, возникающих при разрушении грунта носовой частью движителя, однако в современной теории движителей до настоящего времени отсутствуют простые и надежные методы учета этих сопротивлений.

В отличие от гусеничных и колесных машин, для которых сопротивление от прокладывания колеи является основным, роторно-винтовые машины большую часть тягового усилия, необходимого для передвижения, затрачивают на преодоление сил трения поверхностей винтовых роторов о грунт. Но на некоторых участках болотистой местности силы сопротивления от прокладывания колеи и силы сопротивления трению распределяются примерно поровну.

В табл. 1 приведена классификация грунтовых условий в зависимости от коэффициента трения материала движителя о грунт и коэффициента сопротивления движению машины. Коэффициент сопротивления движению — это отношение тягового усилия самопередвижения к весу машины.

Из таблицы видно, что наиболее благоприятными грунтами для движения амфибий на роторно-винтовом движителе являются ил, лед, снег и болотистые грунты.

На этих грунтах сопротивление движению машин на роторно-винтовом движителе сравнимо с сопротивлением гусеничных и колесных вездеходов, а по тяговому усилию роторно-винтовые машины значительно превосходят колесные и гусеничные.

В нашей стране и в США проводились сравнительные испытания роторно-винтовых машин с гусеничными машинами подобной величины на различных грунтах. Так, например, некоторые участки болотистой

Таблица 1

| № п/п | Вид грунта | Коэффициент трения материала двигателя о грунт | Коэффициент сопротив- ления движению |
|----------|--|--|---|
| 1 | Лед | 0,07 — 0,1 | 0,13—0,16 |
| 2 | Илистый грунт | 0,105—0,25 | 0,15—0,30 |
| 3 | Снег на льду глубиной 200— 350 мм | 0,12 — 0,2 | 0,16—0,22 |
| 4 | Снег глубиной 500—1000 мм | 0,12 — 0,2 | 0,20—0,35 |
| 5 | Влажный суглинок, грязь, мок- рый луг, некоторые виды бо- лотистых грунтов | 0,20 — 0,40 | 0,22—0,45 |
| 6 | Песок | 0,45 — 0,6 | 0,5 — 0,7 |
| 7 | Дорога с асфальтобетонным покрытием | 0,50 — 0,55 | — |

Примечания: материал двигателя—нержавеющая сталь марки 2Х13.

При повторном движении по следу на некоторых участках неосущенного болота величина сопротивления была больше, чем развиваемое тяговое усилие.

Небольшие участки с твердым покрытием роторно-винтовые машины могут преодолевать, двигаясь боком.

местности, залитые водой рисовые поля, луга являются непроходимыми для гусеничных и колесных вездеходов. Установка на них специальных водяных двигателей — винтов или водометов — не дает большого эффекта, так как они быстро выходят из строя, забиваясь растительностью.

Применение на роторно-винтовых машинах обычных механических ступенчатых трансмиссий часто не позволяло произвести переключение на высшую передачу вследствие малой инерции машины. Поэтому для бесступенчатого, плавного регулирования скорости желательно использовать гидромеханическую или электрическую трансмиссию.

Движение машины на РВД по сильно пересеченной местности, при выходе из реки, болота, из полыньи на берег и т. д. вследствие специфичности работы роторно-винтового двигателя может сопровождаться явлением «скатывания» машины. Причинами скатывания являются: перераспределение веса на винтовые ро-

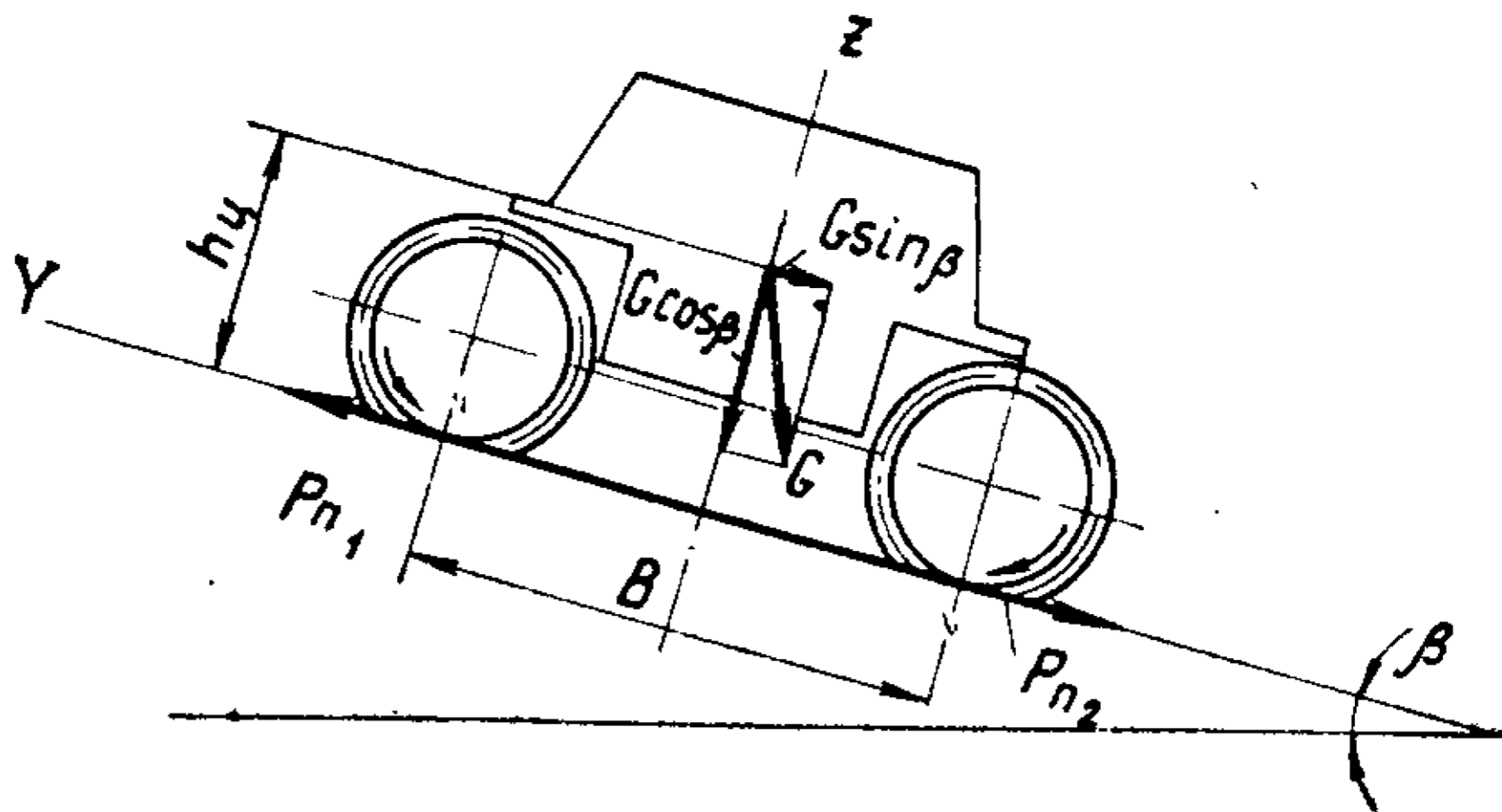


Рис. 12. Движение по наклонной поверхности

торы левого и правого бортов, направление вращения роторов и, как следствие этого, разное значение поперечных сил реакции грунта на правом и левом винтовых роторах (см. рис. 12).

При направлении вращения винтовых роторов наружу (когда грунт выбрасывается в сторону) движение по наклонной поверхности будет незначительно отличаться от движения гусеничной машины. Из экспериментальных данных известно, что сцепление движителя с грунтом в поперечном направлении на 20—25% меньше, чем сцепление в продольном направлении.

При движении может возникнуть три варианта поведения машины:

1. Если тангенс угла крена β равен величине коэффициента поперечного сцепления, движение машины будет происходить с постепенным поворотом в сторону более перегруженного нижнего (правого на рис. 12) винтового ротора. Это объясняется тем, что при боковом крене происходит перераспределение вертикальной нагрузки (веса) на роторы. С изменением нагрузки изменяется величина погружения левого и правого винтовых роторов, что ведет к увеличению сопротивления движению нижнего винтового ротора; увеличивается тяговое усилие, вследствие которого буксование винтовых роторов становится разным.

В силу этих причин и происходит самопроизвольный поворот машины.

2. Если тангенс угла крена β меньше коэффициента поперечного сцепления, движение машины сопровождается постоянным поворотом в другую сторону,

причем при отключенном (свободно вращающемся) верхнем винтовом роторе машина практически движется в поперечном направлении (вверх по склону).

3. Если тангенс угла крена β больше коэффициента поперечного сцепления, машина будет сползать вниз по склону с одновременным самопроизвольным поворотом в сторону нижнего винтового ротора.

Явление «скатывания» роторно-винтовой машины происходит при направлении вращения винтовых роторов внутрь (см. рис. 12). При таком вращении роторов поперечные составляющие реакции грунта на левом и правом винтовых роторах направлены противоположно друг к другу.

Так как вертикальная нагрузка на правом (нижнем) роторе больше, то и величина поперечных сил больше, что и приводит к скатыванию машины со склона. Водителю в этом случае можно выйти из положения, включив заднюю передачу, тогда направление поперечных сил изменится на противоположное и машина будет перемещаться вверх с некоторым поворотом.

Таким образом, в процессе проектирования нового образца роторно-винтовой машины следует учесть влияние направления вращения винтовых роторов.

При движении по воде большое значение имеет конструктивная форма обводов корпуса машины вокруг движителя. Корпус в данном случае исполняет роли дефлектора и насадки, т. е. чем совершеннее форма этой части корпуса, тем в более эффективном режиме будет работать движитель.

Роторно-винтовой движитель при постановке его на вездеходную плавающую машину в отличие от других гидравлических движителей имеет ряд особенностей:

— винтовые роторы расположены вдоль бортов, а, к примеру, гребные винты — в кормовой части. При этом и характер обтекания корпуса встречным потоком воды качественно другой;

— осевая протяженность роторно-винтового движителя достигает длины вездехода;

— более высокое отношение диаметра базового цилиндра (ступицы винта) к внешнему диаметру движителя. Для гребных винтов это отношение колеблется от 0,25 до 0,35, а у РВД — 0,6—0,8;

- винтовая лопасть имеет постоянный шаг;
- частичное погружение роторно-винтового двигателя приводит к тому, что работа его происходит в водовоздушной эмульсии, состав которой изменяется от числа оборотов двигателя.

Из результатов испытаний на воде известно, что относительное тяговое усилие роторно-винтовых машин равно 7 — 8 кг/л. с., которое значительно превышает таковое у плавающих машин с гусеничным двигателем и составляет 4—5 кг/л. с.

Незначительное сопротивление трения при движении по воде позволяет развить предельные обороты двигателя. В связи с этим весьма интересным и совершенно неисследованным является вопрос о влиянии гироскопических моментов винтовых роторов на управляемость роторно-винтовых машин.

Всем известны замечательные свойства быстро вращающегося волчка. Неподвижный волчок под действием собственного веса неизменно падает набок. Быстро вращающийся волчок спокойно балансирует на кончике своей оси, поддерживаемый какой-то неизвестной силой. Удивительная устойчивость, сообщаемая волчку быстрым вращением, уже давно привлекала внимание. Первым серьезным использованием свойств волчка был опыт, поставленный физиком Л. Фуко в 1852 г.

Л. Фуко демонстрировал построенный им прибор «гироскоп», основной частью которого был быстро вращающийся ротор.

Термин «гироскоп» происходит от греческих слов: гирос — вращение и скопео — наблюдаю.

В настоящее время этот термин применяется в более широком смысле для обозначения приборов, в которых использованы своеобразные свойства быстро вращающегося тела — гироскопические свойства.

Гироскоп обладает повышенной сопротивляемостью по отношению к моментам внешних сил и в большей мере, чем обычные твердые тела, наделен способностью сохранять неизменным направление оси своего ротора в пространстве. Гироскопический момент зависит от массы вращающегося тела и скорости вращения.

Масса винтовых роторов весьма значительная, да и обороты их в воде также достаточно высокие. К гироскопическим моментам винтовых роторов к тому же добавляется гироскопический момент частиц воды

или ила, увлекаемых роторами во вращательное движение. На рис. 13 хорошо видно, как частицы воды захватываются винтовыми роторами во вращательное движение.

Таким образом, при движении с большими оборотами винтовых роторов гироскопические моменты их препятствуют отклонению машины от прямолинейного направления движения.

Преодоление роторно-винтовой машиной водной преграды с наличием течения реки также имеет одну интересную особенность.

Если вращающийся цилиндр поместить в поток воды (или воздуха), то под действием разности давлений на противоположных сторонах цилиндра он будет перемещаться в том или ином направлении, в зависимости от направлений скорости потока и скорости вращения цилиндра.

Явление получило название «эффект Магнуса», по имени ученого, открывшего это свойство. Эффект Магнуса используется в баллистике. Известен случай применения эффекта Магнуса в судостроении. Было создано судно, где вместо парусов были поставлены высокие вращающиеся цилиндры. Под влиянием сил, возникающих от взаимодействия вращающихся цилиндров и потоков воздуха, корабль двигался в заданном направлении.



Рис. 13. Движение роторно-винтовой машины на воде

Таким же образом будет сказываться эффект Магнуса и на роторно-винтовой машине. В зависимости от направления течения и направления вращения винтовых роторов машина будет дрейфовать в ту или иную сторону.

Водные испытания роторно-винтовых машин показали, что они обладают рядом ходовых качеств, более высоких, чем у гусеничных и колесных плавающих машин. В частности, для достижения большей скорости на гусеничных и колесных плавающих вездеходах приходится ставить специальные гидравлические двигатели — гребной винт или водомет, что связано с увеличением приводных мощностей, увеличением веса, конструктивными трудностями и т. д.

Для амфибий на РВД специального двигателя не требуется, так как роторно-винтовой двигатель достаточно эффективен и как гидравлический двигатель, поэтому, выбирая соответствующие параметры его, можно добиться нужных ходовых качеств машины на воде.

Советские роторно-винтовые машины

На Московском автомобильном заводе им. И. А. Лихачева был спроектирован, изготовлен и испытан транспортер на роторно-винтовом двигателе — ШН-1, предназначенный для работы в районах с глубоким снежным покровом и на переувлажненных грунтах.

Машина имеет вес 3 т, грузоподъемность — 0,6 т. На ней установлен двигатель ЗИЛ-375 мощностью 180 л. с. Трансмиссия гидромеханическая, конструкции ЗИЛ.

Роторно-винтовой двигатель выполнен из углеродистой стали. Диаметр базового цилиндра двигателя — 620 мм, угол подъема винтовой линии — 17°. В поперечном сечении винтовая лопасть имеет вид трапеции с высотой 120 мм.

Для повышения жесткости и герметичности двигателя на внутреннюю поверхность цилиндров напылен слой пенополиуретана.

Транспортер ШН-1 передвигался по воде, по глубокому снегу глубиной 800—1000 мм, по дну спущен-

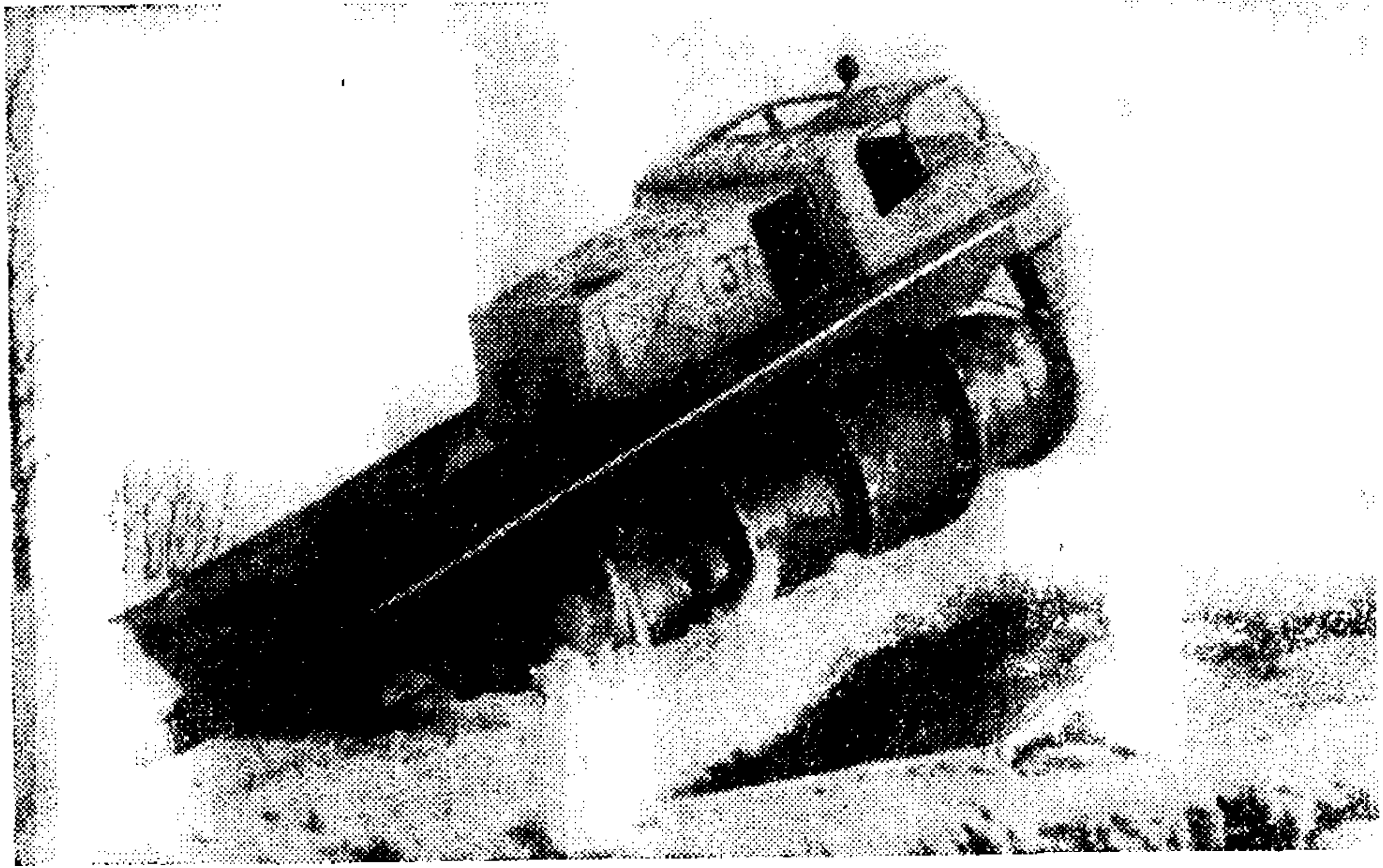


Рис. 14. ШН-1

ных прудов со слоем ила до 600 мм, преодолевал подъем в $30-35^\circ$. Скорость движения по снегу до 14 км/час, по илу — 5—6 км/час. Минимальное удельное давление (при погружении до половины роторов) — $0,064 \text{ кг/см}^2$.

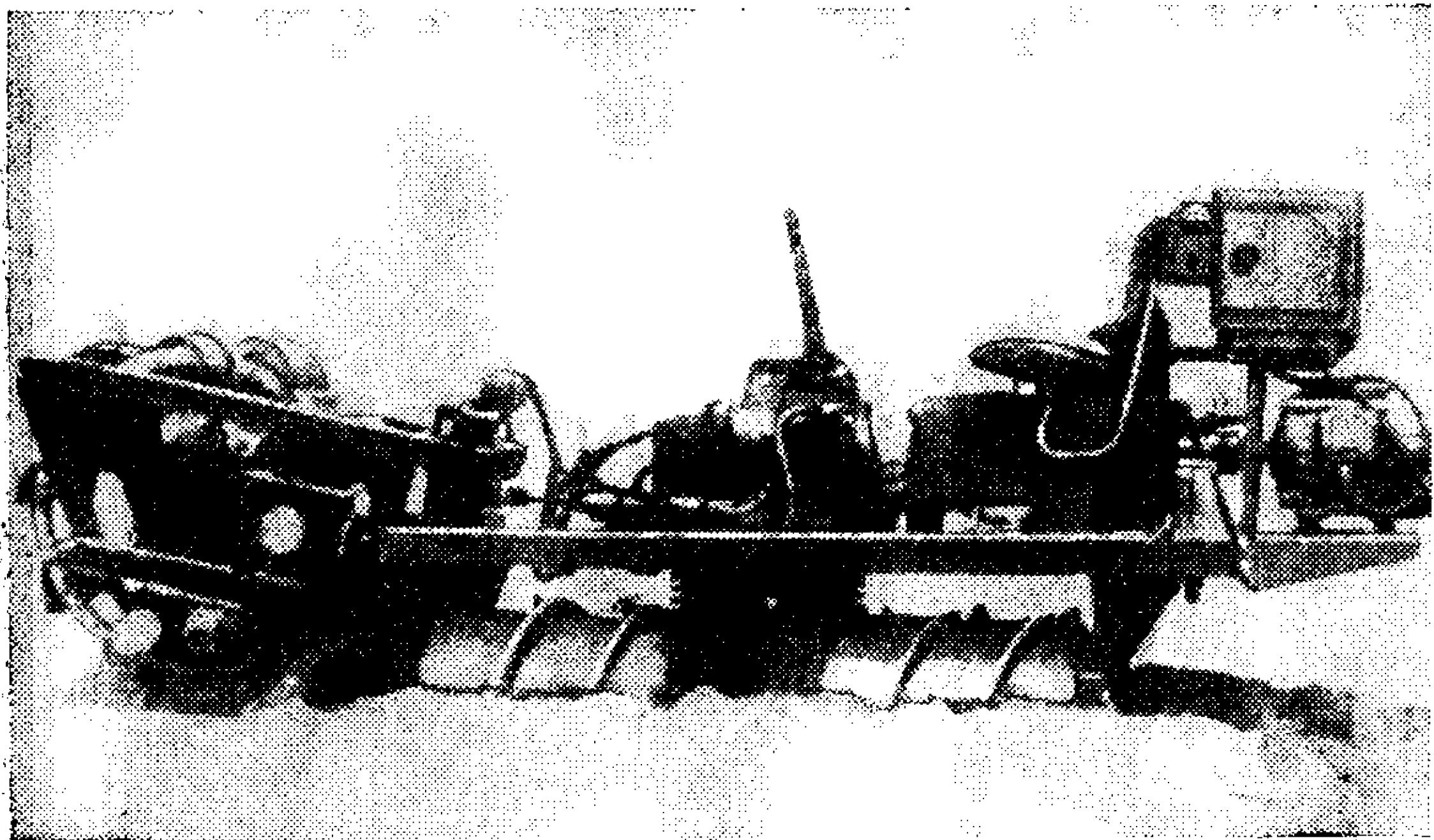


Рис. 15. Внутриканальная очистительная машина ВК-2

Передвижение гусеничных вездеходных машин в этих условиях было менее эффективно.

К рабочим машинам на роторно-винтовом двигателе относится внутриканальная очистительная машина ВК-2, созданная во Всесоюзном научно-исследовательском институте землеройного машиностроения — ВНИИЗЕММАШе в 1969 г. Вес машины 1,9 т.

В качестве силовой установки используется электродвигатель АОГ-61-1 мощностью 13 кВт, питаемый от сети или от передвижной электростанции.

Предусматривалась также возможность установки двигателя внутреннего сгорания.

Навесной рабочий орган представляет собой многоковшовый ротор (число ковшей 10, с емкостью одного ковша 2,4 л) с встроенным в его раму наклонным лопастным метателем.

Ходовая часть машины состоит из четырех жестко закрепленных на раме винтовых роторов с углом подъема винтовой лопасти 25° . Привод роторов гидромеханический. Диаметр базового цилиндра винтового ротора 380 мм, высота лопасти 50 мм. Удельное давление (мин) — $0,18 \text{ кг/см}^2$. Рабочая скорость движения до 100 м/час. Производительность до $20 \text{ м}^3/\text{час}$. Транспортировка машины с объекта на объект предполагается в кузове автомобиля.

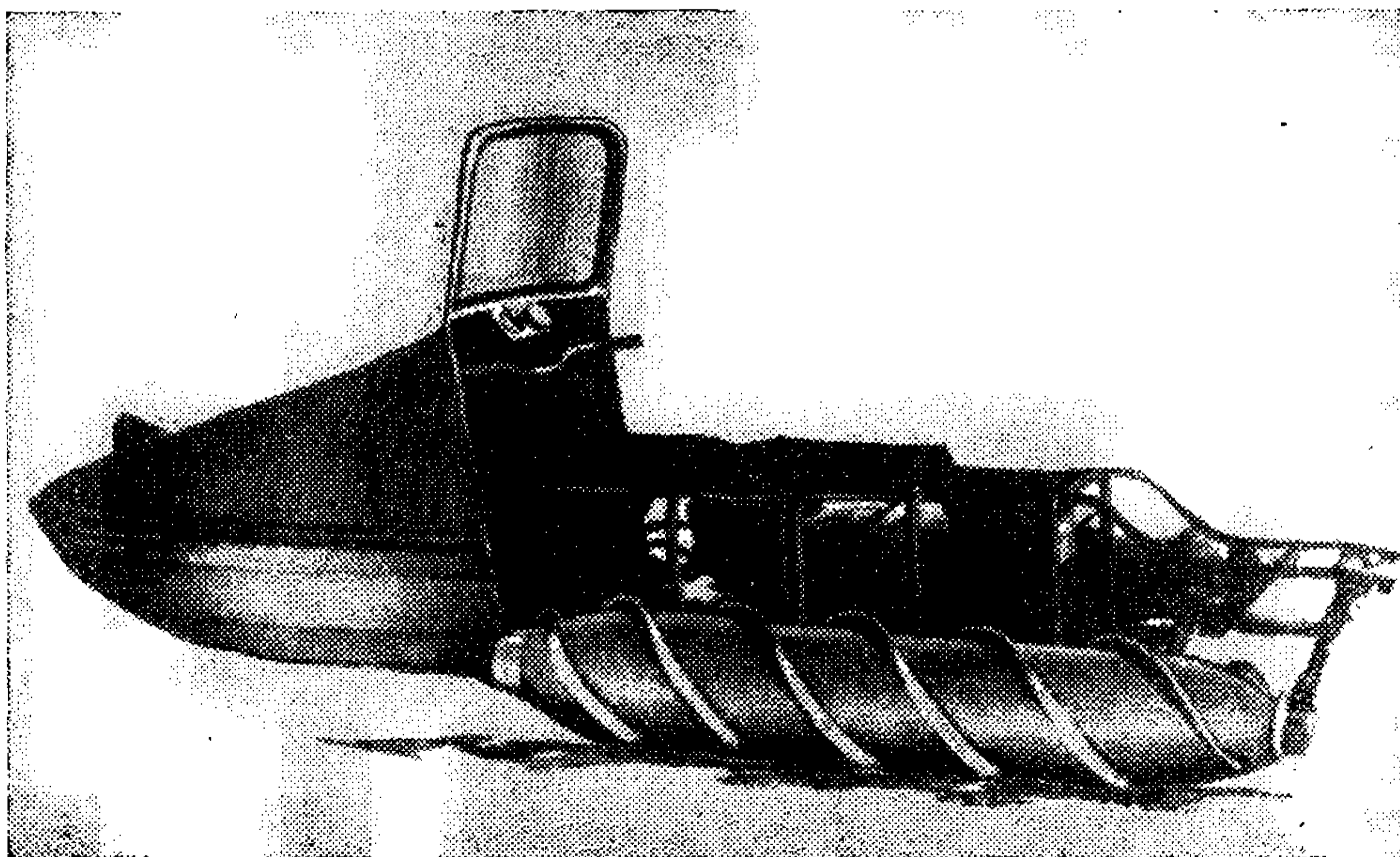


Рис. 16. Легкий снегоход С—ГПИ-16Ш

При испытаниях машины ожидаемых результатов не получили, так как ряд конструктивных параметров ее не соответствовал оптимальным.

В лаборатории снегоходных машин Горьковского политехнического института в 1965—1966 гг. было построено несколько образцов легких снегоходов с роторно-винтовым двигателем, в частности С — ГПИ-16Ш и ГПИ-16ВС. Снегоходы предназначены для перевозки двух человек и 50 кг груза.

Отличие конструкции этих образцов незначительное — у первого образца часть общего веса воспринимается корпусом; у второго — двумя лыжами. Поворот в первом случае осуществляется подрезами, расположенными в начале загиба корпуса. Во втором случае поворот происходил с помощью лыж, которые приводились рулевым механизмом мотоциклетного типа.

Второй тип снегохода на испытаниях показал более высокие тягово-динамические качества.

Вес машины с грузом 500 кг.

На лыжи приходится 180 кг, на роторно-винтовой двигатель — 320 кг. Подвеска лыж рессорная, у РВД — в передней части жесткая, в задней части пружинная, регулируемая по высоте. В передней части кузова установлен двигатель мощностью 12,7 л. с. Трансмиссия снегохода механическая.

Диаметр базового цилиндра роторно-винтового двигателя 300 мм, базовая длина 1200 мм, угол подъема винтовой лопасти 42° , число заходов винтовой лопасти 3, угол при вершине лопасти 20° . Материал двигателя роторов — дюралюминий Д16Т, лопасти — нержавеющей сталь Х18Н10Т.

Минимальное удельное давление — $0,03—0,04$ кг/см².

Максимальная скорость движения снегохода по заснеженному льду достигала 30 км/час.

Коэффициент сопротивления движению в этих условиях был равен 0,223; коэффициент сцепления — 0,82, максимальный коэффициент сцепления равен 1,21, значение которого получено при испытаниях на заснеженной дороге. Величина преодолеваемых подъемов $30—35^\circ$.

Снегоход легко маневрировал и преодолевал все встречные и соответствующие его размерам препятствия в сложных условиях движения: по льду, на сильнопересеченной местности лугов, при преодоле-

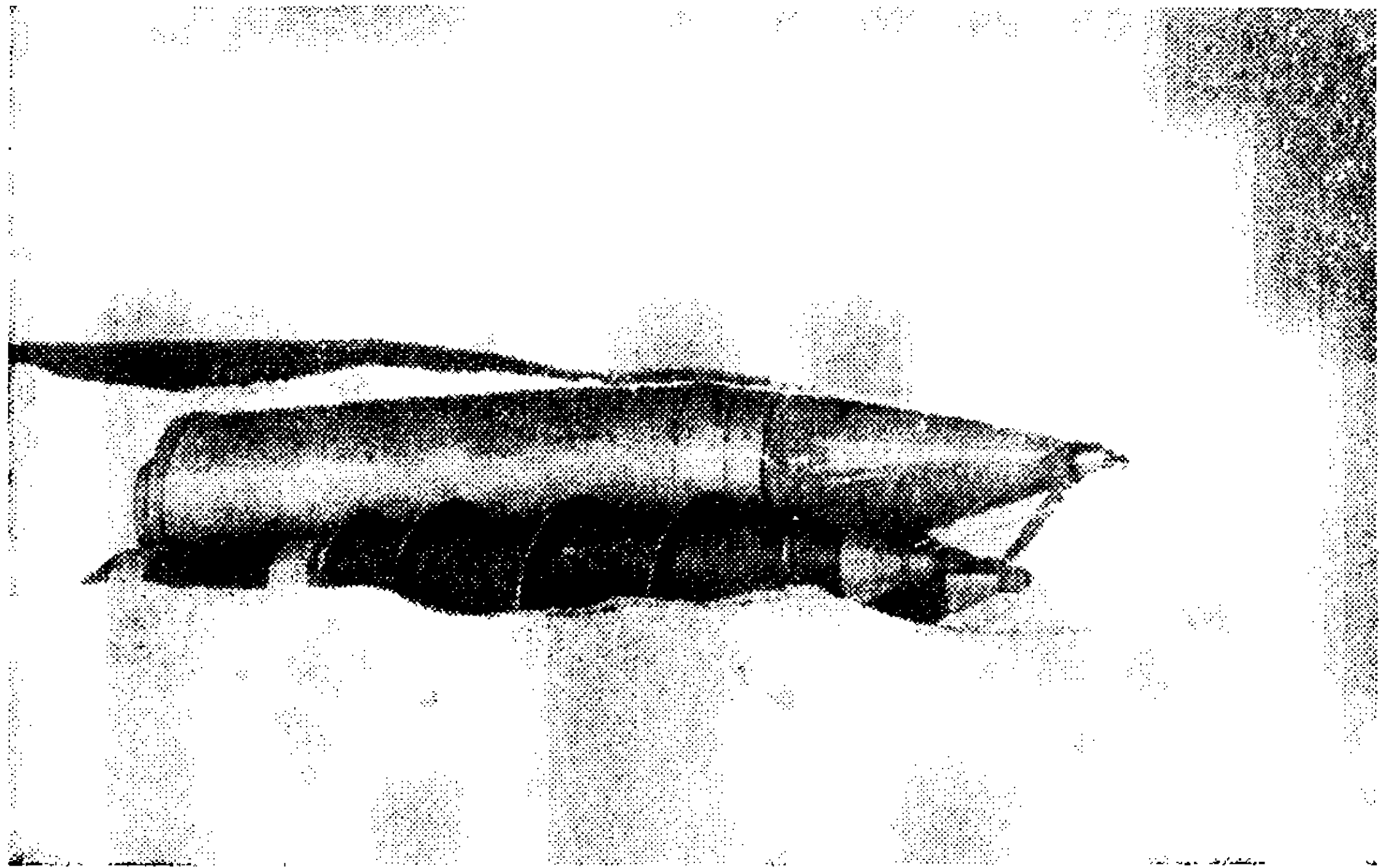


Рис. 17а, б. Модели на роторно-винтовом движителе

нии полевых дорог и т. п. Устойчивость прямолинейного движения также была вполне удовлетворительная.

Однако были замечены некоторые недостатки проходимости машин. При медленном (без использования инерции) преодолении глубоких рвов шириной, равной длине движителя, происходит вывешивание машины на передней и задней опорах движителя.

С 1964 г. в опытном конструкторском бюро «РАЛСНЕМГ» Горьковского политехнического института проводятся исследования роторно-винтового движителя с целью использования его как движителя для ледорезных машин. Было изготовлено несколько моделей на РВД (см. рис. 17 а, б), в программу испытаний которых включались вопросы по определению тягово-сцепных качеств в различных грунтовых условиях (в первую очередь на льду), плавучести и самостоятельного выхода из полыньи на лед. Позднее там же была создана первая ледорезная машина на РВД (см. рис. 6).

Вес машины без навесного оборудования — 3300 кг.

Вес машины с навесным оборудованием — 3900 кг.

Мощность двигателя — 85 л. с.

Габариты машины: длина — 5050 мм, ширина — 3278 мм, высота — 2000 мм, клиренс — 460 мм, база — 3560 мм, колея — 2478 мм. Транспортная скорость ма-



шины до 18 км/час, рабочая скорость (скорость резания льда) до 300 м/час.

Максимальная производительность машины при фрезеровании сквозной щели во льду при ширине щели 380 мм и толщине льда 1000 мм — 90 м/час.

Диаметр базового цилиндра движителя — 600 мм. Угол подъема винтовой лопасти — $25^{\circ}30'$; высота винтовой лопасти — 100 мм. Профиль винтовой лопасти треугольный, с углом при вершине 30° . Базовые цилиндры и винтовые лопасти изготовлены из высоколегированной нержавеющей стали 2Х13, толщиной 3,0 мм.

РВД каждого борта состоит из 3 частей: передней головки, цилиндрической части и задней головки. Винтовая лопасть навита как на цилиндрической части движителя, так и на обеих головках. Вращающиеся головки роторов с винтовыми лопастями обеспечивают самостоятельный выход машины из воды на лед. Забегая вперед, следует отметить, что движитель сравнительно глубоко погружался в воду и выход на лед не всегда происходил быстро. Для обеспечения более надежного выхода были дополнительно изготовлены и установлены в передней части машины водоизмещающий бак и лыжеобразные кронштейны. Для увеличения жесткости и герметичности внутренний объем движителя заполнен кольцами из пенопласта.

В качестве рабочего органа использована концевая фреза, которой можно резать лед толщиной до 1,6 м.

Для осуществления рабочего процесса машина была дополнительно оборудована: редуктором привода фрезы; редуктором-ходоуменьшителем для получения пониженных рабочих скоростей при фрезеровании льда и сохранения транспортных скоростей; промежуточным редуктором для выбора режима работы фрезерной установки; гидросистемой для установки фрезы из транспортного положения в рабочее и обратно, а также для удержания ее в этих положениях.

На испытаниях машина показала максимальную скорость на льду со снегом — 18 км/час, по слою ила — 15 км/час, по песку — 5 км/час, по воде — 10 км/час. Наибольшее тяговое усилие на крюке было получено при движении по льду — 3000 кг. Труднопроходимые участки болотистой местности преодолевались машиной достаточно свободно, причем некоторые из участков относятся к числу непроходимых для существующих болотоходных машин.

Анализ результатов показал, что усовершенствования конструкции нового проектируемого образца машины ЛФМ—РВД-72 должны быть направлены на улучшение устойчивости прямолинейного движения, повышение плавучести, увеличение транспортных и рабочих скоростей, повышение проходимости (особенно при использовании машины в качестве вездехода в летних условиях).

Попутно ставилась задача проверить влияние разного направления навивки винтовой лопасти роторов одного борта на устойчивость прямолинейного движения, маневренность и величину тягового усилия.

Так как Горьковский автозавод в 1968 г. прекратил выпуск гусеничных транспортеров ГАЗ-47, которые во многих случаях использовались как базовые машины для навесного оборудования по резанию льда, механизации подледного лова рыбы, проведению гидрографических работ в Арктике и других работ, было принято решение сконструировать и изготовить новый вездеход на роторно-винтовом движителе со специальным, приспособленным под данный тип движителя корпусом. На машине использованы детали и агрегаты серийных автомобилей (в основном от автомобилей ГАЗ-66 и ГАЗ-53).

Вес машины без навесного оборудования — 3850 кг.

Вес машины с навесным оборудованием — 4400 кг.

Мощность двигателя — 115 л. с.

Габариты машины: длина — 4970 мм, ширина — 3000 мм, высота — 2250 мм, клиренс — 500 мм, база — 4100 мм, колея — 2100 мм.

Транспортная скорость машины — до 20 км/час.
Рабочая скорость при резании льда — до 400 м/час.

Максимальная производительность машины при фрезеровании сквозной щели во льду при ширине щели 350 мм — 120 м³/час. Диаметр базового цилиндра движителя — 700 мм, угол подъема винтовой лопасти — 28°, высота винтовой лопасти — 100 мм. Профиль винтовой лопасти треугольный, с углом при вершине 30°. Материал движителя также нержавеющей сталь 2Х13 толщиной 3 мм.

Роторно-винтовой движитель каждого борта состоит из 2 частей, имеющих противоположное вращение и направление навивки винтовой лопасти (см. рис. 18).

Для более эффективного выхода вездехода из воды на лед впереди установлены лыжеобразные кронштейны. Рабочим органом служит пальцевая фреза диаметром 350 мм. Предусмотрены впереди установка



Рис. 18. Роторно-винтовая машина ЛФМ-72

шнекороторного снегоочистителя или бульдозерного ножа.

В 1972—73 гг. машина была испытана в различных грунтовых и эксплуатационных условиях. В результате этих испытаний машина ЛФМ-72 рекомендована Государственной комиссией к серийному выпуску.

Исследовалось влияние конструктивной схемы двигателя на тягово-сцепные качества, поворот, устойчивость и управляемость машины с навесным рабочим органом.

Тягово-сцепные качества характеризуются следующими параметрами: коэффициентом сопротивления движению, учитывающим сопротивление вследствие деформации грунта двигателем и сопротивление трения двигателя о грунт; буксованием, учитывающим потерю скорости из-за горизонтальной деформации грунта, направленной против движения; коэффициентом сцепления, представляющим собой отношение силы сцепления (или полного тягового усилия) машины с грунтом к весу машины.

Сцепные качества обычно оценивают максимальным значением этого коэффициента, который наблюдается на несвязных почвах (например, песок, сухой снег, ил) при буксовании, равном 100%, а на связных (торфяник, влажный луг) — при меньших значениях буксования.

Тяговые и сцепные качества связаны между собой. Надежное сцепление машины с поверхностью движения при предельных условиях обеспечивает уменьшение ее буксования на типичных режимах работы. Чем лучше сцепление, тем устойчивость прямолинейного движения выше и легче осуществить автоматизацию ее вождения. Чем меньше сопротивление движению машины, тем больше у нее запас тягового усилия для осуществления полезной работы.

Сопротивление движению изменяется от скорости, причем характер изменения на различных грунтах неодинаков. Так, например, на льду, на мокром лугу сопротивление движению с увеличением скорости практически не менялось. На илистых грунтах с большим содержанием влаги сопротивление движению начинает заметно возрастать при скорости 5—6 км/час. Это объясняется повышением гидравлических потерь на выдавливание насыщенных влагой частиц грунта и пе-

ремешивание их движителем. Иной характер имеет движение по торфяной залежи. С увеличением скорости сопротивление уменьшалось. Движение с меньшей скоростью сопровождалось более быстрым разрушением растительного слоя, что приводило к увеличению погружения движителя и, соответственно, к увеличению сопротивления.

Исследование влияния конструктивной схемы движителя осуществлялось испытанием двух машин — ЛФМ-66 (двигатель которой представляет собой по одной винтовой секции с каждого борта) и ЛФМ-72 (с каждого борта которой установлены по две винтовые секции с противоположным вращением и, следовательно, с противоположным направлением навивки винтовой лопасти) — следующим образом.

Машины двигались с небольшой скоростью по илу, покрытому на 0,2—0,3 м водой, и приближались к обрывистому берегу высотой 0,3—0,4 м, покрытому травой, и выходили на него. Регистрирующей аппаратурой фиксировались тяговые усилия на движителе. Такие же замеры производились при выходе машины на пологий илистый берег. Были получены зависимости сил сопротивления от длины винтовых роторов движителя на разных по плотности грунтах.

В результате выяснилось, что сопротивление движению машины ЛФМ-72 на плотном грунте выше, чем у ЛФМ-66. При движении на переувлажненном грунте схема движителя не оказывает существенного влияния на сопротивление движению. Более высокое сопротивление машины ЛФМ-72 объясняется тем, что на врезание в грунт второй винтовой лопасти (которая пересекает след от первой винтовой лопасти) требуются дополнительные затраты мощности, увеличивающиеся по мере возрастания плотности грунта.

Успешная работа машины в данных грунтовых условиях зависит не только от ее тягово-сцепных качеств, но и от способности машины к маневрированию (осуществлению поворота).

На сопротивление повороту оказывают влияние большое число параметров, включающих весовую нагрузку на движитель, физико-механические свойства грунта и конструктивные данные движителя.

В результате сравнительных испытаний двух машин — ЛФМ-66 и ЛФМ-72 — можно сказать, что мень-

шим сопротивлением повороту, а следовательно, лучшей маневренностью обладает ЛФМ-66, имеющая по одной винтовой секции с каждого борта. Однако при проектировании новой машины необходимо учитывать ее назначение. Так, транспортной машине необходима хорошая маневренность, а к машинам, предназначенным для работы с навесными рабочими органами, предъявляются требования повышенной устойчивости прямолинейного движения. Схема роторно-винтового движителя с двумя винтовыми секциями по борту (ЛФМ-72) обеспечивает лучшую устойчивость прямолинейного движения.

Следует отметить, что при движении по косогорам машинам с данной схемой движителя не грозит «скатывание» со склона, т. е. эффективность движения по сильнопересеченной местности значительно выше.

Таким образом, машины с конструктивной схемой роторно-винтового движителя, как на ЛФМ-72, обладающие высокими сцепными качествами и устойчивостью прямолинейного движения, могут быть рекомендованы как предпочтительные для работы с навесными рабочими органами.

На испытаниях машина показала хорошие тягово-сцепные качества, они выше, чем у вездехода предыдущего образца. Скорость движения по снегу — 17 км/час; на воде — 12 км/час. Тяговое усилие на крюке — 3650 кг. Машина легко выходила из воды на лед, преодолевала подъемы снежных склонов в 35—40°.

Ледофрезерная машина ЛФМ—РВД-75 создана для специального назначения — как ледорезная. Машина также имеет сконструированный под данный тип движителя корпус и предназначена для резки льда в весенний период с целью защиты гидротехнических сооружений.

В качестве рабочего органа использована дисковая фреза диаметром 200 мм, которой можно резать лед толщиной до двух метров. Вес машины с навесным оборудованием — 6000 кг. Мощность двигателя — 115 л. с. Габариты машины: длина — 6000 мм, ширина — 3200 мм, высота — 2200 мм, клиренс — 500 мм.

Конструктивные данные движителя такие же, как у ЛФМ—РВД-72.

Транспортная скорость машины до 18 км/час.

Рабочая скорость до 400 м/час.

Производительность машины при фрезеровании сквозной щели во льду с шириной щели 150 мм — 90 м³/час.

На испытаниях в Красноярском крае машина показала результаты, соответствующие расчетным, свидетельствующие о ее высокой эффективности.

Зарубежные машины на роторно-винтовом движителе

Фирма «Крайслер» (США) в 1961 г. выпустила экспериментальный образец понтонного винтохода-амфибии — «Marsh Serew». Машина снабжена 6-цилиндровым двигателем с водяным охлаждением марки «Слент-6», номинальная мощность 116 л. с. при 3600 об/мин. Рабочий объем 3850 см³. Двигатель соединен к стандартной 3-скоростной автоматической трансмиссии.

Бортовая передача представляет собой бесшумную цепную передачу с передаточным числом 6,55:1.

Корпус машины изготовлен из алюминиевого сплава. Собственный вес машины составляет 1040 кг, длина 4100 мм, ширина 2400 мм, высота 1700 мм, клиренс 508 мм.

Роторно-винтовые движители «Крайслера» имеют следующие конструктивные габариты: диаметр базового цилиндра 650 мм, высота зацепов 75 мм, угол подъема винтовой линии 32°.

Управление машиной идентично управлению автомобилем. При одном отключенном движителе машина может преодолевать дороги с твердым покрытием, двигаясь при этом поперечно.

Во время испытаний машина показала легкую управляемость и хорошую маневренность. Испытания проводились по 100-часовой программе на воде, по песку, грязи, на болотах. Машина развивала скорость по воде 12 км/час (водитель и 475 кг груза), по болоту — 16 км/час. При движении по глубокому сухому снегу машина достигла 32,5 км/час.

Результаты испытаний показали, что машина лучше работает при движении по грязи при наличии на поверхности свободно стоящей воды.

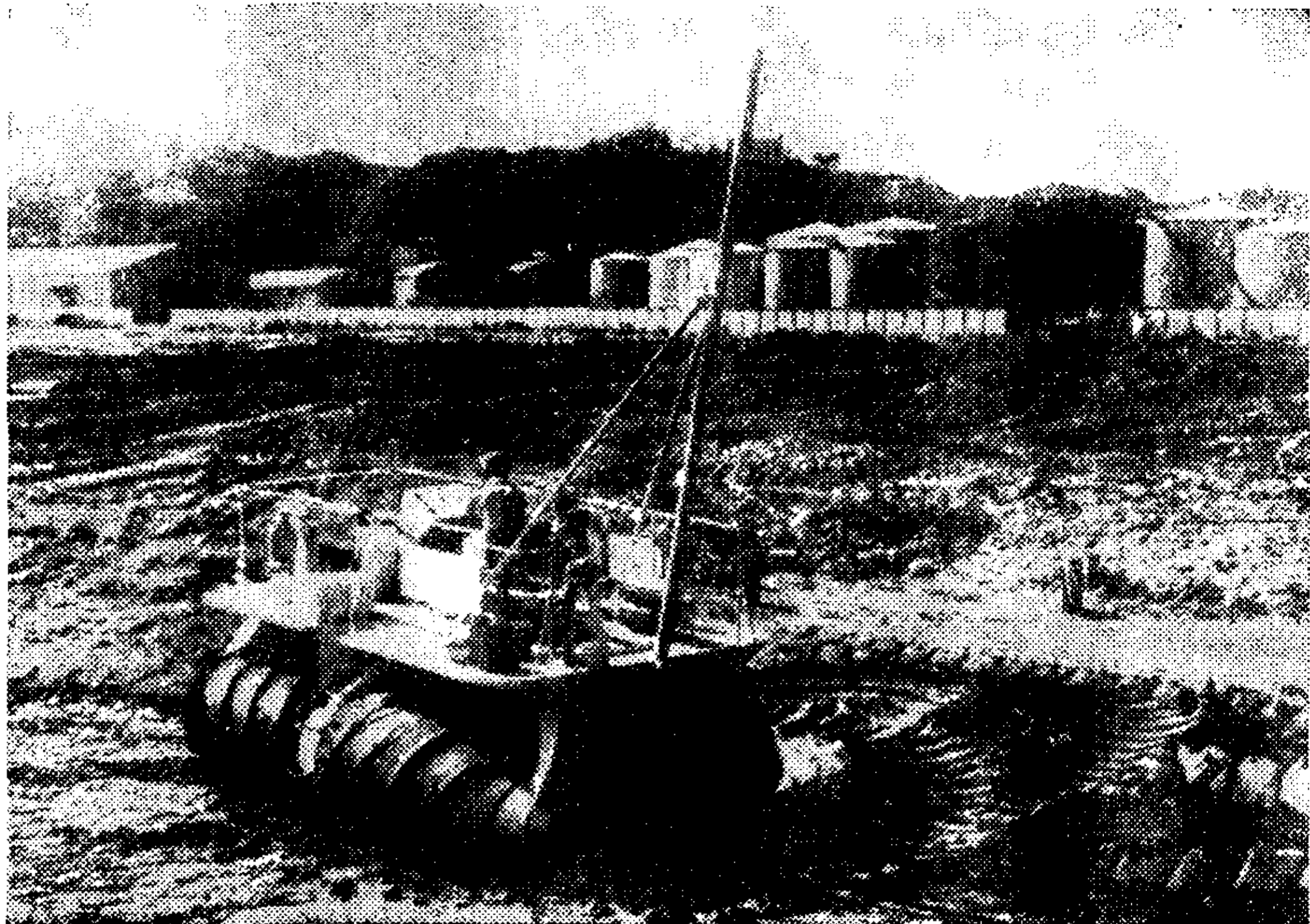


Рис. 19а. Японская роторно-винтовая машина (тип «S»)

Над созданием аналогичной амфибии работают фирмы «Астро-Системс» и «Пневмо-Дайн Эмикс» (США).

Транспортер предназначен для использования его на сильнозаболоченной местности, например такой, как рисовые поля, которые непроходимы для машин других типов.

На стадии исследовательских работ был построен экспериментальный образец. Его длина составляла 5,6 м. Роторы имели длину 4,57 м. Колея — 1,68 м. Диаметр базового цилиндра — 0,305 м. Угол наклона винтовой линии — 30° . Зацеп по длине имел переменную высоту от 5,1 см в передней части до 15,2 см в кормовой.

В силовой передаче установлена 2-скоростная КПП и распределительная коробка. Высшая передача предназначена для движения по воде, низшая — для движения по суше.

Машина преодолевала уклоны около 6° на песчаных и покрытых галькой берегах. Отмечены трудности, возникшие при переходе машины с воды на сушу. Они заключаются в том, что зацепы, имеющие пе-

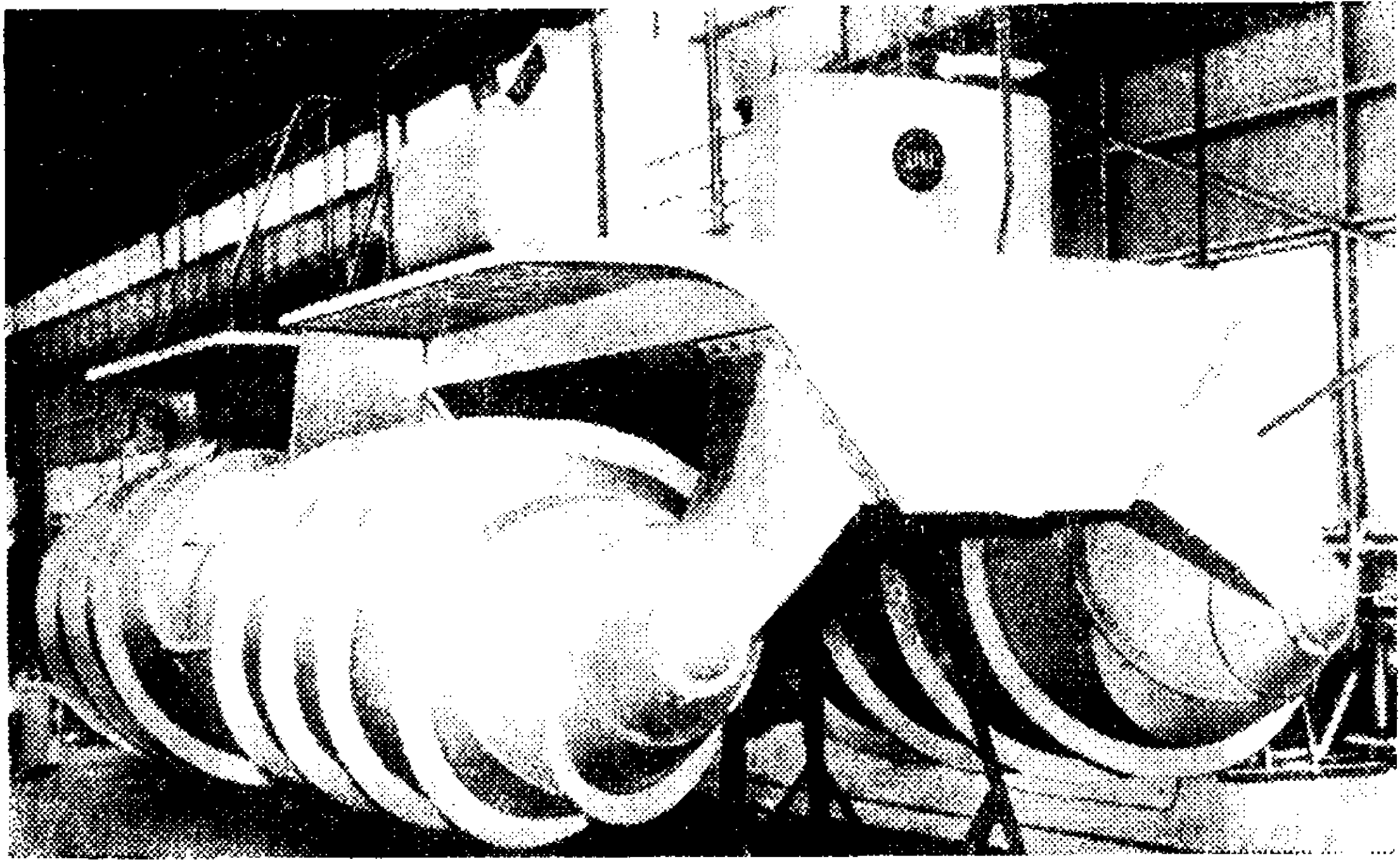


Рис. 196. Японская роторно-винтовая машина (тип «L»)

Таблица 2. Параметры машины „Dorothy“

| | Тип «S» | Тип «L» |
|--|---|--|
| Длина | 5160 мм | 8300 мм |
| Ширина | 3440 мм | 5000 мм |
| Высота | 2580 мм | 3400 мм |
| Колея | 2200 мм | 3200 мм |
| Диаметр ротора | 1060 мм | 1600 мм |
| Осадка на воде | 820 мм | 1160 мм |
| Нагрузка, включая вес водителя и топлива | 500 кг | 5000 кг |
| Двигатель | 4-тактный дизель 70 л. с. с водян. охлаж. (дизель легкого автомобиля) | 2-тактный дизель 200 л. с (грузового автомобиля) |
| Максимальный момент | 24 кг/м | 82,8 кг/м |
| Привод роторно-винтов. двигателя | цепной | цепной |
| Вес с нагрузкой | 9 т | 19 т |
| Удельное давление | 0,07 кг/см ² | 0,09 кг/см ² |
| Диаметр винтового ротора | 1,06 м | 1,6 м |

Таблица 3. При испытаниях машины „Dorothy“ были получены следующие показатели:

| | Тип «S» | Тип «L» |
|--|----------------------------|--------------|
| Скорость хода по грунтам различного типа | 10—20 км/час | 10—20 км/час |
| грязи | 3—5 км/час | 2—4 км/час |
| воде | 7 км/час | 5 км/час |
| Радиус поворота на грунтах | | |
| на грязи | $\frac{1}{4}$ длины машины | |
| на воде | $\frac{1}{2}$ длины машины | |
| Углы подъема | | |
| грязь | 6° | |
| грунт | 15° | |
| Тяговое усилие на грязи | 300—500 кг | 1000—2000 кг |

Таблица 4

| № п/п | Образец | Вес, кг | Мощность, л. с. | Скорость макс., км/час | Габариты | | |
|-------|-------------------------------|---------|-----------------|------------------------|----------|-----------|-----------|
| | | | | | длина, м | ширина, м | высота, м |
| 1 | «Мотобоб» | 840 | 21,7 | 32,4 | 0,4 | — | — |
| 2 | «Фордзон» | 3000 | — | 8 | — | — | — |
| 3 | «С—ГПИ-16Ш (ГПИ) | 500 | — | 22 | — | — | — |
| 4 | ВК-2 (ВНИИЗЕММАШ Ленинград) | 1900 | 18 | — | 4,02 | 1,7 | 1,53 |
| 5 | ШН-1 (ЗИЛ) | 3000 | 180 | 14 | 5,6 | 3,15 | 2 |
| 6 | ЛФМ-66 (ОКБ) | 3500 | 85 | 13 | — | 3,2 | 2 |
| 7 | ЛФМ-72 (ОКБ) | 3850 | 115 | 18 | — | — | — |
| 8 | ЛФМ-75 (ОКБ) | 6000 | 90 | 7 | 6 | 3,2 | 2,2 |
| 9 | ПТВ-84 (ОКБ) | 2000 | 115 | 25 | 4 | 2,25 | 2 |
| 10 | РВТ-85 (ОКБ) | 13000 | 240 | 14 | 10 | 4,5 | 3,5 |
| 11 | «March Screw» (США) | 1500 | 116 | 32 | 4,1 | 2,4 | 1,7 |
| 12 | Новая модель «Крайслер» (США) | 6500 | — | 50 | — | — | — |
| 13 | «Dorothy» тип «S» (Япония) | 9000 | 70 | 5 | 5,16 | 3,44 | 2,58 |
| 14 | «Dorothy» тип «L» (Япония) | 19 000 | 200 | 4 | 8,3 | 5,00 | 3,4 |
| 15 | Английская модель (Анг.) | 3000 | 124 | 5 | 2,6 | 2,28 | — |
| 16 | Польский тягач (ПНР) | 2000 | 110 | 9 | 1,5 | — | — |

ременную высоту, различным образом входили в зацепление с грунтом у правого и левого роторов (как в сходственных точках различных роторов, так и по длине одного и того же ротора). Это приводило при выходе машины из воды к возникновению кренов и дифферентов.

Улучшение было достигнуто срезанием зацепов по высоте до 10,2 см. Таким образом, зацепы в кормовой части ротора имели постоянную высоту.

В 1969 г. фирма «Крайслер» по заказу Министерства обороны изготовила серию легких роторно-винтовых бронетранспортеров. Корпус машины из алюминиевого сплава. Вес транспортера 6500 кг. На нем установлены два двигателя V-8 «Chrysler». Габариты транспортера: длина 6000 мм, ширина 4300 мм, высота 2400 мм. Максимальная скорость до 50 км/час.

В 1965—1966 гг. на одной из фирм в Японии сконструировали, изготовили и испытали вездеход-амфибию на роторно-винтовом движителе — «Dorothy». Были изготовлены машины двух типов: типа «S» и типа «L», разной грузоподъемности и разного применения.

Вездеход-амфибия типа «S» — транспортная машина, предназначенная для перевозки людей, легких материалов, а также для экскурсий, рыболовства и т. д.

Вездеход типа «L» предназначен для использования в качестве крановой машины для перевозки разных материалов, строительной машины при осушении болот, заливов; для перевозки бурильной или насосной установки и т. д.

Роторно-винтовой движитель «Dorothy» имеет следующие особенности: он представляет собой 4 винтовых ротора, по два с каждой стороны. Вращение роторов противоположное, соответственно винтовая линия — левая и правая (см. рис. 18 ЛФМ—РВД-72).

Каждый ротор имеет самостоятельный привод, что обеспе-

| Параметры движителя | | |
|---------------------|-------|-----------|
| a | D | φ |
| 0,4 | 0,5 | 40 |
| 0,7 | — | 28 |
| 0,3 | 0,39 | 42 |
| — | 0,43 | — |
| 0,62 | 0,8 | 17 |
| 0,6 | 0,8 | 26 |
| 0,7 | 0,9 | 28 |
| 0,7 | 0,9 | 28 |
| 0,5 | 0,65 | 30 |
| 1,2 | 1,5 | 30 |
| 0,65 | 0,8 | 32 |
| — | — | 40 |
| — | 1,06 | — |
| — | 1,6 | — |
| 0,32 | 0,535 | 30 |
| 0,55 | 0,85 | 35 |

чивает хорошее маневрирование, и при передвижении по твердому грунту машина может перемещаться в поперечном направлении.

На испытаниях амфибии показали хорошие ходовые качества на воде, грязи и болотах.

В Голландии испытывается машина на роторно-винтовом движителе «Амфирол», но достоверных сведений о результатах испытаний в настоящее время недостаточно.

В табл. 4 приведены основные конструктивные данные наиболее известных образцов роторно-винтовых машин.

Перспективы использования роторно-винтовых амфибий

Способность роторно-винтовых машин двигаться в условиях, где не могут пройти колесные и гусеничные вездеходы, определяет и возможные области использования их. Изыскания и разведка болот, строительство торфопредприятий, сельскохозяйственная мелиорация, разработка льда, снега и мерзлого грунта, движение в ледоход — вот тот неполный перечень работ, на которых могут эффективно применяться роторно-винтовые амфибии.

Одним из перспективных путей повышения эффективности машин на роторно-винтовом движителе, и в частности проходимости их, является разгрузка секций движителя от вертикальных усилий. Каждому типу грунтовых условий в идеальном случае должен соответствовать движитель определенных конструктивных параметров (длины, диаметра базового цилиндра, угла подъема винтовой лопасти, высоты лопасти и т. д.), имеющий на данном грунте оптимальные тяговые и мощностные характеристики. Их несоответствие приводит к ухудшению динамических качеств машины.

Условия работы движителя на разных грунтах могут быть значительно улучшены вариациями величины вертикальной нагрузки, воспринимаемой секциями движителя. Вертикальная нагрузка должна быть такой, чтобы лопасти РВД погружались в грунт на высоту, обеспечивающую требуемое тяговое усилие, т. е. отсут-

ствовали бы излишние потери мощности на трение базового цилиндра о грунт.

Величина разгрузки оценивается коэффициентом разгрузки, показывающим, какая часть веса машины воспринимается двигателем. Изменяется этот коэффициент от 0 до 1, т. е. 0 — двигатель не разгружен; 1 — двигатель полностью разгружен.

При разгрузке уменьшается как сопротивление движению, так и тяговое усилие двигателя, однако интенсивность уменьшения сил сопротивления больше, чем тягового усилия, что в конечном итоге в некотором интервале разгрузки дает прирост тягового усилия.

Испытания крупномасштабной роторно-винтовой модели показали, что оптимальный интервал разгрузки находится в пределах 0,45—0,82. Нижняя граница характеризует резкое возрастание потерь на трение, верхняя — сцепной вес недостаточен для получения требуемого тягового усилия. Кроме того, при разгрузке свыше 0,8 значительно ухудшается устойчивость прямолинейного движения.

Существенным недостатком роторно-винтовых машин является их неспособность двигаться на большие расстояния по дорогам с твердым покрытием. Для преодоления этого недостатка конструкторами было предложено несколько новых решений. Довольно успешно используется такой выход из положения, как движение боком. Для этого в трансмиссию привода двигателя необходимо изготовить редуктор, чтобы винтовые роторы обоих бортов вращались в одну сторону.

Предлагалось также устанавливать на винтовые роторы съемные роликовые цепи, которые позволяют машине двигаться по твердым дорогам.

Одним из радикальных решений является использование на вездеходе комбинированного двигательного комплекса. В случае движения машины по дорогам с твердым покрытием применяется обычный колесный двигатель.

Как только возможности колесного двигателя в зависимости от грунтовых условий использованы полностью, водитель убирает его с помощью привода гидравлической системы, не выходя из кабины, и в действие вступает роторно-винтовой двигатель. Такой двигательный комплекс обеспечивает вездеходу полную проходимость в любых грунтовых условиях.

В настоящее время в ОКБ «РАЛСНЕМГ» Горьковского политехнического института разрабатывается конструкция универсального вездехода с колесно-роторно-винтовым двигателем вместимостью 5 человек, предназначенного для выполнения транспортных операций в различных грунтовых условиях — на шоссейной дороге, твердом и заболоченном грунте, воде, снеге, на сильнопересеченной местности и др.

При движении по шоссе на колесном двигателе расчетная скорость до 60 км/час, на болотах и воде — до 15 км/час, по снегу — до 25 км/час.

ЗАКАЗНОЕ ИЗДАНИЕ

*Аркадий Федорович Николаев
Анатолий Павлович Куляшов*

Роторно-винтовые амфибии

Редактор **Е. Е. Звонарева**
Худож. редактор **В. В. Кременецкий**
Техн. редактор **М. И. Юннсова**
Корректор **Л. А. Головина**

Сдано в набор 20/VI 1973 г. Подписано к печати 21/XI 1973 г. МЦ 18 452.
Бумага типогр. № 1, ф. 84×108^{1/32}—2,52 усл.-печ. л.; 2,23 уч.-изд. листа.
Тираж 600 экз. Заказ № 6163. Цена 9 коп.

Волго-Вятское книжное издательство, г. Горький, Кремль, 2-й корпус.
Типография изд-ва «Горьковская правда», г. Горький, ул. Фигнер, 32.

100

100