

НАЗЕМНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 629.113

**В.Е. Колотилин, А.В. Михеев, П.О. Береснев, А.М. Беляев, А.В. Папунин,
В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин, В.В. Беляков, А.А. Куркин**

СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЫБОРА ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ, МАССОВО-ИНЕРЦИОННЫХ И МОЩНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН НА РОТОРНО-ВИНТОВЫХ ДВИЖИТЕЛЯХ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассматриваются зависимости и делаются выводы о влиянии грузоподъемности на мощность двигателя и скорость движения транспортно-технологических машин, оснащенных роторно-винтовым двигателем, к обуславливающим их подвижность, технологическую производительность и эффективность. Приводится методика рационального выбора типа машины, систем управления маневренностью, обеспечение общей потребной мощности, грузоподъемности, максимальной скорости движения.

Ключевые слова: роторно-винтовой движитель, мощность, масса, диаметр ротора, высота лопасти, угол наклона винтовой линии.

Разнообразные природно-климатические и геофизические (опорно-профильные ледово-снежные грунтовые) условия требуют для решения важных производственных задач специальных мобильных технических средств. В сильно заснеженных, заболоченных и заилиных районах обычные машины с колёсным или гусеничным двигателем не могут работать достаточно эффективно. В этих условиях применяются машины с нетрадиционными опорно-тяговыми системами, одной из которых является роторно-винтовой движитель (РВД). Конструкция транспортного средства, оснащенного роторно-винтовым (шнековым) двигателем, представляет собой два винта или две пары винтов Архимеда, выполненных из особо прочного материала и установленных на жёсткой раме. «Шнекоход» очень хорошо зарекомендовал себя при езде по сыпучим и обводнённым грунтам, по песку, снегу, шуге (микс льда и воды). Он обладает способностью преодолевать крутые подъёмы, водные преграды. Однако шнек – роторно-винтовой движитель медлительный, расходующий энергию не только на перемещение транспортного средства, но и на повреждение (экскавацию) материала опорного основания, по которому он движется, поэтому непригоден для езды по асфальту или бетону. Для транспортировки шнекохода на твердых поверхностях обычно используется специальная платформа.

Впервые такой движитель на транспортном средстве применил Дж. Стивенс. В 1804 г. он построил пароход с роторно-винтовым двигателем и испытал его на реке около Нью-Йорка. В 1874 году в Канаде Августину С. Труделу был выдан патент на транспортное средство, приводимое в движение роторно-винтовым двигателем (рис. 1). При этом история создания первого «сухопутного шнекохода» весьма запутана.

Считается, что первый «сухопутный шнекоход» (рис. 3) был изобретён в 1868 г. американским инженером швейцарского происхождения Дж. Дж. А Моратом (J.J. A. Morath) в США в Сент-Луисе как «сельскохозяйственная машин, приводимая в движение Архимедовым винтом» (Agricultural Machine). Однако патент был получен Моратом только в 1899 г. Другая версия о создании первого «сухопутного шнекохода» относится к 1898 г. к временам Золотой лихорадки Клондайка. Это была машина, оснащенная деревянными шнеками (рис. 4). Есть предположение, что она приводилась в движение паром, однако более подробной информации не имеется.

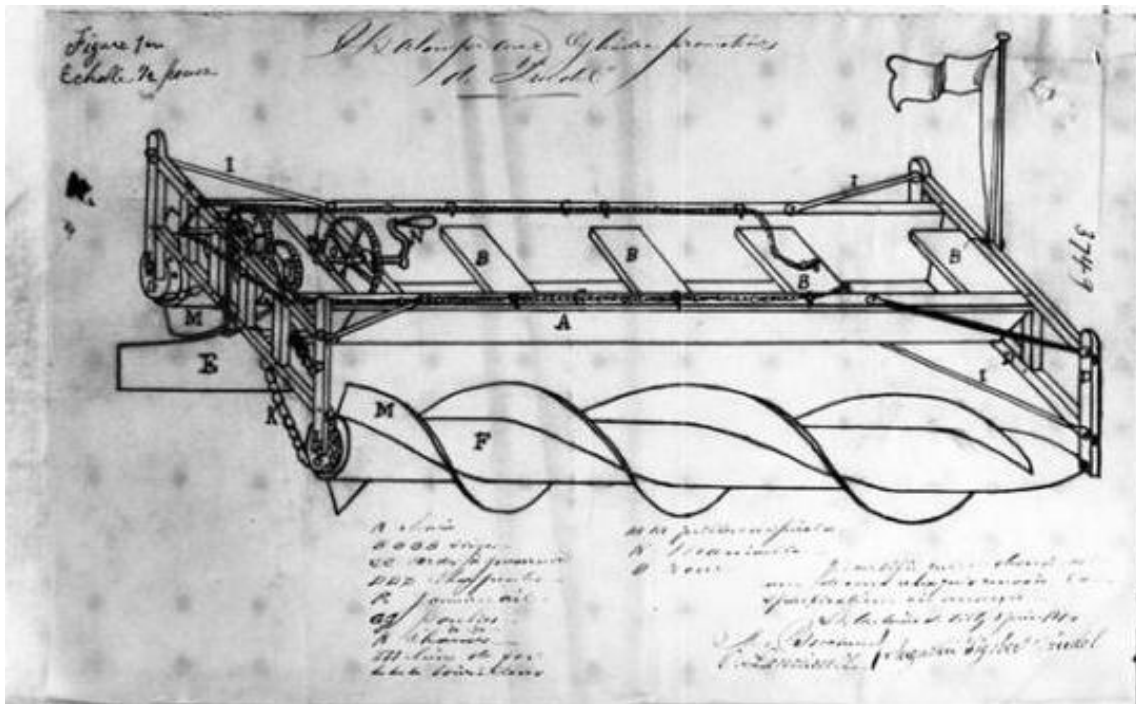


Рис. 1. Одна из первых схем транспортного средства, оснащенного роторно-винтовым движителем (патент 1874 г. А.С. Трудела)

Мората считают первым изобретателем «сухопутного шнекохода», но по ряду интернет-источников [http://www.tankovedia.ru/pulication/boevye_shnekohody, дата доступа 10.07.2015] это не так. За 1,5 г. до машины Мората в 1897–1898 гг. патент под номером US600672 на изобретение Ice or Snow Locomotive (ледяной или снежный локомотив) получил Уильям Генри Харви из Торонто (Канада). Впрочем, истинному изобретателю шнекохода, Томасу Л. Джонсу, он годится во внуки. Патент под номером US2727 на своё изобретение тот получил 16 июля 1842 г., причём шнековый движитель Томас Л. Джонс предлагал как для наземных машин, так и кораблей (рис. 2).

В России первый патент на «сухопутный шнекоход» был выдан в 1900 г. русскому изобретателю Ф. Дергинту (рис. 5). Конструкция была смонтирована на базе обычных крестьянских саней, полозья которых были укорочены и на линии их продолжения установлены тяговые винты, вращающиеся от двигателя. Поворот саней осуществлялся с помощью подрезов (коньков). Сведений о практическом использовании машины Ф. Дергинта не имеется [2].

За создание шнекоходов брались многие конструкторы разных стран (Канады, Германии, Франции, Швеции, США, Японии, Австралии и России) они получали соответствующие патенты и привилегии (рис. 6–10), но информации о первых снегоходах на РВД не так и много.

Так, в 1907 г. был выдан патент на четырехшнековый снежных локомотив. Однако

само создание этой тяговой машины на РВД относится к 1900 г. Существует фотографическое изображение, выполненное в 1915 г., снегохода И. Пиви, который в начале прошлого века некоторое время конкурировал с Ломбардом на ниве создания «сухопутных паровозов». Но, если Ломбард строил классических «полугусей» (полугусеничные машины), то мистер Пиви решил сделать «ход конем» и выполнить ходовую часть своей техники из минимального количества деталей. Вместо гусениц на сложных тележках он поставил два шнека противоположного вращения (рис. 11). Пробовал он создавать машины на РВД и с паровым мотором, и с двигателем внутреннего сгорания (ДВС). В конечном итоге И. Пиви не выдержал конкуренции с Ломбардом. Машина Пиви была построена в одном экземпляре и часто во время эксплуатации застревала в снегу. Возможно, проблема была в том, что шнеки были слишком малы в диаметре.

Во время первой мировой войны канадец С. Коди, работающий на Детройтском заводе по производству боеприпасов, построил маленькую модель (прототип) «сухопутного шнекохода» с полностью закрытой кабиной, предназначенную как амфибийное мобильное десантное средство (рис. 12), и пытался продать идею американским военным. Однако они не заинтересовались, поэтому его идея не была реализована.

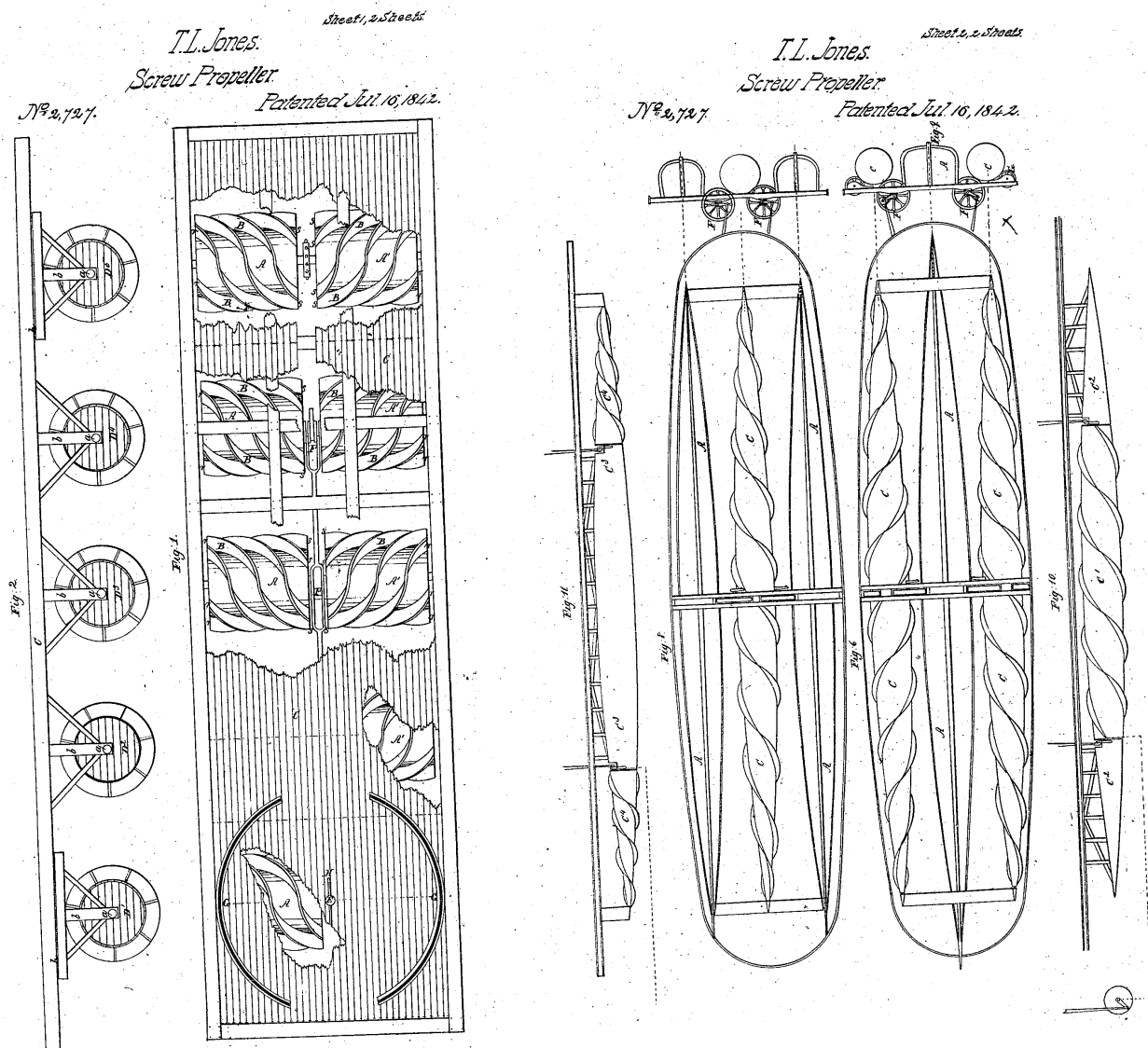


Рис. 2. Патент US2727A – «универсальный шнекоход» Т.Л. Jones (1842 г.)

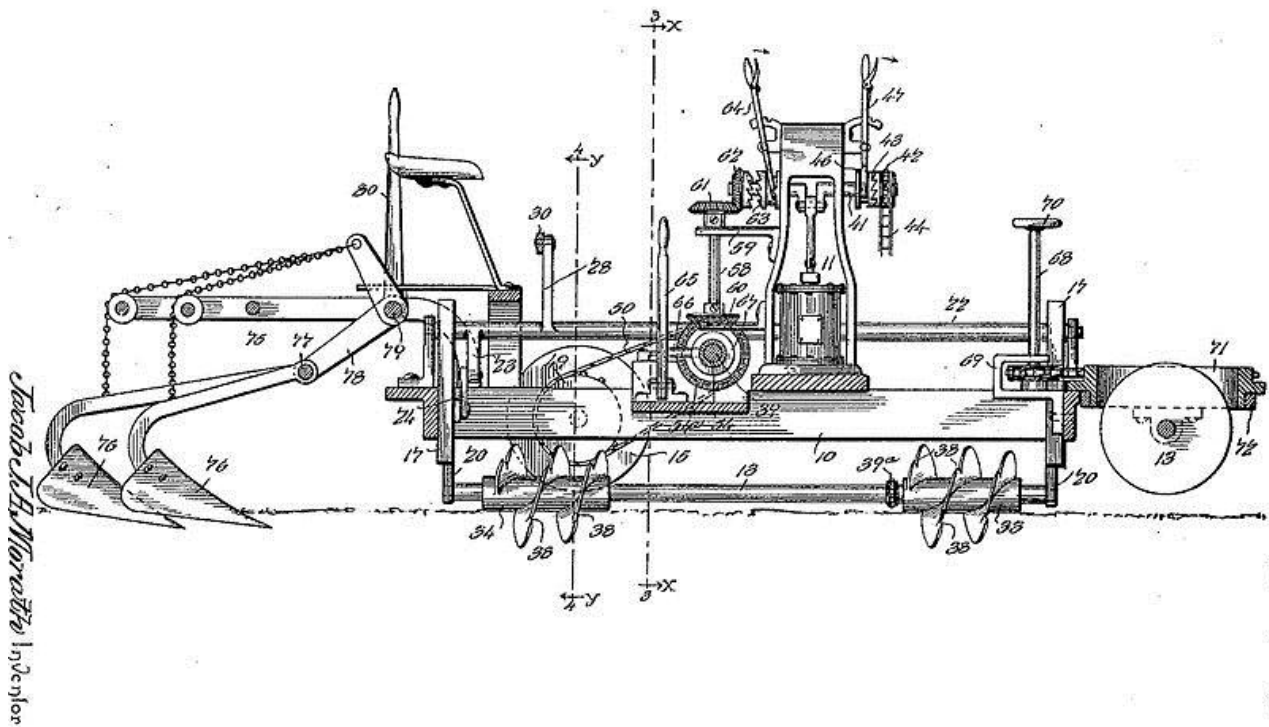


Рис. 3. Сельскохозяйственный шнекоход Дж. Дж. А. (Якоба) Мората (US635501 patent, Сент-Луис, США, 1868-1899 гг.)



Рис. 4. The Klondike Wood Screw (1898 г.)

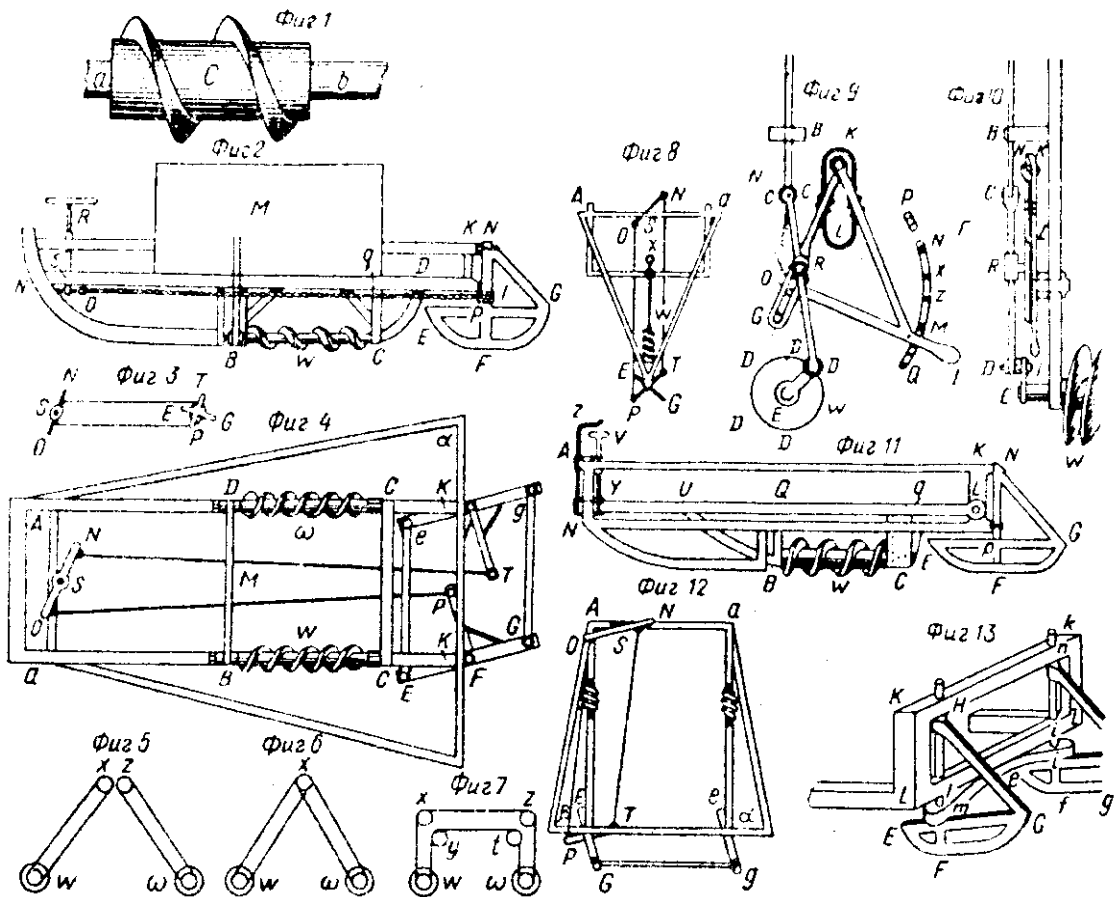


Рис. 5. Из патента на мотосани Ф. Дергинга (1900 г.)

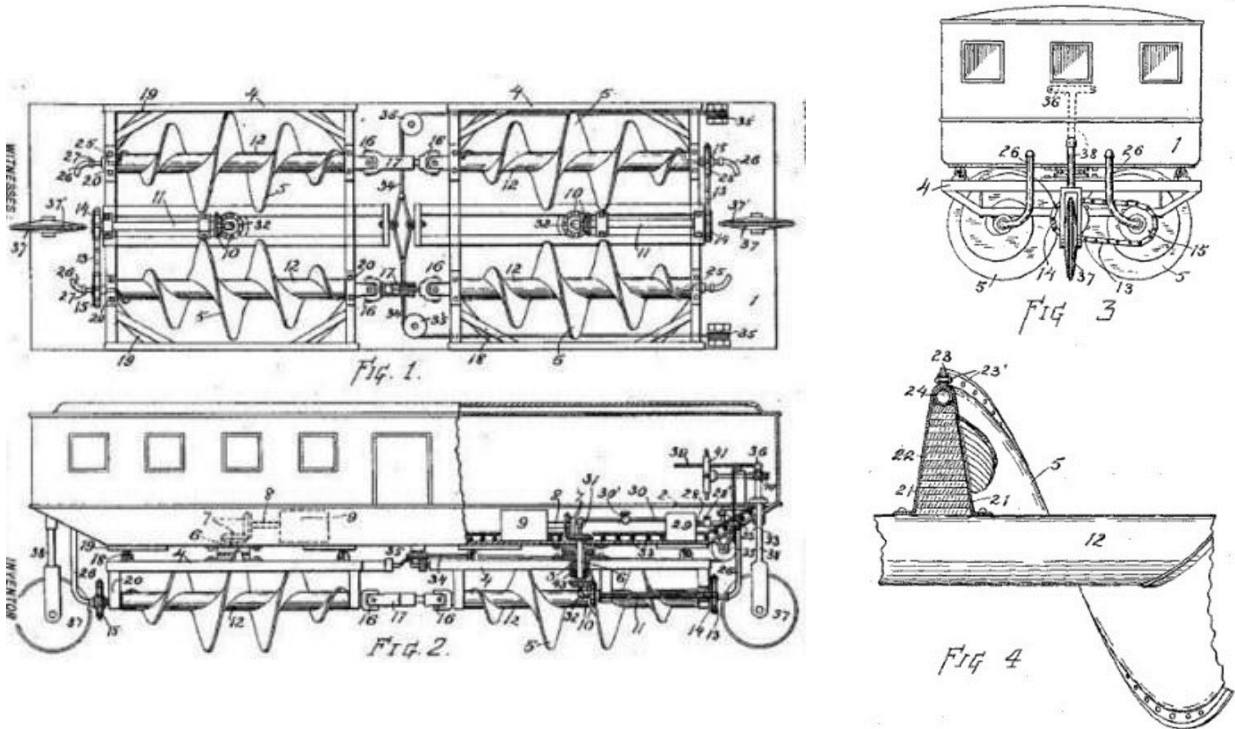


Рис. 6. Шнекоход Screw Locomotive С.Е.С. Burch с управляемыми колесами (US669210 patent, 1901 г.)

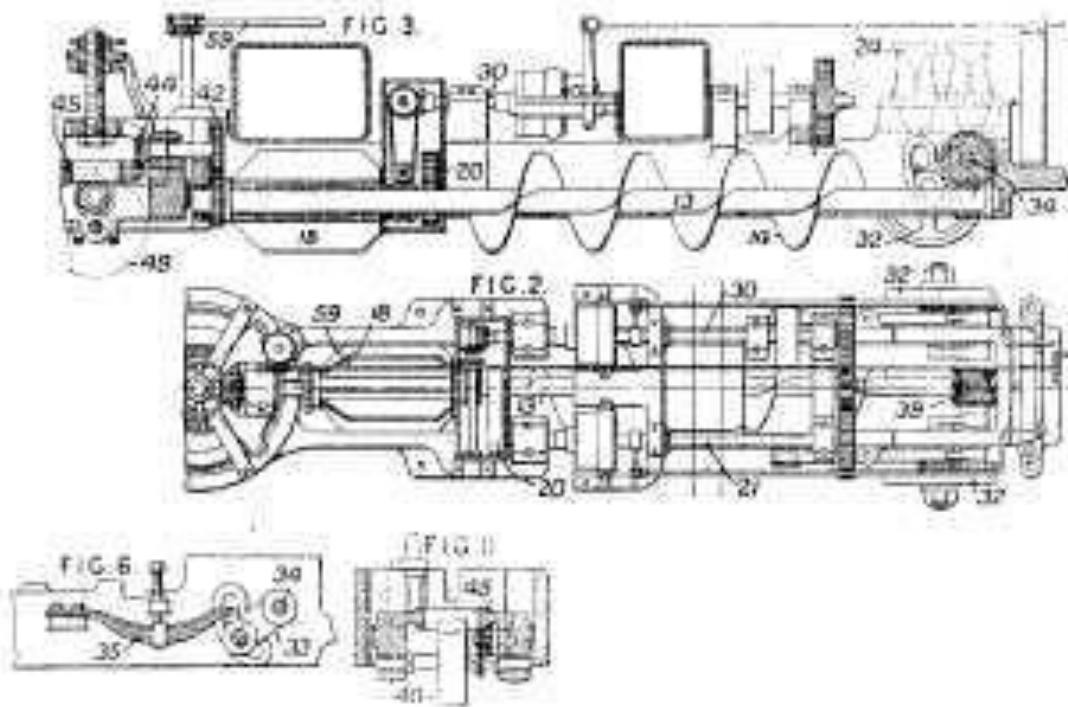


Рис. 7. Патент на улучшение сельскохозяйственных тракторов изобретателя из Англии Д. А. Блокс (GB18674 patent, 1914 г.)

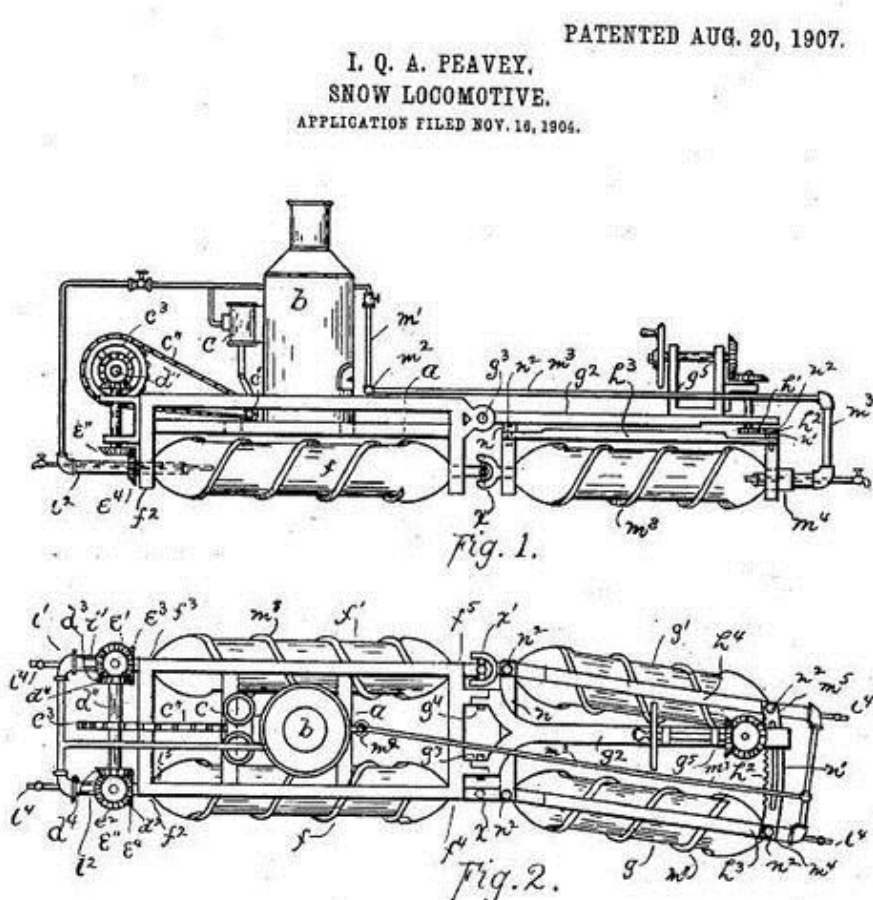


Рис. 8. Из патента И. Пиви на паровой сочлененный шнековый снежный локомотив SNOW LOCOMOTIVE (US864106 patent, 1907 г.)

F. R. BURCH.
MOTOR SLED.
APPLICATION FILED SEPT. 27, 1917.

Reissued Jan. 8, 1918.

14,418.
2 SHEETS—SHEET 1.

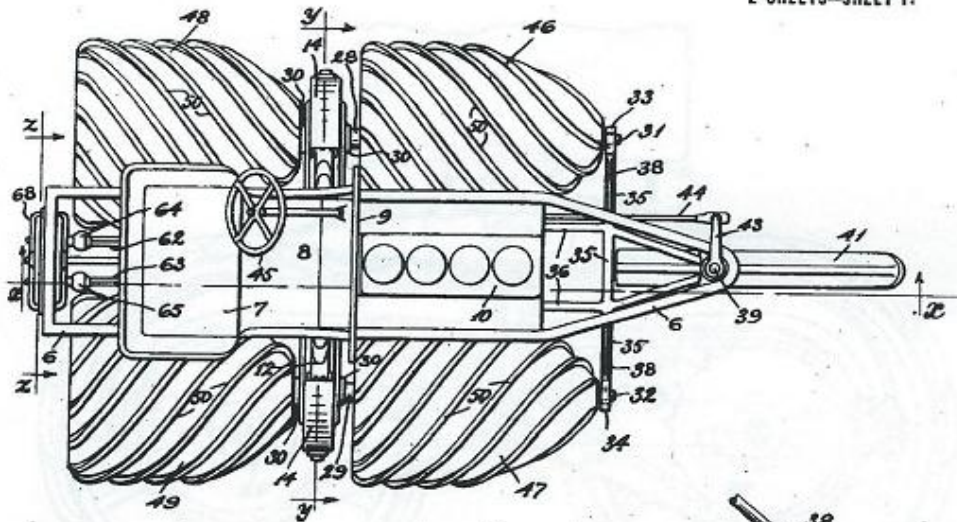


FIG. 1.

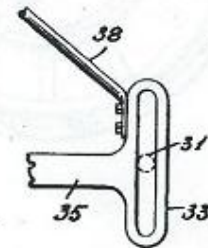


FIG. 3.

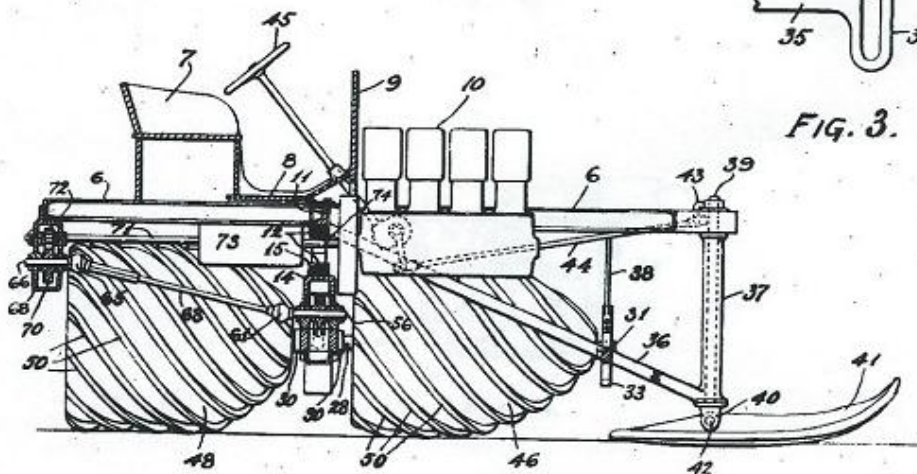


FIG. 2.

Witness

Johnson

By

Inventor
Frederick R. Burch

C. D. Hutchins
Attorney

Рис. 9. Оригинальный РВД-снегход Ф.Р. Бурча (1918 г.)

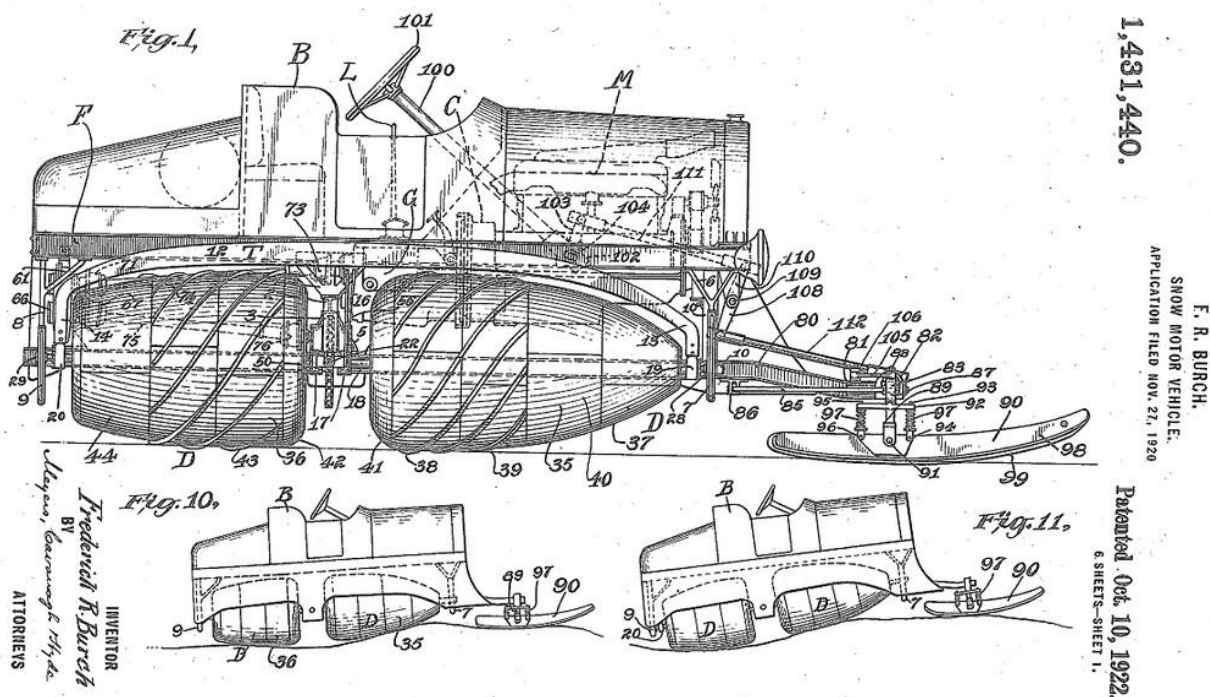


Рис. 10. Снегоход Ф.Р. Бурча «SNOW MOTOR VEH»(1922 г.)

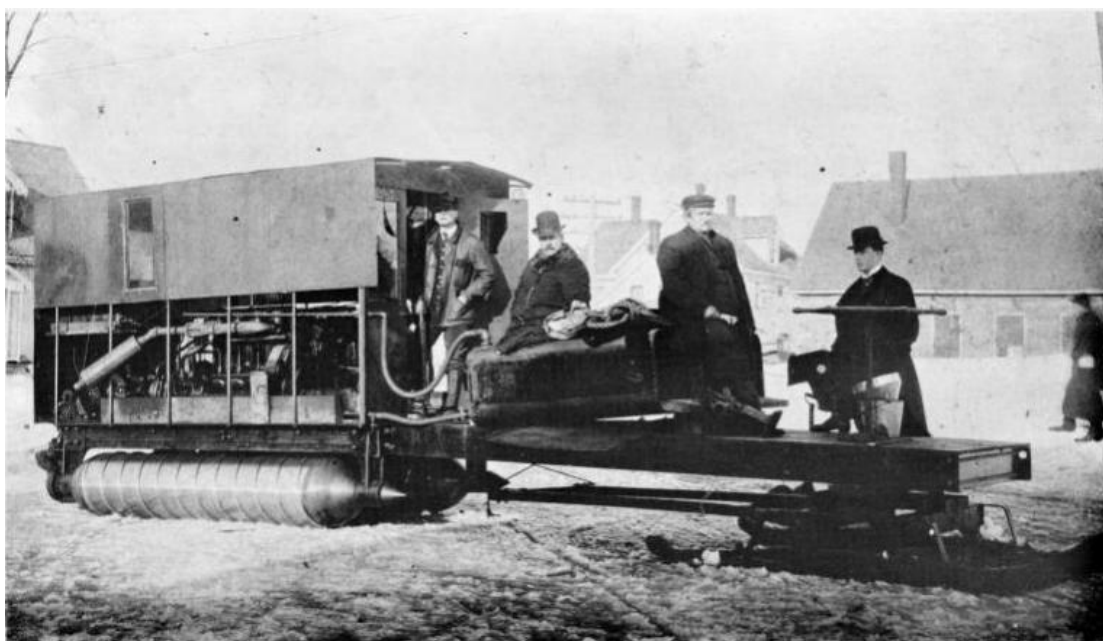


Рис. 11. Снегоход И. Пиви со шнековым движителем и ДВС (США, 1915 г.)

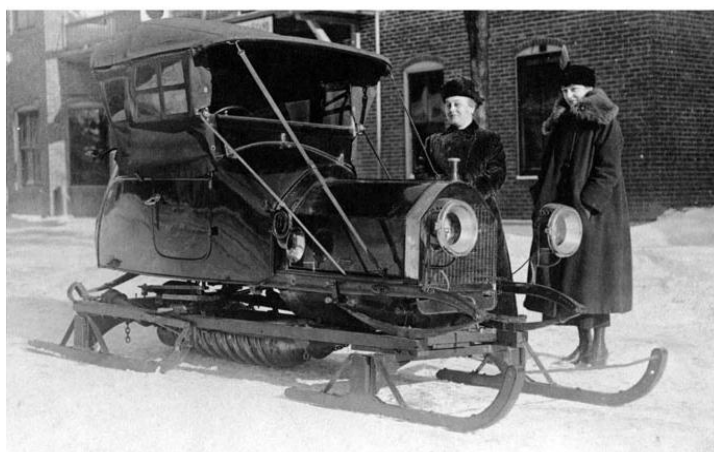
В этот период во Франции и Швеции появляются шнековые движители, приспособленные к автомобилям (рис. 13) и предназначенные для обеспечения возможности передвижения по снегу. Эти машины имели винтовой движитель, установленный между задними колесами автомобиля. Шнек приводился во вращение от двигателя через специальную передачу.

Первоначально на автомобили ставился один такой движитель, а позднее два параллельных. Шнеки на автомобили устанавливались на шарнирной подвеске, водитель машины посредством системы рычагов мог опускать и поднимать их, то есть регулировать высоту по отношению к колесам автомобиля. При движении по глубокому, рыхлому снегу достаточно было опустить шнек, чтобы он погружался в более плотный слой, обеспечивая лучшее сцеп-

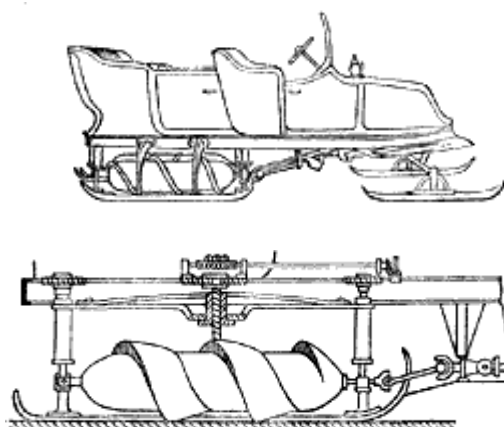
ление с полотном пути. Позднее шнек начали ставить на пружинной подвеске, и та же операция выполнялась автоматически, упразднялась сложная рычажная система управления положением движителя относительно грунтово-дорожного основания.



Рис. 12. Жестяная модель плавающего танка Коди со шнековым движителем (Канада, 1918 г.)



a)



б)

Рис. 13. Автомобиль с РВД-лыжным движителем:

a – общий вид автомоиля на РВД-лыжном движителе; *б* – установка шнека на автомобиль

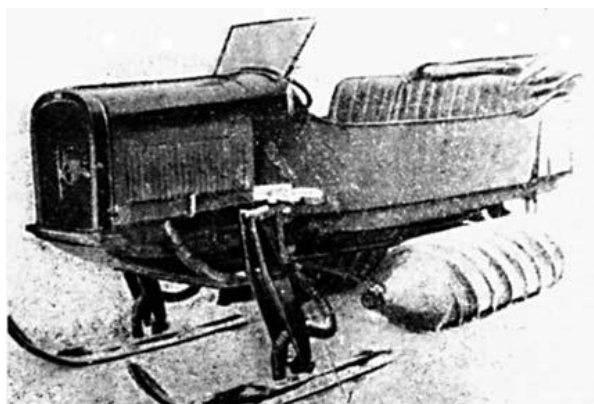
В первых вездеходах, оснащенных РВД, шнек работал недостаточно надежно, а сами машины имели слишком узкие управляемые колеса, которые под весом автомобиля глубоко погружались в снег и создавали большое сопротивление движению. Да и конструкция шнека была также несовершенна. Небольшого диаметра стержень и высокое узкое ребро его винтовой нарезки не уплотняли снег, а на твердом насте автомобиль мог перемещаться и без такого движителя.

Следующий этап развития шнекового транспорта - увеличение диаметра винтового движителя, резкое уменьшение высоты спирального ребра и замена колес на лыжи. Эти усовершенствования резко повысили эффективность работы шнека. Теперь он превратился в цилиндр большого диаметра, который при перемещении хорошо уплотнял снег, а винтовое ребро, хотя и было меньшей высоты, работало значительно лучше. Испытания показали, что сцепление такого шнека с грунтом возрастает с увеличением приходящейся на него нагрузки.

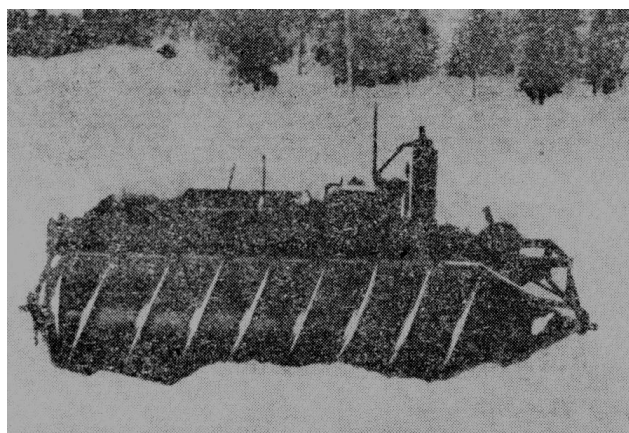
Это наблюдение привело к этапу развития вездеходов рассматриваемого типа, который можно назвать *современным*, так как он захватывает и сегодняшний день. Конструкторы

отказались от приспособления шнекового движителя к автомобилю и стали строить специальные машины, в которых вся масса распределяется между двумя винтовыми движителями и передними управляемыми лыжами.

В 1922 г. Дж. Тьюкер создал «Мотобоб» (Motobob) - машину на роторно-винтовом движителе (рис. 14, а), в котором два винтовых ротора крепились к консольным рессорам параллельно направлению движения. Привод на роторы шел от двигателя с воздушным охлаждением, при этом основной вес приходился на лыжи. Мотосани «Мотобоб» были спроектированы только для передвижения по снегу. Конструкция движителя несколько отлична от предыдущей. Перед винтовыми барабанами были установлены лыжи для управления движением и уплотнения снежного покрова. Диаметр барабанов 400 мм, угол подъема винтовой линии 40° . В 1926 г. в конструкцию опорно-тягового механизма были внесены изменения, в результате чего остались только одни винтовые роторы (рис. 14, б).



а)



б)

Рис. 14 Снегоходы Тьюкера:

а - Мотобоб» (Motobob) (1922 г.);

б - снегоход с роторно-винтовым движителем (1926 г.)

Таким образом, появилась и еще одна разновидность шнековых машин, у которых уже не было ни колес, ни лыж, а движители представляли собой цилиндры большого диаметра с трех-, четырехзаходной навивкой рабочего ребра. Управление осуществлялось как на гусеничных машинах – торможением одного из шнеков. Такая конструкция считается наиболее перспективной, поскольку дает возможность использовать подобные машины не только зимой, но и в условиях полного бездорожья.

В 1929 г. появился шнековый трактор «Снежный дьявол», который производился серийно компанией Armstead Snow Motor на базе трактора Fordson (рис. 15). Трактор Fordson имел в качестве движителя два несущих барабана с винтообразными зацепами. Подвеска винтовых барабанов жесткая, без упругих элементов. Винтовые барабаны – стальные, пустотелые, с диаметром 700 мм и углом наклона винтовой линии зацепов 28° .

Поворот трактора осуществлялся торможением одного из движителей. Существенным недостатком конструкции являлась недостаточная устойчивость прямолинейного движения. При увеличении скорости устойчивость еще более уменьшалась, и только опытный водитель мог управлять машиной, поддерживая прямолинейность движения. Устойчивость прямолинейного движения еще более ухудшалась при движении с малым погружением движителя в грунт. На рыхлом однородном снежном покрове при погружении на четверть диаметра и более устойчивость была удовлетворительной.

При испытаниях на снежной целине у трактора Fordson с роторно-винтовым движителем были более высокие тягово-сцепные показатели, чем у такого же трактора с гусеничным

двигателем (при одинаковых показателях экономичности). Тяговое усилие, развиваемое трактором на РВД, позволило буксировать несколько санных прицепов общим весом 3280 кг по снежной целине и проселочной дороге со средней скоростью 4,5 км/ч.

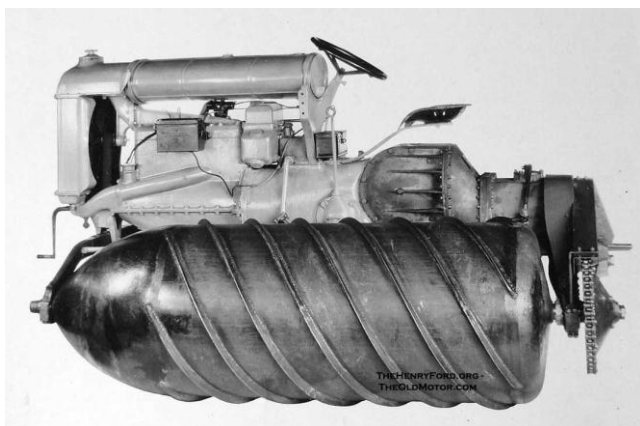


Рис. 15. Трактор «Fordson» на РВД «Снежный Дьявол» (1929 г.)

Снегоходные машины с роторно-винтовым двигателем – мотосани Motobob и трактор тягач Fordson – были испытаны А.А. Крживицким [3] в середине 20-х годов XX в.

На испытаниях при общей массе с тремя пассажирами 840 кг и мощности двигателя внутреннего сгорания 15,96 кВт (21,7 л.с.) Motobob имел более высокую скорость, чем трактор Fordson»: по снежной целине – 10 км/ч, по уплотненному снегу с ветровым настом – 20,7 км/ч, по заснеженному шоссе – 32,4 км/ч. При движении по снежной целине устойчивость движения Motobob была удовлетворительной, однако на укатанной снежной дороге устойчивость прямолинейного движения зачастую не выдерживалась. Трактор тягач Fordson, построенный на базе американского трактора Ford, имевший в качестве двигателя два несущих шнека диаметром 700 мм, мог буксировать по снежной целине санный прицеп массой 3280 кг со скоростью 4,5 км/ч.

Рекламный проспект 20-х годов XX в. утверждал, что трактор Fordson» на роторно-винтовом двигателе мог тянуть 20 т бревен. Заказы на поставку этих машин приходили в США из Канады, Норвегии, Швеции, Аляски, а также известно, что шнековый трактор Fordson прошел большую промышленную апробацию в России.

Машины со шнековыми двигателями имеют ряд преимуществ: относительная простота, плавность хода, хорошее тяговое усилие. Но тогда же вскрылись и минусы, в основном заключающиеся в небольшой скорости, плохой маневренности, недостаточной надежности конструкции. Немаловажным фактором явилась и ограниченность мест целесообразного

использования шнекоходов по сравнению с гусеничными машинами и автомобилями повышенной проходимости. Все это послужило причиной ослабления внимания к роторно-винтовому движителю.

Мало что известно о машинах на роторно-винтовых движителях периода с 1929 г. по 1936 г. и времен второй мировой войны (1936-1945 гг.). Известно, что попытки использования роторно-винтовых машин в качестве военных тягачей предпринимались как в США, так и Германии.

Американский изобретатель Э. Такер-старший разработал множество прототипов автомобилей для снега, в том числе SNO JEEP (рис. 16), что привело к созданию в конце 30-х годов его компании, ставшей всемирно известной как Tucker Sno-Cat Corporation и выпускавшей гусеничные снегоходы.

На рис. 18 представлена боевая машина Вермахта на РВД периода 1941–1945 гг., однако о её конструкции и тактико-технических характеристиках нет информации.

В 1944 г. ветераном первой мировой войны, немецким солдатом Й. Рейделем, была разработана SchneeMaschine (рис. 19). Эта идея ему пришла в голову, когда он увидел бедственное положение немецких войск в глубоком российском снегу. Он убедил немецкое командование в Берлине позволить ему создать опытный образец машины и провести её испытание в тирольских горах. Однако машина оказалась мало-скоростной и развивала тягу в одну тонну, имела погружение в снег на 0,3 м и могла преодолевать крутые подъемы.

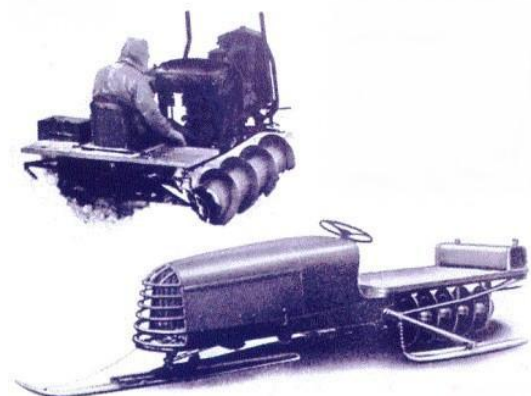
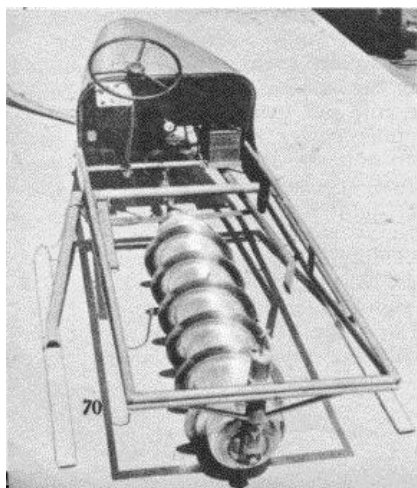


Рис. 16. SNO JEEP Э. Такера-старшего в одношнековой и двухшнековой вариациях (1935 г.)



Рис. 17. Боевая машина Вермахта, оснащенная роторно-винтовым движителем (1941–1945 гг.)

В СССР также были свои идеи по разработке шнекоходов, появившиеся именно в годы войны. При этом речь шла не только о создании таких машин с нуля, но и об установке подобного двигателя на уже имеющиеся машины. Так, в марте 1944 г. подобное предложение поступило от техника-лейтенанта Б. К. Григоренко (рис. 19.). Его идея заключалась в установке на рабочую поверхность винта Архимеда резиновых роликов. Теоретически ролики должны были обеспечить передвижение шнекохода по твердым поверхностям. Также, подобно иностранным конструкциям, планировалось установить шнековые движители на уже существующие танки и машины, но до практической проверки возможностей изобретения Григоренко дело так и не дошло.

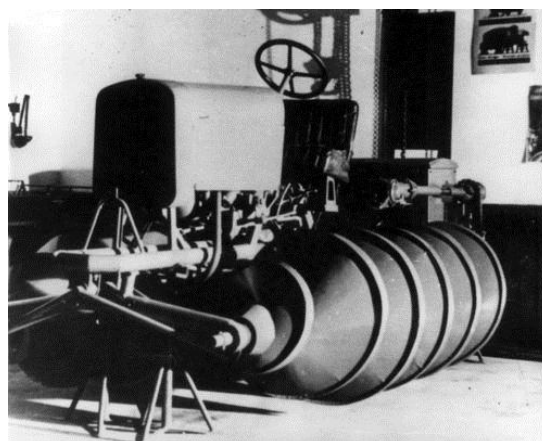


Рис. 18. SchneeMaschine Й. Рейделя (1944 г.)

Куда более радикальный подход к данной проблеме представил инженер-технолог производственной группы Специального экспериментально-производственного бюро Наркомата боеприпасов Б. Бекетов). Еще 29 августа 1942 г. в отдел изобретений Главного бронетанкового управления Красной армии поступило его предложение по разработке новой боевой машины. Бекетов предлагал построить «снежный танк» (рис. 20), по другим ис-

точникам «зимний танк». Автор проекта пытался создать боевую машину массой около 28 т и общей длиной примерно 7 м. Корпус ее представлял собой два соединенных цилиндра, на каждом из которых должны были быть установлены по две башни от танков Т-26. При этом шнековые двигатели занимали большую часть поверхности корпусов, выступая одновременно и в роли элементов бронезащиты.

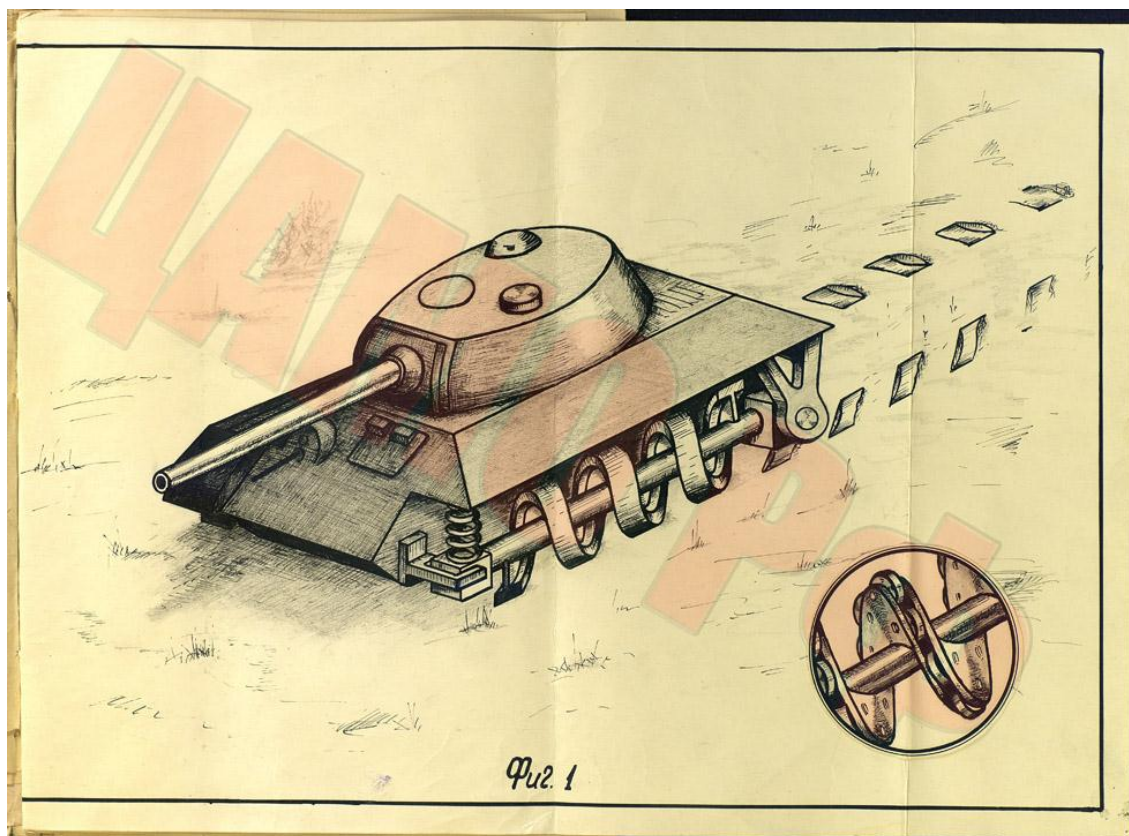


Рис. 19. Танк «Т34-шнекоход» Б. К. Григоренко (1944 г.) [Источник: http://lirate.ru/profile/posts/world_of_kwg/20129]

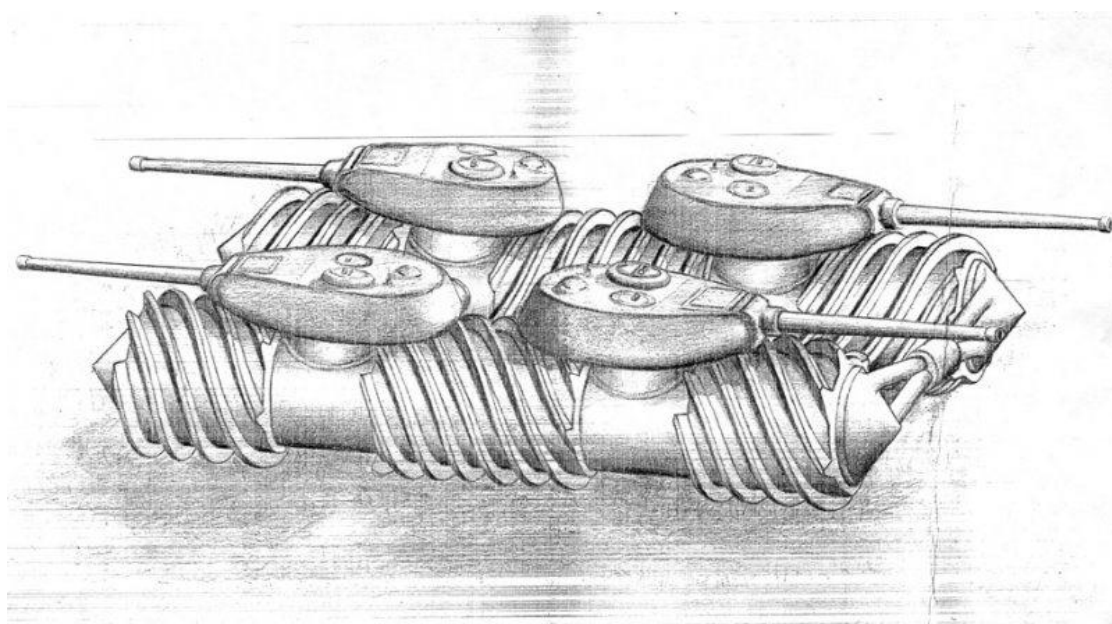


Рис. 20. Танк инженера Б. Бекетова (1942 г.) [Источник: <http://forum.rcpilot.ru>]

Сам движитель Бекетов решил разделить на несколько сегментов. Он полагал, что такое решение положительным образом скажется на живучести танка, особенно его ходовой части. За счет разного направления винтовых поверхностей правого и левого шнека танк мог бы двигаться как вперед или назад, так и вбок. Для поступательного перемещения требовалось обеспечить вращение шнеков в разные стороны, а для перемещения вбок – в одном направлении. Вероятно, предусматривалась и возможность поворота на месте за счет разной скорости или направления вращения передних и кормовых роторов. Приводить данную машину в движение должны были два авиационных мотора, развивающих мощность по 250 л.с. каждый, максимальная скорость оценочно составляла 45-50 км/ч.

Необходимо отметить, что к проработке своего «снежного танка» автор проекта подошел достаточно основательно. Помимо самого чертежа танка и его корпуса, в представленное им предложение входили также эскизы ходовой части и кинематическая схема связи движителя с корпусом. Он выполнил расчеты массы агрегатов «снежного танка». Однако в отделе изобретений посчитали, что у проекта отсутствуют перспективы.

Проект Бекетова был не самой радикальной идеей постройки боевого шнекохода. Не менее оригинальный проект такой боевой машины предлагал житель города Казани С. М. Кириллов в апреле 1943 г. Даже на фоне описанного выше «снежного танка» изобретение Кириллова казалось достаточно оригинальным. Он предлагал земноводные скоростные танки ЗСТ-К1 и ЗСТ-К2 (рис. 21). Однако, как и другие подобные проекты, они остались на бумаге.

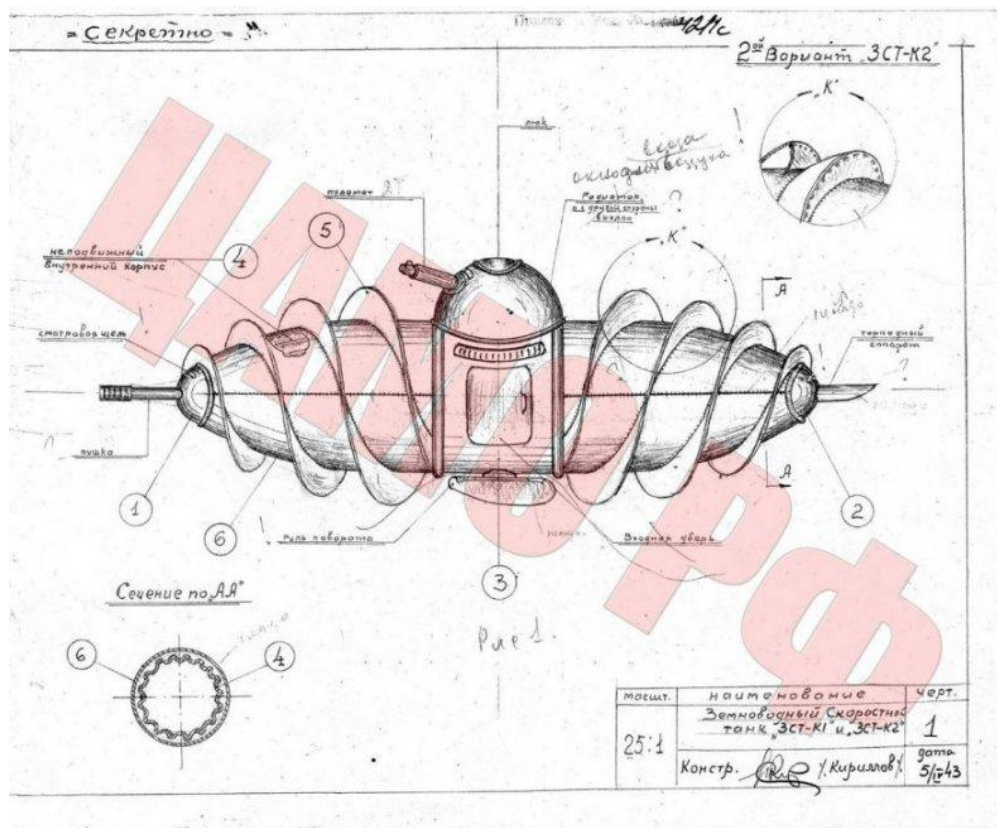


Рис. 21. Земноводный скоростной танк конструктора С. Кириллова (1943 г.)
[Источник: topwar.ru]

В послевоенный период с 1945 по 1980 гг. работы по созданию шнекоходов вновь активизировались. Однако боевые шнекоходы получили иное развитие, чем предлагали конструкторы из СССР. Возобновление работ по направлению создания боевых шнекоходов, а точнее, машин, оснащенных роторно-винтовым движителем (РВД) или РВ-двигателям, относится к периоду времен Вьетнамской войны.

Основными разработчиками и производителями транспортно-технологических машин (ТТМ) на роторно-винтовых движителях этого периода стали такие страны, как Россия (СССР), США, Голландия и Япония. Машины этого периода описаны в работах [1-23].

После окончания второй мировой войны, и вплоть до конца 60-х годов XX в., американские военные вложили огромные финансовые ресурсы в исследования конструкции РВД и оценки подвижности и производительности машин на РВ-двигателях.

В 1964 г. фирмой Chrysler (США) был создан снегоболотоход Marsh Screw (рис. 22, 23), который применялся для транспортирования грузов по воде через рисовые чеки и болота [1]. Машина была создана для обеспечения боевых действий войск США во Вьетнаме. Лёгкий алюминиевый корпус машины опирался на два металлических шнека. Скорость такого транспортного средства на воде составляла 12 км/ч, на снегу – 32 км/ч.



Рис. 22. Снегоболотоход Marsh Screw (1964 г.)

В 60-х годах XX в. компанией UNU (Япония) изготавливались роторно-винтовые болотоходы Dorothy типов S и L (рис. 24), которые отличались от других аналогичных машин тем, что имели четыре шнека (по два с каждого борта), причём каждая пара одного борта имела разное направление вращения и противоположные углы навивки спирали [1]. Эти машины использовались в качестве базового шасси, на котором устанавливалось оборудование для забивки свай и буровой установки.

В тот же период голландская фирма DAF выпустила опытную партию роторно-винтовых болотоходов Amfirol (рис. 25). Разработчиком конструкции этой машины был Д. Ж. де Баккер, владевший фирмой Machiefabriek J.J. Baker (Голландии). Машина имела оригинальную конструкцию управления курсовой ориентацией. Эта система управления позволяла не только изменять частоту вращения роторов, но и их установку, что давало более высокую маневренность.

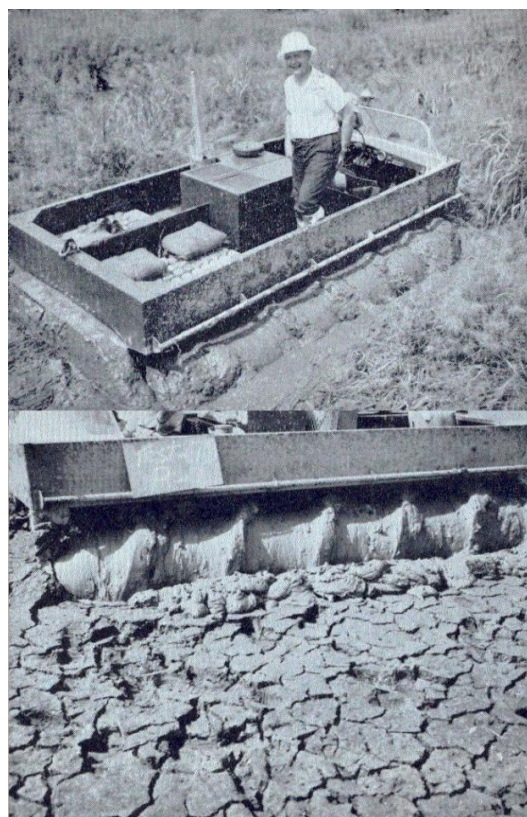


Рис. 23. Испытания Marsh Screw на заиленной местности

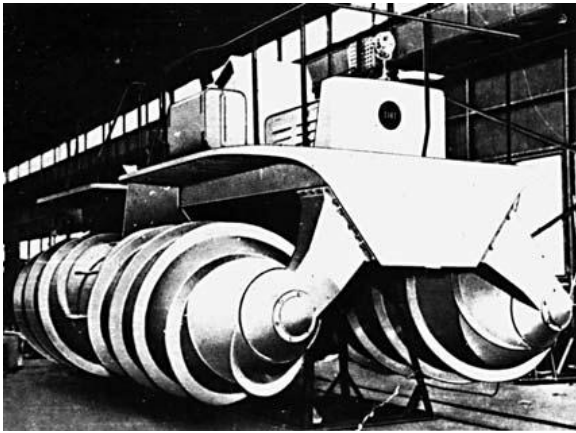


Рис. 24. Болотоход Dorothy L (1966 г.)

Amfirol мог двигаться боком при езде на твердых поверхностях путем вращения роторов в одном направлении. Другая интересная идея состояла в том, что шнеки, которые, как правило, устанавливаются параллельно друг другу, могли менять свой угол относительно продольной оси машины. Это позволяло направлять движение транспортного средства в нужном направлении, хотя кривизна поворота имела довольно большой радиус.

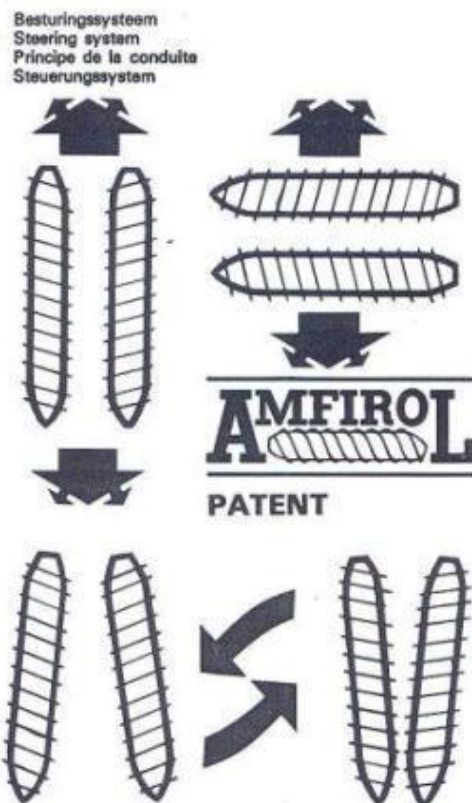


Рис. 25. Болотоход Amfirol (1966 г.)

Первые машины Amfirol имели по два двигателя фирмы DAF рабочим объемом 750 куб. см и трансмиссией Variomatic, по одному комплекту на каждую сторону. Впоследствии, судовой двигатель NSU Ro – 135, который обеспечивал энергией транспортное средство Amfirol, был заменен двигателем Ford с гидравлической трансмиссией Sundstrand.

К 1969 г. американской фирмой Chrysler для ведения боевых действий в болотистой и заиленной местностях, а также для движения по рисовым чекам Вьетнама была выпущена серия роторно-винтовых машин с общим названием Riverine Utility Craft, или RUC (рис. 26). Машина имела два шнека диаметром в 1 м, была оснащена двигателем Chrysler рабочим объемом 6,7 л. Программа испытаний RUC, осуществленная силами флота США, была проведена в Южной Луизиане и Юго-Восточной Азии. Для этих целей Chrysler построил 10 экземпляров RUC для морских пехотинцев, которые вели боевые действия во Вьетнаме в 1969 г., одна из этих машин была бронированной.

Результаты испытания машины RUC показали её способность перемещаться с хорошими скоростными качествами в слабонесущих (высокодеформируемых) средах. В воде скорость RUC составляла 25 и до 46 км/ч на болотистой местности, но только 7 км/ч на твердом дорожно-грунтовом основании.



Riverine utility craft

Рис. 26. Роторно-винтовые машины Riverine Utility Craft (1969 г.)

Проблема подвижности роторно-винтовых машин на твердых опорных основаниях занимала фирму Chrysler еще в 1965 г., в связи с чем ей была разработана машина с комбинированным шнеково-колесным движителем (рис. 27).

Период 1969–1970 гг. в области конструирования машин на РВД, кроме разработок фирмы Chrysler, известен тем, что японской фирмой Mitsui Engineering & Shipbuilding был построен Archimedean Screw Tractor (AST-001), который был прототипом десантного корабля, оснащенного РВД (рис. 28, а) и способного перемещаться как в море, так и в среде, именуемой шугой (смесь воды и битого льда).

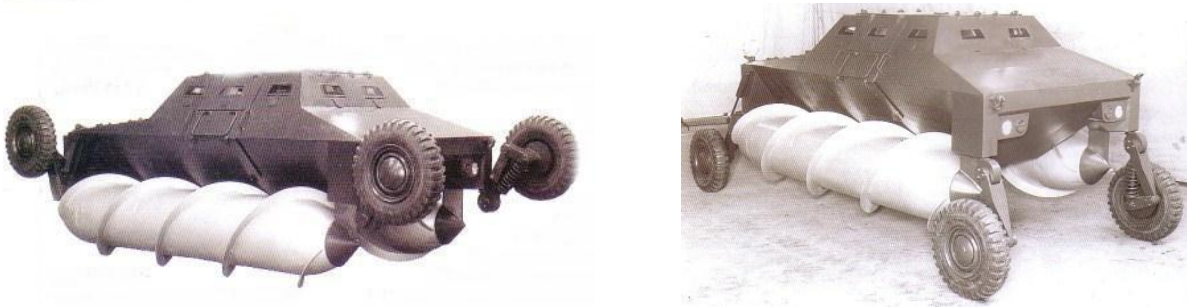


Рис. 27. Модель транспортного средства фирмы Chrysler, оснащенного комбинированным движителем



а)

б)

Рис. 28. Японские машины, оснащенные РВД Archimedean Screw Tractor
Фирмы Mitsui Engineering & Shipbuilding:
а – AST-001; б – AST-002

В 1985 г. фирма Mitsui Engineering & Shipbuilding строит AST-002 (рис. 28, б) в двух экземплярах. На сегодняшний день из двух машин сохранилась только одна. Она имеет вес 11 т, приводится в движение дизельным двигателем V12 мощностью 300 л. с. и гидростатической трансмиссией, что обеспечивает скорость движения на льду - 11, и на воде 8 км / ч Archimedean Screw Tractor 002 мог перевозить 5 чел. экипажа. Машина предназначалась для эксплуатации как в северных, так и южных полярных широтах (рис. 29).



Рис. 29. Эксплуатация AST-002 в полярных широтах и AST-001 постройки 1970 г. в экспозиционном павильоне на шоу See Chap. Screw propelled vehicles в 2005 г.

Первый отечественный опыт разработки машин, оснащенных РВД, как уже отмечалось, относится к 1900 г. – патент, выданный русскому изобретателю Ф. Дергинту.

В 1926 г. в СССР Крживицким А.А. были испытаны аналогичные зарубежные машины, а 1927 г. Ветчинкин Н.С. уже использовал их на вывозке леса (рис. 30).



Рис. 30. Трактор Fordson, оснащенный РВД на вывозке леса (1927-1929 гг.)



а)



б)



в)



г)



д)

Рис. 31. Мотонарты с РВД разработки ОНИ-ЛВМ:

а - ГПИ-16 (1963 г.); б - ГПИ-16ВА (1967 г.);
в - ГПИ-16ВС (1967); г - ГПИ-05 (1971 г.);
д - ГПИ-18Ш (1966 г.)

В дальнейшем, во второй половине XX в., в России (СССР) исследованиями и созданием машин на РВД занимались две научно-практические школы: московская на базе автомобильного завода им. Лихачева (ЗиЛ) и научно-исследовательского автомобильного и автомоторного института (НАМИ), а также горьковская (нижегородская) на базе отраслевой научно-исследовательской лаборатории вездеходных (снегоходных) машин (ОНИЛВМ) и особого конструкторского бюро разработки льда, снега и мерзлого грунта (ОКБ РАЛСНЕМГ) Горьковского политехнического института им А.А. Жданова (сегодня НГТУ им Р.Е. Алексеева [1–23]).

Исследования по роторно-винтовым машинам в ОНИЛВМ ГПИ им. А.А.Жданова ведутся с начала 60-х годов прошлого века. Инициатором этих работ был участник Великой Отечественной войны, выпускник ГПИ 1951 г., старший преподаватель кафедры «Детали машин» института В.И. Вологдин [12, 20]. Первой его работой в этом направлении в 1963 г. были мотонарты ГПИ-16 (рис. 31). Практически это были мотонарты ГПИ-15 (разработки ОНИЛВМ ГПИ), на которых вместо гусеничного был установлен роторно-винтовой движитель. Машина показала хорошие ходовые качества и побудила В.И. Вологодина к созданию еще более легкой машины. В 1964–1965 гг. им была спроектирована и при его непосредственном участии изготовлена легкая плавающая одноместная машина ГПИ-16ВА (рис. 31, б). Машина имела стеклопластиковый корпус с лыжеобразной формой днища и расположенный в кормовой части мотоциклетный двигатель. С каждой стороны корпуса по всей его длине располагались роторы движителя. Для изменения направления движения был установлен небольшой поворотный подрез под задней частью днища.

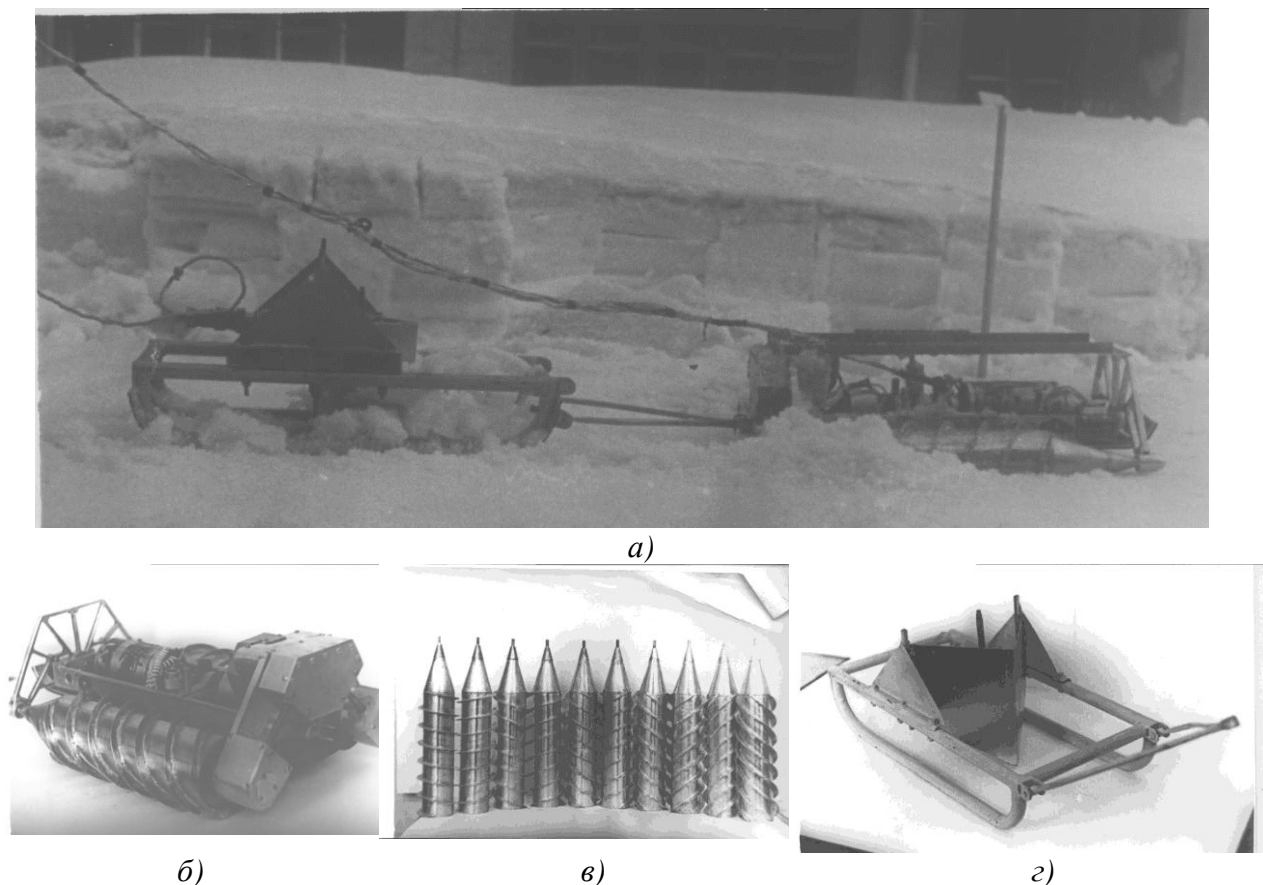


Рис. 32. Действующая модель РВД-машины во время испытаний (а), модель ВРД-машины (б), типы использованных во время испытаний шнеков (в), тормозные плужные сани (г)

Испытания показали, что роторно-винтовой движитель может обеспечить движение

машины по снегу с различной глубиной и плотностью (в том числе и на плаву), но из-за постоянных уводов и произвольных рысканий из стороны в сторону управляемость ее явно недостаточна. Чтобы разобраться в этом В.И. Вологдиным в 1967 г. была построена самоходная модель машины на РВД (рис. 32), на которой проведены большие экспериментальные исследования как различных схем роторно-винтовых движителей, так и многих вариантов роторов (шнеков).

Параллельно с этим велась разработка теоретических вопросов взаимодействия роторно-винтового движителя со снегом. В итоге вопросы устойчивости прямолинейного движения и управляемости машин с РВД были решены. К сожалению, из-за болезни В.И. Вологдину не удалось довести эти работы до защиты диссертации. Большую помощь В.И. Вологдину в этих работах оказывал старший инженер ОНИЛВМ В.И. Захаренков. В 1967 г. В.И. Захаренковым была спроектированы лыжно-шнековые мотонарты ГПИ-16ВС, а в 1971 г. мотонарты ГПИ – 05 (рис. 31, д). Это были более совершенные варианты машины ГПИ-16. Обе машины были сделаны, отправлены заказчику и долгое время эксплуатировались на Камчатке.

В течение ряда лет ОНИЛВМ и НИЛ РАЛСНЕМГ занимались актуальной проблемой, связанной с охраной окружающей среды. В соответствии с Постановлением Совета Министров РСФСР №600 от 30 ноября 1973 г. по плану внедрения передовой технологии и средств механизации в ОНИЛВМ были разработаны конструкции роторно-винтовых болотоходных машин (рис. 33).



Рис. 33. Роторно-винтовые болотоходные машины разработки ОНИЛВМ:
а – РВБ ГПИ-02 (1972 г.); *б* – РВБ ГПИ-06 (1974 г.); *в* – испытания РВБ ГПИ-06 на Москве-реке

Первой в этой серии машин на РВД была РВБ-ГПИ-02 (1972 г.). Машина была изготовлена и применена в Объединении Курьяновских станций аэрации (г. Москва) для обра-

ботки отстойных иловых площадок очистных сооружений. Ее испытания и опыт эксплуатации позволили создать машины РВБ-ГПИ-06 (1974 г.) и модификацию ГПИ-3906 с дизельным двигателем. Машина РВБ-ГПИ-06 отмечена бронзовой медалью ВДНХ СССР. Ведущим конструктором этих машин был В.И. Захаренков. В создании этих машин В.И. Захаренкову большую помощь оказывали В.И. Вологдин и С.А. Планкин.

В этот же период под руководством доктора технических наук А.Ф. Николаева в ОКБ РАЛСНЕМГ и на кафедре «Строительные и дорожные машины» ГПИ им А.А. Жданова работы по данной тематике также получают успешное развитие. Коллективами этих подразделений были созданы роторно-винтовые машины (рис.34): ЛФМ-66 (1968 г.), ЛФМ-72 (1971 г.), ПТВ-84 (1972 г.), РВВП-68 (1972 г.), ЛФМ-75 (1973 г.), РВТ-85 (1977 г.), ВМ-99 (1976 г.), СЛУ-119 (1981 г.). Машина ЛФМ-66 выполнена на базе серийно выпускавшегося гусенично-транспортёра ГАЗ-47.



а)



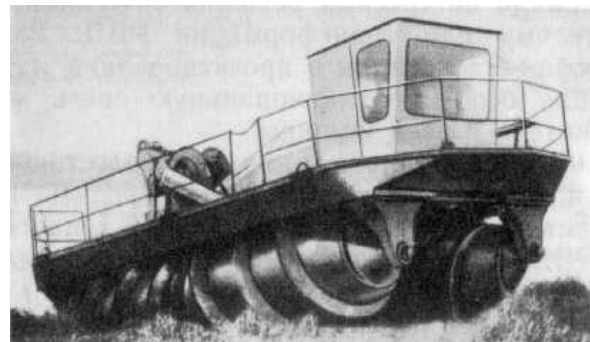
б)



в)



г)



д)



е)

Рис. 34. Машин оснащенные РВД разработки ОКБ «РАЛСНЕМГ» ГПИ им А.А. Жданова:

- а - ЛФМ-66 (1968 г.);
- б - ЛФМ-72 (1971 г.); в - РВВП-68 с разгрузкой РВД воздушной подушкой (1972 г.); г - ЛФМ-75 (1973 г.);
- д - ВМ-99 (1976 г.); е - СЛУ-119 (1981 г.)

В 1978 г. В.Е. Колотилин подводит некоторые итоги научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по машинам на РВД, проводимых в ОКБ РАЛСНЕМГ ГПИ им. А.А. Жданова в кандидатской диссертации «Исследования процессов взаимодействия роторно-винтового движителя ледово-фрезерной машины со снежным покровом и динамических нагрузок в ее силовом приводе». Одновременно с ним Левшунов Л.С. проводит исследования устойчивости прямолинейного движения и процессов поворота машин на РВД. Он создает методику расчета моментов сопротивления повороту для разных схем РВД-двигателя. Исследования Л.С. Левшунова также завершаются успешной защитой кандидатской диссертации на тему «Исследование поворота машин с роторно-винтовым движителем» в 1980 г. Следом за его работой в 1988 г. сотрудник кафедры «Строительные и дорожные машины» (СДМ) Кошурина А.А. защищает кандидатскую диссертацию на тему «Методы снижения сопротивления движению роторно-винтовых машин». В 1989 г. сотрудник той же кафедры В.А. Шапкин защищает кандидатскую диссертацию «Разработка статистического метода оценки колебаний роторно-винтовых машин и пути снижения их уровня при движении по заснеженным основаниям».

По этой же тематике были защищены кандидатские диссертации Ю.В. Щербаковым («Разработка методики расчета и выбор рациональных параметров движения подводного транспортно-технологического средства с роторно-винтовым движителем» (1999 г.)), И.А. Ерасовым («Оценка влияния конструкционных параметров роторно-винтовой машины на стабилизацию движения» (2000 г.)), И.Г. Кулиной («Разработка методики расчета колебаний и параметров упругой подвески транспортно-технологических роторно-винтовых машин при движении по льду» (2001 г.)).

Помимо работ напрямую связанных с исследованием РВД-двигателей, в 1997 г. сотрудником Нижегородского ГТУ Молевым Ю.И. была защищена диссертация на тему «Прогнозирование экологических последствий воздействия снегоходной техники на окружающую среду», а в 1998 г. Вахидовым У.Ш. «Влияние использования снегоходных машин в весенне-осенний период на изменение урожайности растений», в которых обосновывалась экологичность машин, оснащенных РВД, и оценивалась влияние РВД-двигателя на урожайность и всхожесть сельскохозяйственных культур.

Большое теоретическое и практическое значение имеют работы бывшего сотрудника НГТУ им. Р.Е. Алексеева доктора технических наук, профессора А.П. Куляшова. В 1970 г. Анатолий Павлович защищает в совете при ГПИ кандидатскую диссертацию на тему «Исследование некоторых вопросов тягово-сцепных качеств и управляемости машины на роторно-винтовом движителе (типа ЛФМ-РВД-ГПИ-66)». В 1986 г. многолетние исследования ОКБ РАЛСНЕМГ, ОНИЛВМ, НИЛ ССДМ и кафедры «Строительные и дорожные машины» были обобщены им в докторской диссертации «Специальные строительные и дорожные машины с роторно-винтовым движителем». В этой работе были исследованы критерии оценки поведения машин с роторно-винтовыми движителями в различных эксплуатационных условиях. Им были созданы основы теории движения машин такого типа. Базируясь на закономерностях взаимодействия опорных сред с РВД движителем, А.П. Куляшов обосновал возможности улучшения их опорно-тяговых качеств. Логическим продолжением этих исследований явилась работа доцента кафедры СДМ Шапкина В.А. «Основы теории движения машин с роторно-винтовым движителем по заснеженной местности». Диссертационное исследование было представлено на соискание ученой степени доктора технических наук и успешно защищена в 2001 г. В ней автор обобщил теоретические и экспериментальные исследования в области движения вездеходных машин с роторно-винтовым движителем.

К этому же периоду времени относится разработка транспортного средства высокой проходимости (снегоболотоход), созданная специалистами МИНГ им. Губкина, которое имело вид специализированного тягача для использования при строительстве магистральных трубопроводов (рис. 35).



Рис. 35. Снегоболотоход на РВД разработки МИНХ им. Губкина

Работы по созданию машин, оснащенных РВД, на Заводе им. Лихачёва (ЗиЛ) начались в 1966 г., когда главный конструктор специального конструкторского бюро ЗиЛ Грачев В.А. предложил ведущим специалистам СКБ посмотреть каким-то образом полученный фильм. В 12-минутной ленте демонстрировались возможности американского болотного вездехода MSA, разработанного фирмой «Крайслер» по заказу военных для использования в боевых действиях во Вьетнаме.

Создаваемая машина получила официальное обозначение ШН-67 и неофициальное «Шнек» (рис. 36, а). Снегоболотоход ШН-67 был оснащен двигателем ЗиЛ-375Я с гидромеханической коробкой передач ЗиЛ-135Л, который для лучшего расположения центра тяжести установили за кабиной в середине рамы. Для распределения крутящего момента по бортам на шнекоходе применили главную передачу с механизмом поворота гусеничной машины М-2 (ОКБ ММЗ). Бортовые передачи - реверс-редукторы с шестернями от бортовых передач ЗиЛ-135Л. В качестве движителя использовались два шнека, размещенные по бортам. Они представляли собой полые цилиндры с конусами на обоих концах, изготовленные из стального листа толщиной 2 мм. На наружной поверхности цилиндров выполнили винтовой грунтозацеп, в разрезе представляющий собой трапецию. На внутренние поверхности шнека для увеличения жесткости были приварены металлические кольца. Также для увеличения жесткости на внутреннюю поверхность шнека напылили слой пенополиуретана толщиной около 100 мм (для удобства напыления шнеки спроектировали разборными). Конуса со шнеком соединялись с помощью болтов. Для передачи крутящего момента от бортовых карданов к шнекам служили реверс-редукторы, обеспечивающие, кроме изменения направления движения, также разворот на месте и возможность движения боком при вращении шнеков в одном направлении. Муфты переключения реверс-редукторов управлялись дистанционно.

По результатам испытаний было решено усовершенствовать шнекоход. Вместо сильно изнашиваемых стальных шнеков на новом образце, получившем обозначение ШН-68 (рис. 36, б), установили шнеки из алюминиевого сплава АМГ-61 с углом подъема винтовой линии $32^{\circ}30'$, с двухзаходным грунтозацепом, имеющим шаг 1600 мм и треугольный профиль высотой 100 мм. ШН-68 был собран в марте-апреле 1968 г. 6 мая состоялась его проба на водоеме в районе Лыткарино. На плаву была достигнута скорость 12 км/ч. Однако на испытаниях был отмечен и характерный недостаток машины в процессе выхода шнекохода на

берег. Зимние испытания ШН-68 проводились в северной части Пермской области в районе города Березники с 9 марта по 5 апреля 1969 г. на сыпучем (фирновом) снегу при средней температуре атмосферного воздуха $-8 - -4^{\circ}\text{C}$ и глубине снега 900–1100 мм. Скоростные и тяговодинамические испытания проходили при массе шнекохода 3750, 4250 и 5000 кг.



а)



б)

Рис. 36. Машины на РВД разработки ЗиЛ:

а – ШН-67 (1967 г.); б – ШН-68 (1968 г.)

Испытания роторно-винтового вездехода заинтересовали ученых Киевского автомобильно-дорожного института (КДЦИ). Для них в СКБ ЗиЛ был спроектирован и изготовлен специальный стенд для исследования роторно-винтового движителя (ведущий конструктор - В.В. Цырульников), на котором ученые КДЦИ (д.т.н. Г.Б. Безбородова, к.т.н. Н.Ф. Кошарный и аспирант Р.А. Хабутдинов) выполняли исследования моделей роторно-винтовых движителей с различными диаметрами роторов и углами подъема винтового грунтозацепа.

Успешно проведенные испытания макетного образца снегоболотохода ШН-68 вызвали интерес к машине такого типа со стороны поисково-спасательной службы (ПСС) ВВС. По техническому заданию ПСС ВВС в СКБ ЗиЛ начались работы по созданию опытного образца снегоболотохода с роторно-винтовым движителем, получившего обозначение ПЭУ-3 (или 4904), способного производить спасательные работы на болотах, замерзших водоемах и снежной целине без ограничения глубины снега, эвакуировать как космонавтов, так и спускаемые аппараты. Машина была построена в 1972 г. (рис. 37).



Рис. 37. Машина на РВД производства СКБ ЗиЛ – ПЭУ-3 (1972 г.)

Поисково-эвакуационные колесные установки первого типа были разработаны СКБ ЗиЛ - это колесные полноприводные машины ПЭУ-1 и ПЭУ-2. Учитывая результаты испытаний опытных транспортных средств с нетрадиционными типами движителей, проходивших в СКБ ЗиЛ в 1966–1968 гг., для создания поисково-эвакуационной установки второго типа было решено использовать роторно-винтовой движитель.

В соответствии с техническим заданием СКБ ЗиЛ предстояло создать две модификации шнекового снегоболотохода, получившего наименование ПЭУ-3. Пассажирскую модификацию ПЭУ-3А (рис. 38) предполагалось оборудовать салоном со спальными местами, кухней, шкафами и т.д. В кабине планировалось разместить поисково-навигационное оборудование и приборы связи, а в кормовой части машины - устройство для жесткой сцепки с грузовым снегоболотоходом ПЭУ-3Б (рис. 39), который должен был оснащаться погрузочным устройством (гидравлическим подъемником) и ложементом для транспортировки специальных систем.

Летний этап испытаний прошел в июне-августе 1972 г. Скоростные, тягово-динамические и экономические испытания проводились без груза и с 2,5-т нагрузкой. Для сравнения в испытаниях участвовали шнекоход ШН-68 и гусеничный транспортер ГАЗ-71. Без груза снегоболотоход 4904 развил скорость 10,1 км/ч на воде, 7,25 км/ч на болоте, покрытом водой (глубиной до 500 мм), и 4,45 км/ч на сплавине, заросшей высокой осокой, камышами и кустарником. С грузом в этих условиях скорость составила: 9,25 км/ч - на воде, 7,1 км/ч - на покрытом водой болоте, 3,2 км/ч - на сплавине. Максимальная тяга на швартовых равнялась 1430 кг без груза и 1720 кг с грузом. Тяга на покрытом водой болоте достигла 1780 кг без груза и 1330 кг с грузом. Максимальная тяга снегоболотохода с грузом 2,5 т была получена на входе в болото с глинистым дном и составила 11070 кг. Гусеничный транспортер ГАЗ-71 на сплавине двигаться вообще не мог.



Рис. 38. Автопоезд с ПЭУ-3А

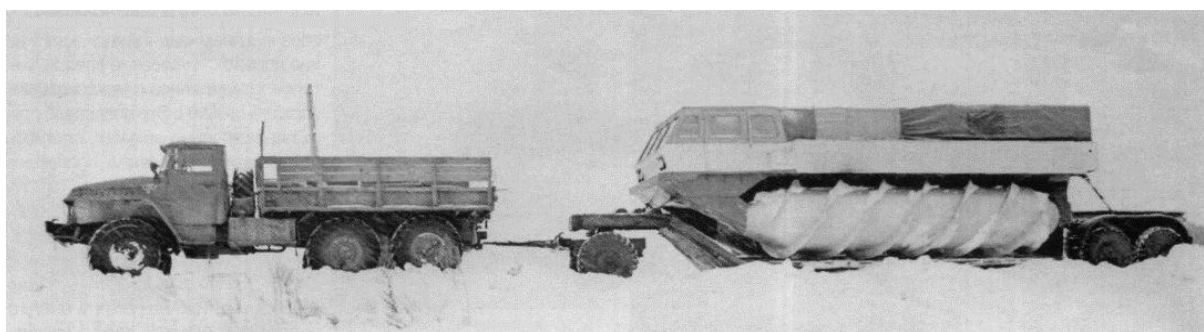


Рис. 39. Автопоезд с ПЭУ-3Б

26 июля на испытаниях присутствовали начальник отдела управления ВВС В.М. Романенко, старший военпред завода Ю.В. Исполатов, ученые Академии БТВ А.П. Степанов и Я.С. Агейкин. В процессе ходовых испытаний была отмечена недостаточная маневренность ПЭУ-3А при движении по сплавине по сравнению со ШН-68. При повороте машина стремилась уходить в сторону наименьшего сопротивления. Движение на воде по заданному курсу при скорости бокового ветра более 4-5 м/с производилось с частыми подруливаниями из-за большой парусности снегоболотохода.

В качестве машины сверхвысокой проходимости для поисково-спасательного ком-

плекса «490» в соответствии с результатами исследований 1966-1972 гг. был выбран снегоболотоход с роторно-винтовым движителем, который одинаково хорошо и с высокой скоростью мог бы преодолевать снежный покров любой глубины и болото с полыньями. Малые размеры машины (длина 3,8 м, ширина 2,3 м) были обусловлены габаритами грузового отсека колесного вездехода ЗИЛ-4906, на котором ее предполагалось доставлять к месту работы. По проекту, ЗИЛ-4906 перевозил снегоболотоход в своем грузовом отсеке до тех пор, пока мог двигаться. Когда местность становилась непроходимой, шнекоход с помощью штатной крановой установки сгружался на грунт. Дальше он самостоятельно продолжал поиск спускаемого аппарата (СА), эвакуировал космонавтов и буксировал СА на гибкой сцепке до колесных машин комплекса «490».

Предварительная компоновка шнекохода, получившего заводское обозначение ЗИЛ-2906 (рис. 40), была выполнена 20 августа 1973 г. С целью максимального снижения массы и простоты конструкции нового вездехода для него решили использовать два двигателя МемЗ-967А воздушного охлаждения мощностью по 37 л.с. от легкового автомобиля «Запорожец», которые с помощью агрегатов трансмиссии должны были приводить в движение каждый свой шнек. В открытой пассажирской кабине предусматривались сидячие места для двух членов экипажа и два лежачих места для космонавтов.

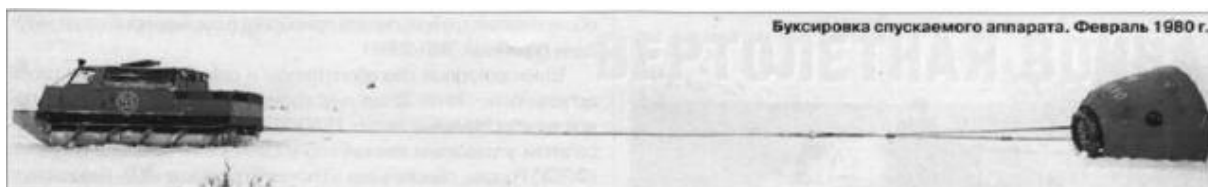


Рис. 40. Машина на РВД ЗИЛ-2906 (1975 г.)

21 августа 1975 г. ЗИЛ-2906 начали обкатывать на воде на прудах рыбхоза «Нара». Почти сразу выявилось множество дефектов в работе мелитопольских двигателей. При движении по воде они работали на полную мощность, но недостаточно высокая максимальная скорость машины (10-12 км/ч) не давала возможности встречному воздушному потоку охлаждать их в нужном объеме.

В октябре снегоболотоход испытывался на болотах и спущенных прудах. И здесь двигатели проявили себя не лучшим образом. Развиваемой мощности, ввиду увеличившегося сопротивления, не хватало. Двигатели часто выходили из строя. Для увеличения удельной мощности и повышения надежности машины было принято решение использовать два двигателя жидкостного охлаждения от автомобиля «Жигули». Однако они не могли быть размещены без серьезной перекомпоновки в моторном отсеке ЗИЛ-2906 - фактически, надо было проектировать новую машину.

Тем не менее 17 марта 1976 г. шнекоход ЗИЛ-2906 вместе с машинами комплекса «490» отправился на зимние испытания в Рыбинск. Здесь он уверенно преодолевал 24°-ные подъемы и спуски, весьма проворно передвигался по заросшему лесом косогору с глубиной снега до 700 мм. В целом испытания прошли удачно.

Испытания шнекового снегоболотохода ЗИЛ-2906 выявили его многочисленные не-

достатки, главным из которых являлась низкая удельная мощность. Зимой, при температуре ниже -25°C , двигатели плохо запускались. При движении по воде наблюдалась недостаточная остойчивость шнекохода при маневрировании. Открытая кабина не защищала экипаж от осадков, пыли и ветра. В результате специалисты СКВ ЗИЛ пришли к выводу о необходимости разработки усовершенствованного образца роторно-винтового шнекохода.

По замыслу разработчиков, новый шнекоход, получивший заводское обозначение ЗИЛ-29061 (рис. 41), должен был быть несколько больше ЗИЛ-2906, что, с одной стороны, повышало его остойчивость на воде и устойчивость при движении по крутым заснеженным оврагам, а с другой - позволяло установить на машину два более мощных двигателя жидкостного охлаждения от легкового автомобиля ВАЗ-2103. Для транспортировки на грузовой амфибии ЗИЛ-4906 шнекоход предполагалось оснастить съемными лыжами, а для уменьшения размеров по высоте допускался демонтаж съемного каркаса рубки.

Сразу после завершения сборки (1 июня 1979 г.), осуществили взвешивание шнекохода на механическом участке СКБ ЗИЛ. Сухая масса изделия составила 1690 кг, снаряженная масса - 1855 кг, полная масса (включая четырех человек и 97 кг дополнительного снаряжения) - 2250 кг. При скоростных испытаниях на чистой воде (глубина 2,4 м) ЗИЛ-29061 с экипажем из двух человек развил максимальную скорость 14,9 км/ч, ЗИЛ-2906 - 10,2 км/ч, а ГАЗ-71 - 3,9 км/ч. На илистом участке длиной 200 м и глубиной 0,5-0,7 м ЗИЛ-29061 с экипажем из четырех человек достиг скорости 11,3 км/ч, ЗИЛ-2906 - 6,6 км/ч, а ГАЗ-71 (при двух членах экипажа) - 13,1 км/ч.

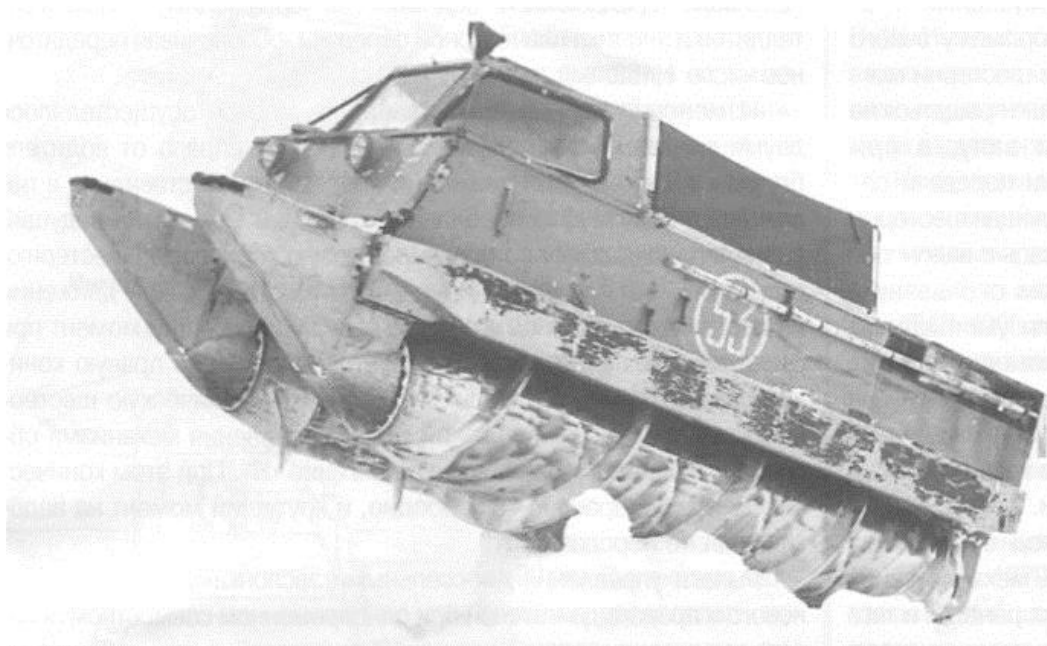


Рис. 41. Машина РВД –ЗИЛ-29061 (1979 г.)

Зимние климатические испытания проходили с 23 января по 25 февраля 1980 г. в районе Воркуты, где шнекоход проработал более 128 ч на снежной целине. При температуре -15°C , глубине снега 600-1000 мм и нагрузке 4 человека максимальная скорость ЗИЛ-29061 на мерном 200 м участке составила 25,4 км/ч. Расход топлива при скорости 11 км/ч и нагрузке 2-4 человека был равен для двух двигателей 22 л/ч, при нагрузке 6 человек - 24 л/ч; при скорости 16 км/ч - 27 л/ч, при скорости 20 км/ч - 27-33,8 л/ч. В 1984 г. на опытный образец шнекохода установили два двигателя ВАЗ-2106 мощностью по 80 л.с. и новые агрегаты трансмиссии (коробки передач, дополнительные коробки передач, бортовые редукторы). Машину оборудовали дополнительным люком, выполненным в тенте над головой второго члена экипажа. Моторный отсек оснастили опытным подогревателем модернизированной системы предпускового подогрева двигателей с электрической водяной помпой.

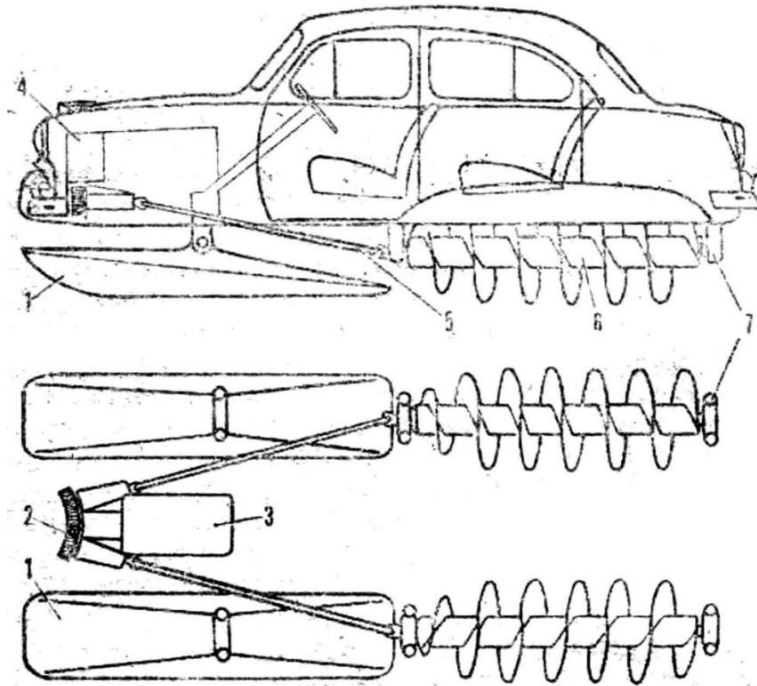


Рис. 42. Винтовой движитель конструкции П. Г. Гаврилова и его шнекоход на базе автомобиля «Победа» М20:

1 – управляемая ложка; 2 – редуктор; 3 – двигатель; 4 – радиатор и вентилятор системы охлаждения; 5 – карданный вал; 6 – шнековый движитель; 7 – опорный подшипник

В начале 1990-х гг. в СКВ ЗИЛ разработали модернизированный вариант шнекохода ЗИЛ-29062 по заказу государственной корпорации «Транснефть». Проект был успешно защищен, но когда вопрос встал об организации серийного производства нового шнекохода, к нему потеряли интерес как руководство завода, так и заказчик. В итоге корпорация «Транснефть» для доставки ремонтных бригад и обслуживания трубопроводов приобрела в составе комплекса «490» один серийный ЗИЛ-29061.

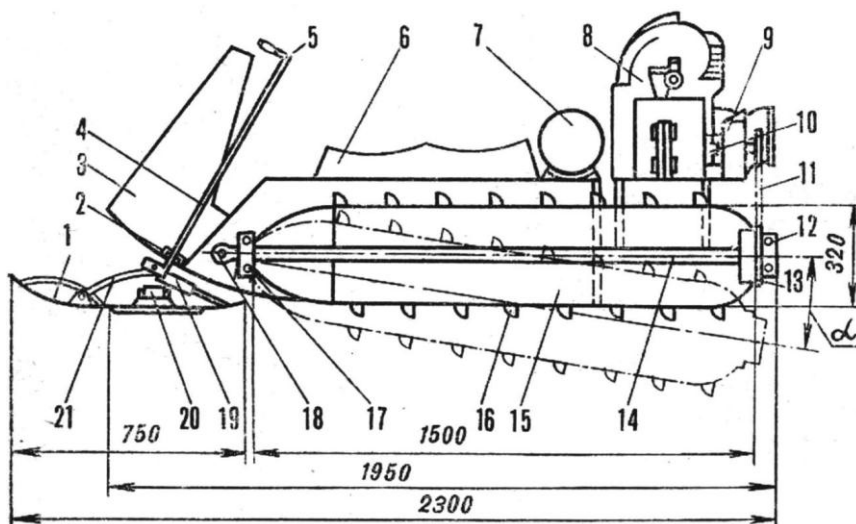


Рис. 43. Схема шнекоход П. В. Олейникова:

1 – управляемая ложка; 2 – упорный подшипник рулевой колонки; 3 – корпус; 4 – рулевая колонка; 5 – руль; 6 – сиденье водителя и пассажира; 7 – бензиновый бак; 8 – двигатель; 9 – редуктор; 10 – муфта соединения двигателя с редуктором; 11 – цепь привода шнека; 12 – подшипник; 13 – ведомая звездочка; 14 – ось шнека; 15 – шнек; 16 – винтовые зацепы; 17 – передний подшипник; 18 – поворотная ось рамы шнека; 19 – амортизатор; 20 – упорная резиновая подушка; 21 – рессора; α – угол отклонения рамы шнека по отношению к корпусу



Рис. 44. Машины на РВД для различных отраслей реального сектора экономики



Рис. 44. Окончание

Не обошли вниманием роторно-винтовой движитель и любители технического творчества. В 1965 году инженер П. Г. Гаврилов из Темиртау предложил переоборудовать стандартный автомобиль «Победа», установив на нем два шнека и передние управляющие лыжи (рис. 42). Шнеки монтировались на специальных кронштейнах без элементов амортизации и приводились во вращение карданными валами, идущими от закрепленного на двигателе редуктора с угловыми шестернями.

Тому же автору принадлежит проект лыжно-винтовой машины, в которой шнековые барабаны имели пневмогидравлические амортизаторы, что улучшало сцепление движителя с грунтом на неровностях пути.

В 1973 году инженер П. В. Олейников из поселка Зареченский Мурманской области построил шнеконарты КРАБ-1 (рис. 43). Надо отдать должное настойчивости любителя технического творчества: потребовались три года, чтобы сделать машину не только работоспособной, но и надежной: она эксплуатируется в течение всего зимнего периода без поломок.

Дополнительно можно отметить, что в частном порядке на предприятиях горной промышленности и базах милиарации и станциях аэрации создавались различные образцы специальных транспортно-технологических машин, оснащенных роторно-винтовыми движителями (рис. 44).

На этом заканчивается практический этап создания отечественных машин на роторно-винтовых движителях. Однако теоретические и проектно-конструкторские работы по созданию машин на РВД в НГТУ им Р.Е. Алексеева продолжают в рамках различных государственных контрактов и внебюджетных договорных работ. Аналогичные работы возобновились и зарубежом, в частности, в Австралии.

Сегодня в мире практически не существует фирм, выпускающих серийно машины на РВД, хотя их потребность постоянно присутствует в реальном секторе экономики и в области деятельности, связанной с ликвидацией последствий природных и техногенных катастроф.

Одной из машин на РВД-двигателях, выпускаемой серийно, является «MudMaster» - «повелитель грязи» (рис. 45). Она производится по спецзаказам австралийской компании Residue Solutions. Фирма обещает построить шнекоход в соответствии со всеми требованиями заказчика и доставить машину в любую точку мира.



Рис. 45. MudMaster от австралийской компании Residue Solutions - единственный на сегодняшний день шнекоход, собирающийся серийно

В настоящее время машина на РВД «MudMaster» используется на Николаевском глинозёмном заводе, где для хранения отработанного шлама применяется «мокрый метод», который требует перемешивания слоёв, так же, как на станциях аэрации. Для этих целей и применяется шнекоход.

Другой современной разработкой машины на РВД является «АМФИ-САТ» (рис. 46) австралийских производителей «Technology by Josef Pasteiner». Машина оснащена специальным технологическим оборудованием для выполнения разнообразных милиаративных работ [Источник: <http://www.amphi-cat.com>].



Рис. 46. Машина на РВД «АМФИ-САТ»

Одной из проблем машин на РВД является их крайне не удовлетворительная возможность передвижения по недеформируемым опорным основаниям и, в частности, по искусственным дорожным поверхностям повышенной несущей способности, т.е. бесполезность в любой «цивилизации». Это требует создания специальных дорожных платформ для перевозки машин, оснащенных РВ-двигителем (рис. 38, 39 и 46). Следом за этой проблемой возникает задача разгрузки машин на РВД с транспортных платформ на месте их эксплуатации. Для этого используются мобильные крановые установки или платформы, оснащенные разгрузочными устройствами (рис. 47).



Рис. 47. Транспортировка и разгрузка машины на РВД – ЗиЛ-2906



Рис. 48. «Земснаряд-шнекоход» с технической системой саморазгрузки с транспортной платформы (Украина, Днепропетровск 2015 г.)



Рис. 49. «Ice Challenger»

Современные тенденции создания машин на РВ-двигателях предполагает обеспечение их техническими системами саморазгрузки. Примером такой машины является «Земснаряд-шнекоход» (рис. 48) [Источник: <http://zemsnaryad.net>]. Данная машина спроектирована и эксплуатируется в Днепропетровске (Украина). Как утверждают её создатели, она обладает непревзойденной проходимостью по болотистой местности и возможностью движения по любым слабонесущим поверхностям, воде, снегу. Машина имеет рамную конструкцию и водоизмещающий кузов. Скорость передвижения «Земснаряда-шнекохода» варьируется в зависимости от условий движения в диапазоне 0,2...8 км/ч. Шнекоход обладает возможностью двигаться боком, совершать развороты на месте. Для движения по твердым поверхностям предусмотрены колеса аутригеров и подкатная тележка. На машине установлен двигатель –

турбодизель мощностью 122 л/с. В качестве технологического оборудования «Земснаряд-шнекоход» оснащен сменными насадками для широкого спектра работ: ковшом 0,25 куб. м., режущим землесосом, граблями.

Дальнейшее развитие этого вида вездеходов лежит в универсализации конструкции движителя. Например, в создании комбинированных движителей. Примерами таких машин могут служить вездеходы: колесно-шнековая конструкция фирмы Chrysler (рис. 26) и РВВП-68 с разгрузкой шнека воздушной подушкой производства ГПИ им. А.А. Жданова (рис. 34, в). В двухтысячных годах специалисты из компании Wolfson Unit, расположенной в Саутгемптоне США, под руководством Barry Deaking в содружестве со Scott Polar Research Institute (SPRI) из Кембриджа, принимая участие в проекте «Snowbird 6», спроектировали и построили универсальный вездеход «Ice Challenger» (рис. 49), способный двигаться как на шнеках, так и на гусеницах [Источник: <http://www.porpmch.ru>].



Рис. 50. Универсальная машина на РВД изобретателя Бурдина

За базу «Ice Challenger» был взят небольшой гусеничный вездеход «Bombardier 160с», к которому по бокам прикрепили два шнека большого диаметра. Когда нужно было перейти от гусеничного хода к шнековому, роторы опускались ниже гусениц – и машина превращалась в шнекоход. Машина оснащена шестицилиндровым двигателем «Perkins». Трансмиссия машины «Ice Challenger» - гидравлическая.

В 2002 году экспедиция в составе шести человек на «Ice Challenger», под руководством Стива Брукса (Steve Brooks), успешно преодолела Берингов пролив из поселка Провидения на Чукотке вплоть до города Ном на Аляске - 350 миль за восемь дней. Машина выполнила свое предназначение, показав высокую степень подвижности, перемещаясь успешно как по льду, шуге, так и по воде.

Это эксклюзивное решение, а вот идею, которая может привести к распространению шнекоходов, выдвинул и запатентовал Санкт-Петербургский изобретатель Алексей Бурдин.

В конструкции Бурдина (рис. 50) между лопастями архимедова винта на ротор натянута длинная червеобразная камера. Когда вездеход находится в режиме шнека, она сдута. Когда же в нее поступает воздух (или вода), камера заполняет собой межлопастное пространство и превращает шнеки в обычные колеса [Источник: <http://techvesti.ru/>].

Чтобы не быть голословным, Бурдин построил и действующий образец вездехода с 1,5-киловаттными электроприводами на передний и задний шнеки. У конструкции есть несколько проблем, которые можно решить, используя современные технологии. *Во-первых*, сильный износ сдутых камер при работе в режиме шнека. Следует использовать высокопрочную армированную резину и сокращаемый по длине протектор. *Вторая* проблема - необходимость обеспечения в конструкции поворотного корпуса, потому что в режиме шнека вездеход движется по одной траектории, а в режиме качения - по перпендикуляру к ней.

Подобный проект был разработан М.Г. Беккером (M.G. Bekker) совместно с Говардом А. Уилкоксом (Howard A. Wilcox) в 1967 году, на который был получен патент США (US3354861). На рис. 51 представлена выдержка их патента на роторно-винтовую машину Беккера-Уилкокса.

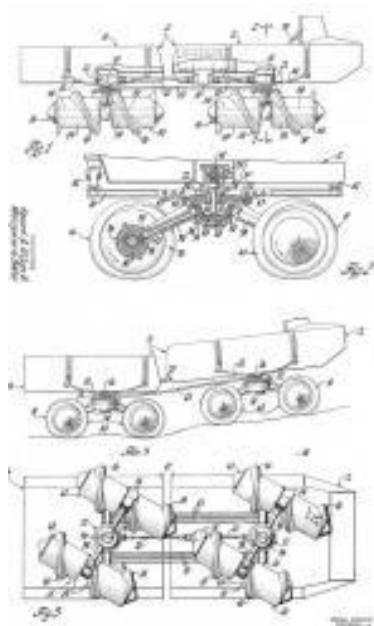


Рис. 51. Проект машины на РВД Беккера-Уилкокса (1967 г. патент США - US3354861)

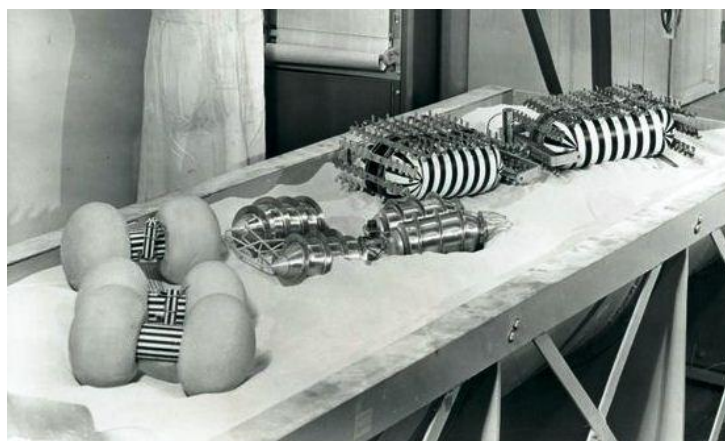


Рис. 52. Модели машин на РВД, разработанные и испытанные М.Г. Беккером (1961 г.)

Транспортное средство, показанное в патенте, является сочлененным, т.е. две его части, шарнирно соединенные и имеющие возможность движения в тангаже и крене. Каждая часть машины получает два винтовых понтона РВ-двигателя, которые могут вращаться, чтобы обеспечить курсовую ориентацию транспортного средства и перейти от машины на РВД, работающей в грязи или снегу, к колесной машине для передвижения по твердой поверхности, если понтоны РВ-двигателя повернуть на 90 °.

Когда М.Г. Беккер разрабатывал проект планетохода для передвижения на Луне и Марсе, прежде чем принять колесную конструкцию машины, им были изучены различные

варианты ходовых систем машин с разнообразными типами движителей, в том числе и РВД (см. рис. 52).



STAR-screw-robot
разработчик L. Perrez (1996 г.)



STAR led to STAR 2 (1999 г.)



Модель машины из Ariel University Center,
Samaria, Israel



Микроробот инженера Tim Lixen
(Wisconsin, USA, 2011 г.)

Рис. 53. Роботизированные модели машин на РВД

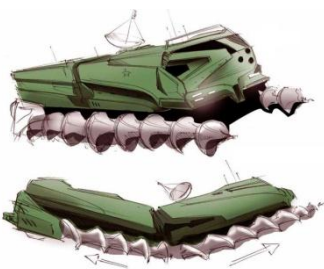
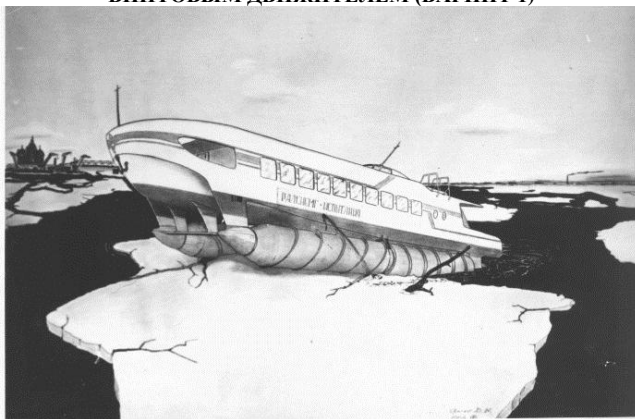


Рис. 54. Современные дизайн-проекты шнекоходов



УНИВЕРСАЛЬНОЕ СУДНО С РОТОРНО-ВИНТОВЫМ ДВИЖИТЕЛЕМ (ВАРИАНТ 1)

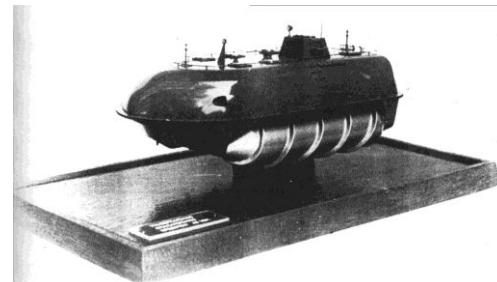


УНИВЕРСАЛЬНОЕ СУДНО С РОТОРНО-ВИНТОВЫМ ДВИЖИТЕЛЕМ (ВАРИАНТ 2)

ОСНАЩЕНИЮ ЛЕДОКОЛЬНЫХ СУДОВ ДИСКОВЫМИ ФРЕЗАМИ И РОТОРНО-ВИНТОВЫМ ДВИЖИТЕЛЕМ



МАКЕТ «РВМ-1»



МАКЕТ УНИВЕРСАЛЬНОГО СПАСАТЕЛЬНОГО СРЕДСТВА

Рис. 55. Дизайн-проекты ОКБ «РАЛСНЕМГ» ГПИ им. А.А. Жданова (сегодня НГТУ им. Р.Е. Алексеева)

Таблица 1

Техническая характеристика транспортных средств высокой проходимости по работам

Модель транспортно-технологического средства(год создания)	Параметры машины						Параметры шнека		Примечание: производитель (фирма, страна); источник информации
	Мощность двигателя кВт/л.с.	Полная масса, кг	База/колея машины, мм	Максимальная скорость передвижения машины, км/ч			Диаметр шнеков, мм	Угол подъёма винтовой линии (град)/ высота лопасти (м).	
				болото	снег	вода			
«Motobob» (1922 г.)	16/21,7	840	1200/1200	-	32,4	-	400	32/0,04	[1]
«Fordson» (1929 г.)	16,8/22,8	5000	-/-	-	6	-	700	28/-	Armstead Snow Motor (США) [1]
«Marsh Screw» (1964 г.)	85/116	1520	-/-	16	32	12	660	32/-	Chrysler (США) [1-23]
Dorothy S (1960-е г.)	51/70	5500	4400/2200	3	5	7	1060	16/0,06	UNU (Япония) [1-23]
Dorothy L (1966 г.)	147/200	19000	4400/3200	2	4	5	1600	15/0,09	UNU (Япония) [1-23]
DAF Amphiroll (1966 г.)	-	10000	-/-	35			-	-	DAF (Голландия) [1-23]
Chrysler - RUC (1969 г.)	-	-	-/-	47	-	-	1000	-	Chrysler (США) [1-23]
AST-002 (1985 г.)	220,6/300	10000	-/-	-	-	8	-	-	Mitsui Engineering & Shipbuilding (Япония) [1-23]
ГПИ-16Ш (1963 г.)	8,8/12	500	1600/1100	-	24	-	300	42/0,035	ГПИ им. А.А.Жданова (Россия) [9-22]
ГПИ-16ВС (1967 г.)	11,4/15,5	280	1650/1100	-	27	-	300	37°30'/0,03	ГПИ им. А.А.Жданова (Россия) [9-22]
ГПИ-16Р (1963 г.)	9,3/12,6	230	1650/1190	-	25	-	300	37°30'/-	ГПИ им. А.А.Жданова (Россия) [9-22]

Продолжение табл. 1

Модель транспортно-технологического средства(год создания)	Параметры машины						Параметры шнека		Примечание: производитель (фирма, страна); источник информации
	Мощность двигателя кВт/л.с.	Полная масса, кг	База/колея машины, мм	Максимальная скорость передвижения машины, км/ч			Диаметр шнеков, мм	Угол подъёма винтовой линии (град)/ высота лопасти (м)	
				болото	снег	вода			
ГПИ-16ВА (1965 г.)	9,3/12,6	550	1650/1100	-	15	-	300	25/0,03	ГПИ им. А.А.Жданова (Россия) [9-22]
ГПИ-05 (1971 г.)	11,4/ 15,5	350	-/-	-	35	-	-	-/0,03	ГПИ им. А.А.Жданова (Россия) [9-22]
ГПИ-02 (1972 г.)	84,6/115	3600	5200/2400	-	21,2	-	800	37°30'/0,02	ГПИ им. А.А.Жданова (Россия) [9-22]
РВБ-ГПИ-06 (1974 г.)	84,6/115	3600	-/-	20			-	-/0,018	ГПИ им. А.А.Жданова (Россия)
ЛФМ-66 (1968 г.)	54/74	3590	4200/2478	-	18	10	600	25°30'/0,046	ГПИ им. А.А.Жданова (Россия) [9-22]
ЛФМ-72 (1971 г.),	84,6/115	3850	4400/2100	-	20	12	700	28/0,05	ГПИ им. А.А.Жданова (Россия) [9-22]
ПТВ-84 (1972 г.)	84,6/115	2000	-/-	25			1,5	30	ГПИ им. А.А.Жданова (Россия) [9-22]
РВВП-68 (1972 г.)	55,1/75	1800	4000/2000	15			0,14	28/0,03	ГПИ им. А.А.Жданова (Россия) [9-22]
ЛФМ-75 (1973 г.)	84,6/115	6000	4400/2200	-	18	-	700	28/0,05	ГПИ им. А.А.Жданова (Россия)
РВТ-85 (1977 г.)	176/240	13000	-/-	-	14	-	800	32/-	ГПИ им. А.А.Жданова (Россия) [9-22]

Продолжение табл. 1

Модель транспортно-технологического средства(год создания)	Параметры машины						Параметры шнека		Примечание: производитель (фирма, страна); источник информации
	Мощность двигателя кВт/л.с.	Полная масса, кг	База/колея машины, мм	Максимальная скорость передвижения машины, км/ч			Диаметр шнеков, мм	Угол подъёма винтовой линии (град)/ высота лопасти (м).	
				болото	снег	вода			
ВМ-99 (1976 г.)	147/200	8500	4600/2200	-	7	-	1100	30/0,05	ГПИ им. А.А.Жданова (Россия) [9-22]
СЛУ-119 (1981 г.)	11,4/15	1200	2000/1200	-	4	-	300	22/0,03	ГПИ им. А.А.Жданова (Россия)
ВК-2	11,4/ 15,5	1300	1200/550	3			0,38	30/0,05	(Россия) [1-23]
ШН-67 (1966 г.)	132/180	4600	-/-	3,35	10,3	7,2	800	17°40'/-	Завод имени Лихачёва (ЗиЛ) (Россия) [1,2]
ШН-1 (1967 г.)	132,3/179,88	3500	4200/2070	18			0,8	28/0,05	Завод имени Лихачёва (ЗиЛ) (Россия) [1, 2]
ШН-68 (1968 г.)	132/180	5000	4200/2070	3,35	30,5	12,4	800	32°30'/0,1	Завод имени Лихачёва (ЗиЛ) (Россия) [1, 2]
ЗИЛ-4904 (ПЭУ-3Б) (1972 г.)	264/360	8500	5990/1085	10	10,8	9,25	1500	34/-	Завод имени Лихачёва (ЗиЛ) (Россия)
ЗИЛ-4904 (1972 г.)	264/360	10165	5990/1085	7,3	16	10,1	1500	34/-	Завод имени Лихачёва (ЗиЛ) (Россия) [1, 2]
ЗИЛ-2906 (1973 г.)	54/74	1802		7,1	15	12,2	860	39/-	Завод имени Лихачёва (ЗиЛ) (Россия) [1, 2]

Окончание табл. 1

Модель транспортно-технологического средства(год создания)	Параметры машины						Параметры шнека		Примечание: производитель (фирма, страна); источник информации
	Мощность двигателя кВт/л.с.	Полная масса, кг	База/колея машины, мм	Максимальная скорость передвижения машины, км/ч			Диаметр шнеков, мм	Угол подъёма винтовой линии (град)/ высота лопасти (м).	
				болото	снег	вода			
ЗИЛ-29061 (1979 г.)	113/154	2250	3350/1500	12	25	14,9	900	35/-	Завод имени Лихачёва (ЗиЛ) (Россия) [1, 2]
ЗИЛ-29061М (1979 – 1980 гг.)	162/220	2400	-/-	7,8	32	15,7	900	35/-	Завод имени Лихачёва (ЗиЛ) (Россия) [1, 2]
The MudMaster (2000-2015 гг.)	259/352,14	-	-/-	-	-	-	-	-/-	Residue Solutions (Австралия)
Amphi-Cat (2000-2015 гг.)	241,24/327,99	19000	-/-	-	-	-	-	-/-	Technology by Josef Pasteiner (Австралия)
Земснаряд-шнекоход (2015 г.)	90,28/122,75	-	-/1400	8			1000	-/-	Днепропетровск (Украина) [1-23]
Болотная Амфибия	85,3/115,98	1000	3500/1800	19,4			0,65	37,5/0,048	(США) [22]
Снежный мотор	16.8/ 22,84	2000	2200/1480	11			0,7	28/0.04	(Канада) [22]
Вездеход	91,1/123,86	3000	2600/-	5			0,54	30/-	(Великобритания)[22]
Тягач	58,8/79,95	2000	-/-	5			0,55	35/-	(Польша) [22]
Болотная амфибия	85,3/115,98	1100	2700/1670	35			0,66	32/0.052	(США) [22]
Транспортер бронированный	264,6/359,76	6500	6000/-	50			1,2	40/0.08	(США) [22]

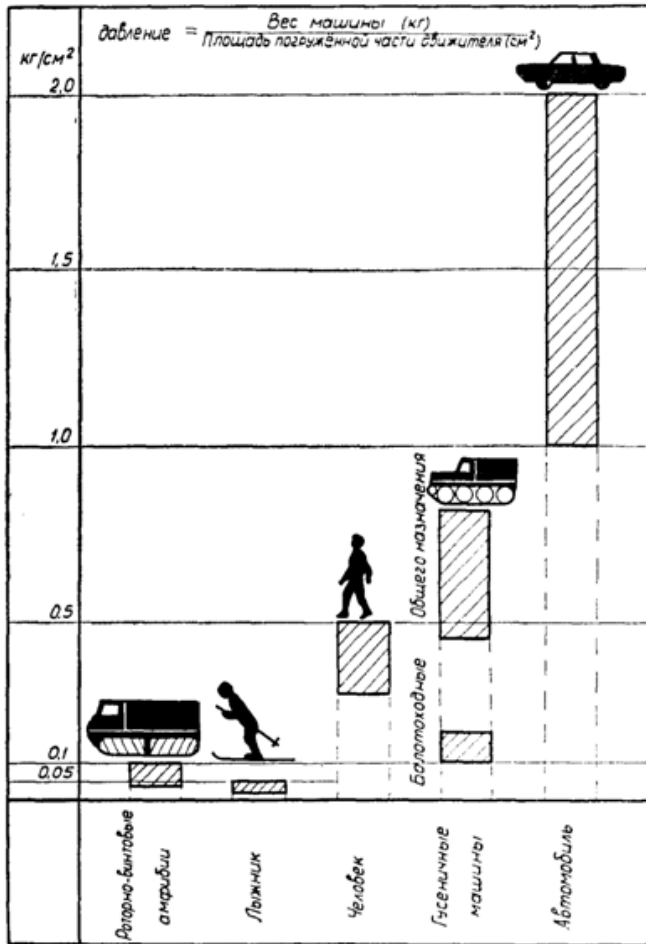


Рис. 56. Схема распределения давлений на опорное основание

давлений, оказываемых на полотно пути различными типами движителей.

Сегодня, в связи со значительными затратами на изготовление полно-размерных образцов машин, оснащенных РВД, многие исследователи, изучающие передвижение этих транспортных средств на местности, используют масштабные модели (рис. 53). Помимо этих исследований в мире ведётся большое количество дизайнерских проектов по шнекоходам (рис. 54). Аналогичные дизайнерские проработки проводились в 60-х ... 70-х годах XX века в ОКБ «РАЛСНЕМГ» ГПИ им. А.А. Жданова (рис. 55).

Проведенный анализ конструкций машин, оснащенных РВД и информационных данных [1-23], позволил обобщить их конструкционные (масогабаритные) параметры и эксплуатационные (мощностные и скоростные) характеристики в табл. 1.

К особенностям роторно-винтовых (червячных) движителей (архимедова винта) относится то, что они могут развивать на снегу значительную силу тяги при минимальных удельных нагрузках на опорное основание. На рис. 56 из работ [18, 22] представлена диаграмма диапазонов

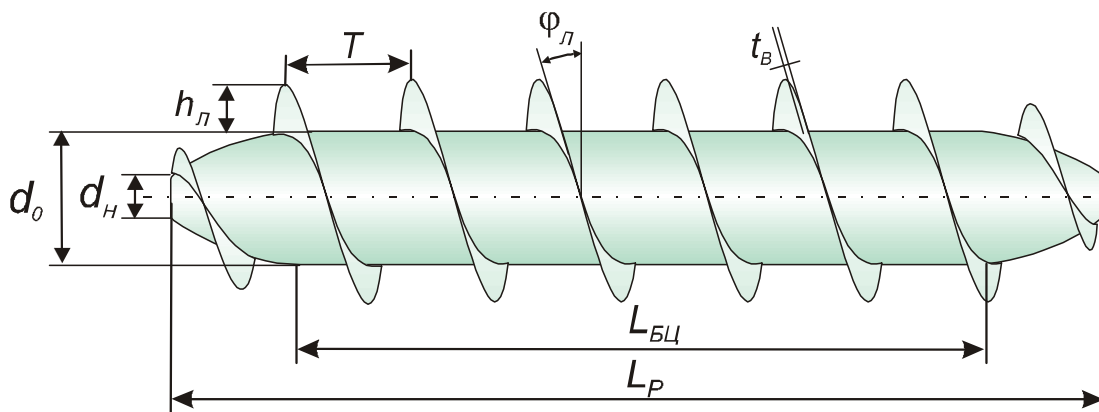


Рис. 57. Схема (основные параметры) роторно-винтового движителя [10]:

$r_0 = 0,5d_0$ - радиус и диаметр базового цилиндра ротора (м); $L_{БЦ}$ - длина базового цилиндра ротора (м); L_P - общая длина ротора (м); h_L - высота винтовой лопасти шнека (м), ϕ_L - угол подъема винтовой лопасти у её основания (рад); $r_H = 0,5d_H$ - радиус и диаметр носка ротора (м); t_B - толщина винтовой лопасти (м); T - шаг винтовой лопасти (м); n_L - количество лопастей

Роторно-винтовой движитель (РВД) - представляет собой одну или несколько винтовых секций (роторов), установленных по бортам машины. Ротор (рис. 57) состоит из базового (обычно пустотелый, заполняется для повышения плавучести пенопластом или гермети-

зируется) с диаметром и навитыми на него одной или несколькими винтовыми лопастями (число лопастей определяется заходностью) с шагом навивки [10]. Винтовая лопасть определяется углом подъема винтовой линии и высотой лопасти. В сечении винтовая лопасть может быть различной формы, но чаще всего применяется треугольная.

Передняя (заходная) часть движителя также может быть выполнена различной формы (конусной, сферической и т.д.). Материал и состояние поверхности ротора характеризуются коэффициентом трения скольжения в зоне контакта движителя с опорной поверхностью. Выбор конструктивных параметров определяет тягово-сцепные характеристики движителя.

На стадии разработки дизайн-проекта и конструкции машины, необходимо произвести обоснование основных параметров РВД. Конструктору необходимо выбрать основные параметры, такие как мощность двигателя, полную массу машины, размеры ротора, размер и угол наклона лопастей.

На сегодняшний день существует не так много технической и специальной литературы, описывающей вездеходные транспортные средства, оснащенные РВД [1-24]. В первую очередь – это книги, которые были выпущены производителями и исследователями машин данного типа [3, 8, 9, 13, 18, 21, 22]. Также есть ряд диссертаций, посвященных исследованию машин на РВ-двигателях [10, 11, 14, 15, 19, 23]. Некоторые аспекты выбора параметров движителей для этих машин представлены в работах [2, 4, 5-7, 12, 16, 17, 20, 24].

На основании анализа и обработки параметров основных характеристик существующих транспортно-технологических машин (ТТМ), оснащенных РВД (см. табл. 1), были получены зависимости, представленные на рис. 58-63, и сделаны выводы о влиянии грузоподъемности на мощность двигателя, массогабаритные размеры и скорость движения ТТМ на РВ-двигателях.

Как видно из рис. 58, среднее значение мощности двигателя от полной массы машины может быть выражено по следующей зависимости: $P_e = 0,4M_a^3 + 1,9M_a^2 + 33M_a + 4$.

На основании этих параметров можно выбирать мощность двигателя вновь проектируемой машины на РВД. Для машины полной массой 1 т мощность двигателя должна быть порядка 35 (15-55) кВт и может колебаться в зависимости от других параметров.

Из рис. 59 видно, что среднее значение диаметра базового цилиндра ротора от полной массы машины может быть выражено по следующей зависимости: $d_0 = -0,003M_a^2 + 0,107M_a + 0,383$.

На основании этих параметров можно выбирать диаметр базового цилиндра ротора вновь проектируемой машины на РВД. Для машины полной массой 1 т диаметр ротора должен быть порядка 0,5 (0,4-0,6) м и его размер может колебаться в зависимости от других параметров машины, а также условий эксплуатации ТТМ.

На рис. 60 показана зависимость среднего значения высоты лопатки винтовой линии от диаметра ротора, которая может быть выражена следующим соотношением $h_{л} = 0,04d_0 + 0,02$.

На основании этих параметров можно выбирать высоту лопатки винтовой линии вновь проектируемой машины на РВД. Для машины с диаметром ротора (0,4-0,6) м высота лопатки составляет (0,04-0,05) м и может колебаться в зависимости от других параметров как машины, так и местности.

Из рис. 61 видно, что среднее значение диаметра ротора от базы может быть выражено следующей зависимостью $L = 0,19d_0 + 0,04$.

На основании этих параметров можно сопоставить диаметр ротора и базу машины на РВД. Для машины с диаметром ротора 0,4-0,6 м база составляет 2-3 м и может колебаться в зависимости от других параметров.

Как видно из рис. 62, среднее значение базы от колеи может быть выражено по следующей зависимости: $L = 2,6B - 1,3$. Тогда для машины с базой 2-3 м колея составит 1,25-1,75 м и может колебаться в зависимости от других параметров.

На рис. 63 представлена зависимость угла наклона винтовой линии ротора от скоро-

сти движения машины на РВД $\alpha = (V/3) + 24$. В ходе анализа параметров и характеристик машин на РВД не удалось найти достаточного количества данных, связывающих угол наклона винтовой линии с другими параметрами ротора, так, данные зависимости многопараметрические и определяются в результате сложных теоретических расчетов.

Таким образом, используя представленные данные и зависимости, можно выбрать начальные параметры машин на РВД. Дальнейшее уточнение выбранных параметров и характеристик возможно произвести только после тягово-скоростного расчета, компоновочных и инженерно-проектных работ, проведенных для конкретного объекта проектирования.

Результаты анализа массо-габаритных, мощностных и скоростных характеристик машин на РВД будут использованы при создании автономного робототехнического мобильного комплекса (АМРК) для мониторинга прибрежной зоны и прогнозирования морских прибрежных катастроф. Данная работа выполняется по ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2013-2020 годы». На рис. 64 представлены компоновочные схемы проектируемого АМРК, который предполагает использование трех типов движителей, в том числе и РВ-двигатель, в зависимости от условий эксплуатации.

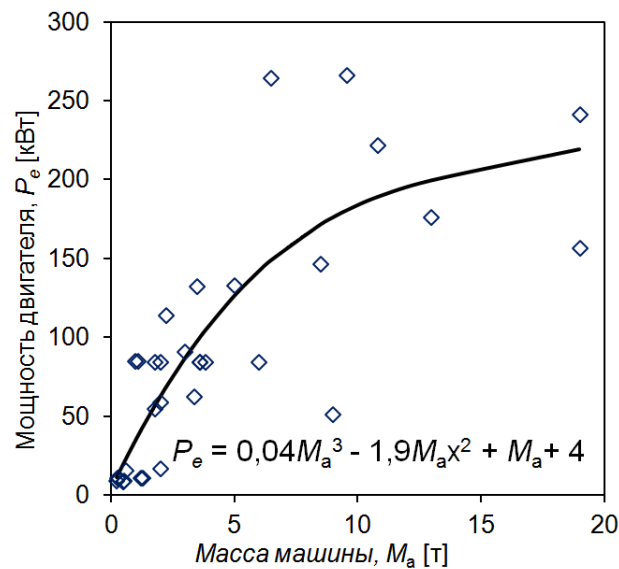


Рис. 58. Зависимость мощности двигателя от полной массы машины на РВД

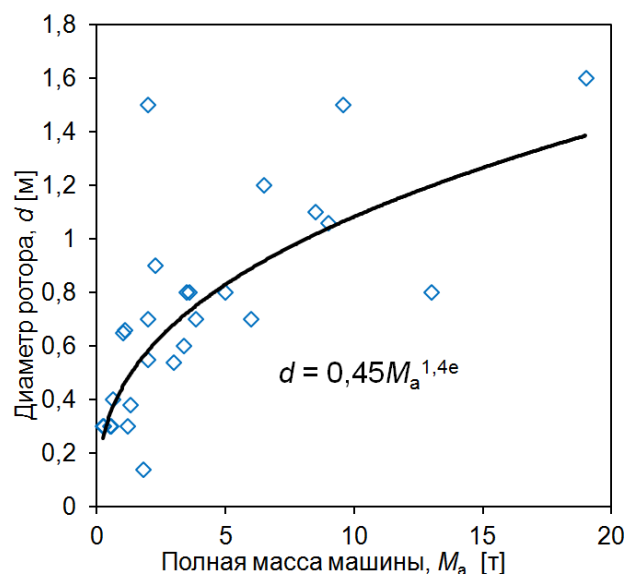


Рис. 59. Зависимость диаметра ротора от полной массы машины на РВД

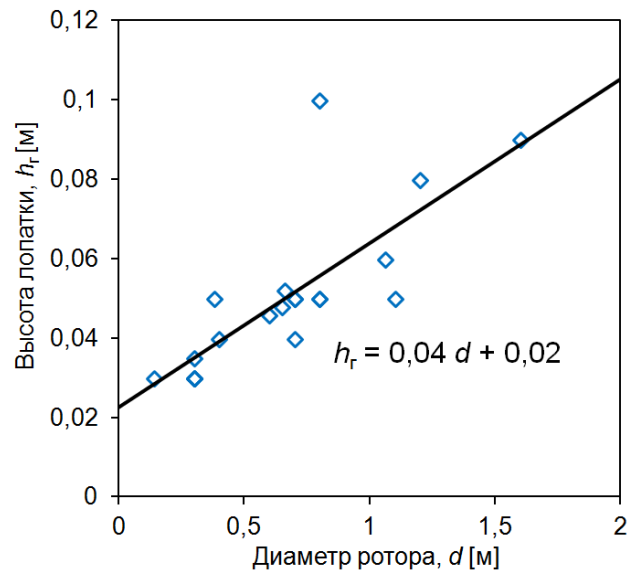


Рис. 60. Зависимость высоты лопатки от диаметра ротора машины на РВД

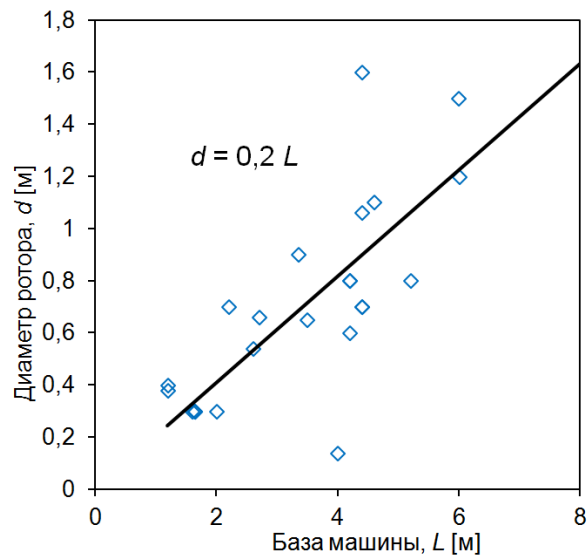


Рис. 61. Зависимость диаметра ротора от базы машины на РВД

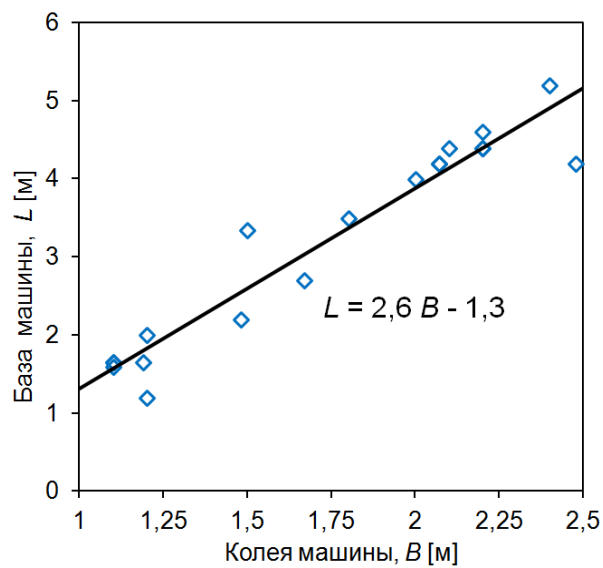


Рис. 62. Зависимость базы от колеи машины на РВД

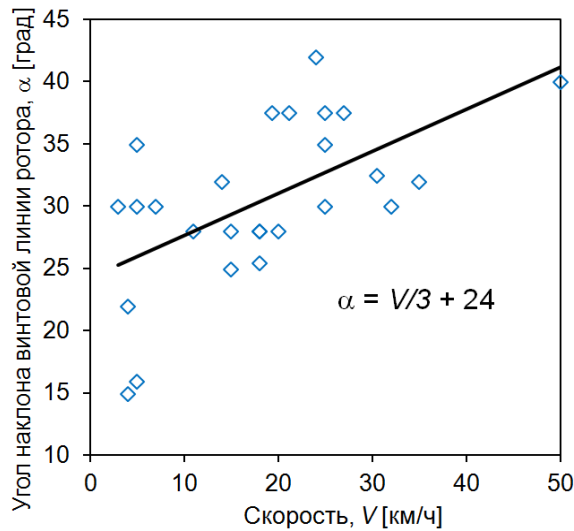
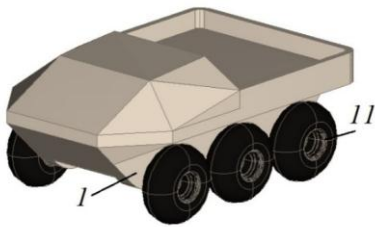
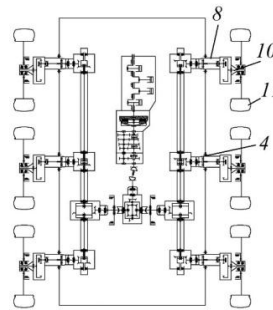


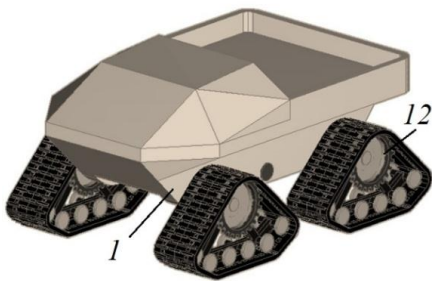
Рис. 63. Зависимость угла наклона винтовой линии ротора от скорости движения машины на РВД



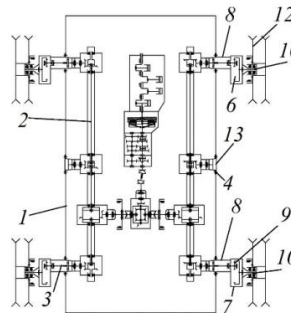
Колесный движитель



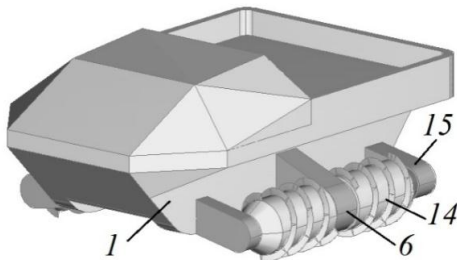
Установка и силовой привод колесного движителя



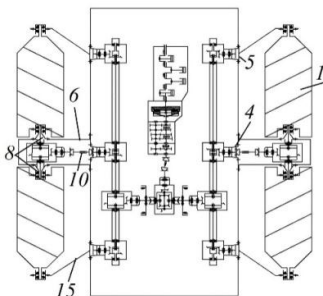
Модульно-гусеничный движитель



Установка и силовой привод гусеничного движителя



Роторно-винтовой движитель



Установка и силовой привод роторно-винтового движителя

Рис. 64. Мобильное шасси автоматизированного робототехнического комплекса «Полярный Лис»

Итогом выполненного анализа предполагается, что после выбора исходных параметров возможно будет провести математическое моделирование движения транспортно-технологических машин, оснащенных РВ-двигателем, в условиях пересеченной местности с учетом разработанных моделей местности и полотна пути, представленных в работах [25-45]. Это может послужить основой для расчета оценки подвижности и производительности ТТМ на РВД по методикам, представленным в работах [9, 10, 11, 14, 15, 19, 23, 25, 38, 43, 46-50].

Представленные результаты получены в ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» в рамках реализации ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы» (соглашение № 14.574.21.0089 (уникальный идентификатор соглашения – RFMEFI57414X0089))

Библиографический список

1. **Данилов, Р.Г.** Развитие конструкции роторно-винтовых двигателей для транспортных и технологических машин // Строительные и дорожные машины. 2015. №1. С. 53–58.
2. **Вольский, С.Г.** Шнековые двигатели / С.Г. Вольский, Ю.И. Соболев, В.В. Цирульников // За рулём. 1969. № 4.
3. **Крживицкий, А.А.** Снегоходные машины / А.А. Крживицкий. – М.: Машгиз, 1949. – 236 с.
4. **Кириндас, А.** Роторно-винтовые ледоколы / А. Кириндас, Р. Данилов // Техника и вооружение вчера, сегодня, завтра. 2013. № 10. С. 48–52.
5. **Данилов, Р.Г.** Снегоболотоход «Шнек»: Автомобили для бездорожья // Техника и вооружение вчера, сегодня, завтра. 2010. № 9. С. 42–46.
6. **Данилов, Р.Г.** Шнековый снегоболотоход ПЭУ-3: Автомобили для бездорожья // Техника и вооружение вчера, сегодня, завтра. 2010. № 11. С. 31–36.
7. **Данилов, Р.Г.** Серийный шнекоход: Автомобили для бездорожья // Техника и вооружение вчера, сегодня, завтра. 2011. № 6. С. 33–38.
8. **Куляшов, А.П.** Экологичность двигателей транспортно-технологических машин / А.П. Куляшов, В.Е. Колотилин. – М.: Машиностроение, 1993. – 228 с.
9. Вездеходные транспортно-технологические машины. Основы теории движения / В.В. Беляков [и др.]; под общ. ред. В. В. Белякова и А. П. Куляшова. – Н. Новгород, 2004. – 960 с.
10. **Шапкин, В.А.** Основы теории движения машин с роторно-винтовым двигателем по заснеженной местности: дисс. ... докт. техн. наук 05.05.03 / Шапкин В.А. – Н. Новгород 2001. – 390 с.
11. **Адясов, Ю.П.** Исследования в области транспортных средств на воздушной подушке с роторно-винтовым двигателем: дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / Адясов Ю.П. – Горький, 1973. – 224 с.
12. **Вологдин, В.И.** Влияние направления вращения винтовых роторов на стабилизацию прямолинейного движения снегохода / В.И. Вологдин, В.И. Захаренков // Снегоходные машины: сборник научных трудов. – Горький, 1971. Вып. 10. С. 23–31.
13. Двигатели специальных строительных и дорожных машин / В.Е. Колотилин [и др.]; НГТУ. – Н. Новгород, 1995. – 208 с.
14. **Колотилин, В.Е.** Исследование процессов взаимодействия роторно-винтового двигателя ледово-фрезерной машины со снежным покровом и динамических нагрузок в её силовом приводе: дисс. ... канд. тех. наук: 05.05.03 / Колотилин В.Е. – Горький, 1976. – 253 с.
15. **Куляшов, А.П.** Специальные строительно-дорожные машины с роторно-винтовым двигателем: дисс. ... док. тех. наук: 05.05.03/ Куляшов А.П.. – Горький, 1986. – 327 с.
16. **Куляшов, А.П.** Вездеходы с роторно-винтовым двигателем: теория, создание, эксплуатация / А.П. Куляшов [и др.] // Нефть и газ Западной Сибири. Проблемы добычи и транспортировки: тез. докл. межгосударственной конф. / Тюмень, 1993. С. 196.
17. **Куляшов, А.П.** Выбор оптимальных параметров роторно-винтовых машин особо высокой проходимости / А.П. Куляшов [и др.] // Повышение эффективности проектирования, испытаний и эксплуатации двигателей, автомобилей, вездеходных и специальных строительных и дорожных машин: тез. докл. Международной науч.-техн. конф. – Н. Новгород, 1994. С. 36.

18. **Куляшов, А.П.** Роторно-винтовые амфибии / А.П. Куляшов, А.Ф. Николаев. – Горький: Волго-Вятское кн. изд-во, 1973. – 47 с.
19. **Левшунов Л.С.** Исследование поворота ледорезных машин с роторно-винтовым двигателем: дисс. ... канд. тех. наук: 05.05.03 / Левшунов Л.С. – Горький, 1978. – 196 с.
20. **Рукавишников, С.В.** Роторно-винтовой движитель и его особенности / С.В. Рукавишников, В.И. Вологдин // Снегоходные машины: сб. научн. тр. – Горький, 1973. Вып. 5. С. 5–29.
21. Снегоходные машины / Л.В. Барахтанов [и др.]. – Горький: Волго-Вятское кн. изд-во, 1986. – 191 с.
22. Роторно-винтовые машин. Основы теории движения / И.О. Данато [и др.]. – Н. Новгород: ННПК, 2000. – 451 с.
23. **Хабутдинов, Р.А.** Исследование взаимодействия роторно-винтового движителя с переувлажненным грунтом: дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / Хабутдинов Р.А.. – Киев, 1973. – 263 с.
24. Нижегородская научная школа вездеходных машин, транспортно-технологических комплексов и специального оборудования / Л. В. Барахтанов [и др.] ; под общ. ред. В. В. Белякова и А. П. Куляшова ; М-во образования и науки Российской Федерации, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования Нижегородский гос. технический ун-т им. Р. Е. Алексеева. Нижний Новгород, 2007.
25. **Беляков, В.В.** Концепция подвижности наземных транспортно-технологических машин / В.В. Беляков [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2013. № 3 (100). С. 145–174.
26. **Беляков, В.В.** Подвижность наземных транспортно-технологических машин / В.В. Беляков [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2013. № 4. С. 72–77.
27. **Макаров, В.С.** Многоуровневая модель снега как полотна пути для транспортно-технологических машин на примере территории Российской Федерации / В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин, В.В. Беляков // Фундаментальные исследования. 2013. № 10–2. С. 270–276.
28. **Вахидов, У.Ш.** Математическое описание дорог типа «stone-road» / У.Ш. Вахидов, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 3. С. 151.
29. **Вахидов, У.Ш.** Определение характеристик микропрофиля в поймах рек северного Кавказа / У.Ш. Вахидов, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Интеллектуальные системы в производстве. 2011. № 1. С. 82–88.
30. **Макаров, В.С.** Определение характеристик микропрофиля дорог, предназначенных для движения транспортно-технологических машин / В.С. Макаров [и др.] // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 5. С. 113.
31. **Макаров, В.С.** Характер изменения снежного покрова как полотна пути с учетом неравномерности его залегания на местности / В.С. Макаров [и др.] // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 4. С. 33.
32. **Гончаров, К.О.** Проведение замеров микропрофиля поверхности движения типа ровное поле / К.О. Гончаров, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Леса России и хозяйство в них. 2012. Т. 1–2. № 42–43. С. 29–30.
33. **Беляков, В.В.** К вопросу выбора экспериментальных данных для составления статистических моделей снежного покрова как полотна пути для транспортно-технологических машин / В.В. Беляков [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2014. № 1 (102). С. 136–141.
34. **Макаров, В.С.** Снег как полотно пути для транспортных средств / В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин, В.В. Беляков // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 4. С. 21–24.
35. **Редкозубов, А.В.** О целесообразности моделирования дорог при помощи фрактального исчисления / А.В. Редкозубов, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Леса России и хозяйство в них. 2012. Т. 1-2. № 42-43. С. 87–88.
36. **Козлов, В.С.** Шагающие аппараты, развитие теории взаимодействия движителя с грунтом / В.С. Козлов, В.В. Беляков. – Нижний Новгород, 1999. – 140 с.
37. Полотно пути транспортно-технологических машин (справочные материалы к теории «машина – местность») / В.В. Беляков [и др.]; под общ. ред. В.В. Белякова и А.А. Куркина / Нижний Новгород, 2014. – 447 с.
38. **Беляков, В.В.** Взаимодействие со снежным покровом эластичных движителей специальных транспортных машин: дисс. ... на соискание ученой степени доктора технических наук / Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 1999. – 485 с.

39. **Барахтанов, Л. В.** Проходимость автомобиля / Л.В. Барахтанов, В.В. Беляков, В.В. Кравец; НГТУ. – Н. Новгород, 1996. – 200 с.
40. **Беккер, М.Г.** Введение в теорию систем местность-машина / М.Г. Беккер. – М.: Машиностроение, 1973. – 520 с.
41. **Кошарный, Н.Ф.** Техничко-эксплуатационные свойства автомобилей высокой проходимости / Н.Ф. Кошарный. – Киев.: Вышш. шк., 1981. – 208 с.
42. **Забавников, Н.А.** Основы теории транспортных гусеничных машин / Н.А. Забавников. – М.: Машиностроение, 1975. – 448 с.
43. **Беляков, В.В.** Методика расчета и анализ путей повышения проходимости многоосных колесных машин по снегу: автореферат дисс. ... канд. техн. наук / Беляков В.В. – М., 1992. – 16 с.
44. **Куркин, А.А.** Новые тенденции в обследовании цунами / А.А. Куркин [и др.] // Экологические системы и приборы. 2014. № 12. С. 40–55.
45. **Папунин, А.В.** О влиянии ландшафта местности на характеристики снежного покрова и на проходимость транспортных средств / А.В. Папунин [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2014. № 4 (106). С. 331–335.
46. **Беляков, В.В.** Многокритериальная оптимизация в задачах подвижности, конкурентоспособности автотракторной техники и диагностики сложных технических систем / В.В. Беляков, М.Е. Бушуева, В.И. Сагунов; НГТУ. – Н. Новгород, 2001. – 271 с.
47. **Макаров, В.С.** Обзор существующих конструкций сочлененных гусеничных машин и рекомендации по выбору их параметров / В.С. Макаров [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева 2015. №2(109). С. 170–276.
48. **Макаров, В.С.** Методика расчета и оценка проходимости колесных машин при криволинейном движении по снегу: дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / Макаров В.С. – Н. Новгород, 2009. – 161 с.
49. **Гончаров, К.О.** Оценка влияния экскавационно-бульдозерных эффектов на проходимость многоосных колесных машин при криволинейном движении по снегу: дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / Гончаров К.О. – Н. Новгород, 2010. – 259 с.
50. **Зезюлин, Д. В.** Разработка методики выбора конструкционных параметров движителей, обеспечивающих эффективность движения колесных машин по снегу: дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / Зезюлин Д. В. – Н. Новгород, 2013. – 218 с.

*Дата поступления
в редакцию 02.07.2015*

**V. E. Kolotilin, A. V. Miheev, P. O. Beresnev, A. M. Belyaev, A. V. Papunen,
D.V. Zezyulin, V.S. Makarov, V.V. Belyakov, A. A. Kurkin**

**STATISTICAL MODEL OF SELECTION GEOMETRIC PARAMETERS,
MASS- INERTIA AND POWER CHARACTERISTICS
OF TRANSPORT- TECHNOLOGICAL MACHINES
WITH ROTARY-SCREW PROPELLERS**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

The article deals with dependences and draws conclusions about the impact of vehicle capacity on the engine power and speed of transport- technological machines equipped with rotary-screw propeller, which condition their mobility, productivity and technological efficiency. The technique of rational choice of the type of machine, maneuverability control systems, providing total power requirement, load capacity, maximum speed is adduced in this article. The presented results were obtained in Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R. Alekseev in the framework of the Federal Target Program «Research and development on priority directions of scientific-technological complex of Russia for 2014 - 2020 years» (agreement № 14.574.21.0089 (unique identifier of agreement - RFMEFI57414X0089))

Key words: rotary-screw propeller, power, mass, diameter of the rotor, height of the blade, angle of slope of helix.