

УДК 625.76.08

Развитие конструкции роторно-винтовых движителей для транспортных и технологических машин

Дан обзор конструкций машин с роторно-винтовым движителем. Приведены результаты их испытаний в различных грунтовых условиях (глубокий снег, болото, славина, открытая вода), их основные технические характеристики, а также результаты сравнительных испытаний таких машин с разными типами движителей.

Ключевые слова: роторно-винтовой движитель, снегоболотоход, мощность, масса, пневмокатковая цепь, глубокий снег, славина, болото.

Различные климатические и грунтовые условия требуют для решения важных производственных задач специальных технических средств. В сильно заснеженных и заболоченных районах обычные машины

с пневмоколёсным или гусеничным движителем не могут работать. В этих условиях применяются машины с нетрадиционными ходовыми устройствами, одним из которых является роторно-винтовой движитель.

Роторно-винтовой движитель выполняется в виде двух (четырёх) металлических барабанов с приваренными к ним по винтовой линии спиралями, такую конструкцию называют винтами или шнеками. При вращении барабанов спираль, зацепляясь за грунт или снег, сообщает машине движение, что позволяет ей двигаться по снегу, воде, болоту, песку и другим мягким грунтам.

Первая конструкция роторно-винтового движителя была создана в 1900 г. русским изобретателем *Ф. Дергинтом*, ему была

Р.Г. ДАНИЛОВ,
канд. техн. наук
(ФГУП «Центральный
ордена Трудового
Красного
Знамени научно-
исследовательский
автомобильный и
автомоторный институт
«НАМИ»)

Рис. 1. Мотосани «Мотобоб»

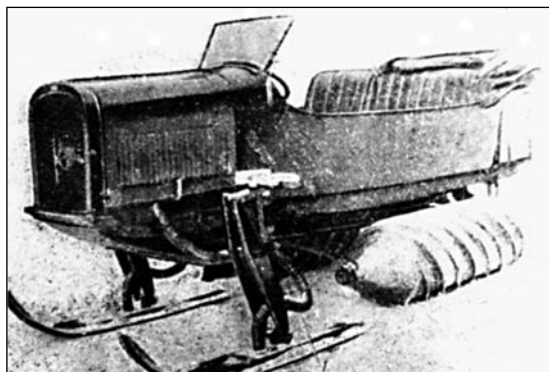


Рис. 2. Снегоболотоход Marsh Screw



Рис. 3. Снегоболотоход Dorothy L

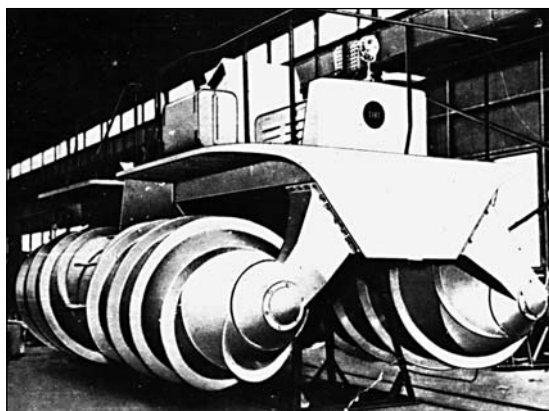


Рис. 4. Ледово-фрезерная машина ГПИ-66



Рис. 5. Ледово-фрезерная машина ГПИ-72 в транспортном исполнении



выдана привилегия на сани, приводимые в движение шнеком, взаимодействующим со снежной средой [1].

Снегоходные машины с роторно-винтовым двигателем – мотосани «Мотобоб» (рис. 1) и тягач «Фордзон» [2] – были испытаны А.А. Крживицким в середине 20-х годов XX века. Двигатель «Мотобоба» был выполнен в виде двух шнеков, впереди которых были установлены две лыжи для управления перемещением. При общей массе с тремя пассажирами 840 кг и мощности двигателя внутреннего сгорания 15,96 кВт (21,7 л.с.) мотосани развивали зимой на заснеженном шоссе скорость до 32,4 км/ч, а на снежной целине – 10 км/ч. Тягач «Фордзон», построенный на базе американского трактора, имел в качестве двигателя два несущих шнека диаметром 700 мм и мог буксировать по снежной целине санный прицеп массой 3280 кг со скоростью 4,5 км/ч.

Снегоболотоход Marsh Screw (рис. 2), созданный в 1966 г. фирмой Chrysler (США), применялся для транспортирования грузов по воде через рисовые чеки и болота. Лёгкий алюминиевый корпус машины опирался на два металлических шнека. Скорость такого транспортного средства на воде составляла 12 км/ч, на снегу – 32 км/ч.

Болотоходы Dorothy (рис. 3), изготовлявшиеся компанией UNU (Япония), отличались тем, что имели четыре шнека (по два с каждого борта), причём каждая пара одного борта имела разное направление вращения и противоположные углы навивки спирали. Эти машины использовались в качестве базового шасси, на котором устанавливалось оборудование для забивки свай и буровой установки.

В отраслевой лаборатории по разработке льда, снега и мёрзлого грунта (позднее ОКБ «РАЛСНЕМГ») Горьковского политехнического института (ГПИ) под руководством А.Ф. Николаева были изготовлены и исследованы ледово-фрезерные машины (ЛФМ) с роторно-винтовым двигателем ГПИ-66, ГПИ-72, ГПИ-75 и СЛУ-119 (см. таблицу).

Ледово-фрезерная машина ГПИ-66 (рис. 4) была создана в 1967 г. на базе гусеничного транспортного средства ГАЗ-47 с заменой гусеничного двигателя на роторно-винтовой. Сравнительные испытания позволили установить, что ГПИ-66 обладает хоро-

Техническая характеристика транспортных средств высокой проходимости

Модель транспортного средства	Мощность двигателя кВт/л.с.	Полная масса, кг	Удельная мощность, кВт/т	Диаметр шнеков, мм	Угол подъёма винтовой линии, град.	Максимальная скорость передвижения, км/ч		
						болото	снег	вода
«Мотобоб»	16/21,7	840	19,04	400	32	–	32,4	–
«Фордзон»	16,8/22,8	5000	3,36	700	28	–	6	–
Marsh Screw	85/116	1520	55,9	660	32	16	32	12
Dorothy S	51/70	5500	9,27	1060	16	3–5	–	7
Dorothy L	147/200	19000	7,74	1600	15	2–4	–	5
ГПИ-16ВА	9,3/12,6	550	16,9	300	25	–	15	–
ГПИ-16Ш	8,8/12	500	17,6	300	42	–	24	–
ГПИ-16ВС	11,4/15,5	280	40,7	300	37°30'	–	27	–
ГПИ-16Р	9,3/12,6	230	40,4	300	37°30'	–	25	–
ГПИ-66	54/74	3590	15,04	600	25°30'	–	18	10
ГПИ-72	84,6/115	3850	21,97	700	28	–	20	12
ГПИ-75	84,6/115	6000	14,1	700	28	–	18	–
СЛУ-119	11,4/15	1200	9,5	300	22	–	4	–
ГПИ-02	84,6/115	3600	23,5	800	37°30'	–	21,2	–
ГПИ РВТ-85	176/240	13000	13,5	0,8	32	–	14	–
ГПИ ВМ-99	147/200	8500	17,3	1100	30	–	7	–
ШН-67	132/180	4600	28,7	800	17°40'	3,35	10,3	7,2
ШН-68	132/180	5000	26,4	800	32°30'	3,35	30,5	12,4
ЗИЛ-4904	264/360	10165	25,97	1500	34	7,3	16	10,1
ЗИЛ-4904 (ПЭУ-ЗБ)	264/360	8500	31,06	1500	34	10	10,8	9,25
ЗИЛ-2906	54/74	1802	30,0	860	39	7,1	15	12,2
ЗИЛ-29061	113/154	2250	50,2	900	35	12	25	14,9
ЗИЛ-29061М	162/220	2400	67,5	900	35	7,8	32	15,7

шими тяговыми качествами, значительно более высокими, чем у ГАЗ-47. Наглядно подтвердилось, что при движении по льду и глубокому снегу использование роторно-винтового движителя для технологических машин (в том числе и ЛФМ, требующих больших тяговых усилий) являлось более предпочтительным. ЛФМ ГПИ-66 в процессе испытаний продемонстрировала хорошую устойчивость при резании льда, высокое тяговое усилие, а также полную безопасность в работе. При попадании в полынью шнекоход самостоятельно выходил из воды на лёд. При движении по льду коэффициент сцепления роторно-винтового движителя со льдом составил 0,865, а тяговое усилие машины – 35 кН. На воде тяговое усилие ГПИ-66 достигло 5,8 кН, что значительно превысило этот показатель машин с гусеничными движителями (2,9–3,6 кН).

Ледово-фрезерная машина ГПИ-72 (рис. 5), спроектированная и изготовленная специалистами ГПИ в 1972 г., предназначалась для околки судов, зимующих в затонах, с целью предотвращения повреждения их корпусов льдом. Эта машина имела четыре роторно-винтовые секции. При испытаниях максимальная скорость передвижения машины по снегу достигала 17 км/ч, по воде

12 км/ч, а максимальное тяговое усилие на крюке – 36,5 кН. Машина преодолевала заснеженный склон с углом 35°.

Ледово-фрезерная машина ГПИ-75 (рис. 6), оснащённая дисковой фрезой, была сконструирована в 1975 г., позже была создана **роторно-винтовая машина ВМ-99** (рис. 7), предназначенная для произ-



Рис. 6. Ледово-фрезерная машина ГПИ-75



Рис. 7. Роторно-винтовая машина ВМ-99

Рис. 8. Роторно-винтовая машина
ГПИ-16ВА



Рис. 9. Роторно-винтовая машина
ГПИ-16Р



Рис. 10. Мотонарты
ГПИ-16ВС



Рис. 11. Роторно-винтовая машина
РВВП-68

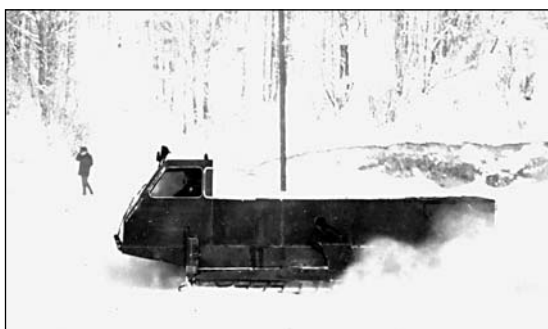


Рис. 12. Макетный образец роторно-винтового снегоболотохода ШН-68



водства дноуглубительных работ на Волго-Балтийском водном пути.

Роторно-винтовые машины с частичной разгрузкой движителя корпусом ГПИ-16ВА (рис. 8), ГПИ-16Р (рис. 9) и лыжами ГПИ-16ВС (рис. 10), а также с воздушной подушкой РВВП-68 (рис. 11) также были созданы в ГПИ и прошли необходимые виды испытаний.

Транспортное средство высокой проходимости (снегоболотоход), созданное специалистами *МИНГ им. И.М. Губкина*, имело вид специализированного тягача для использования при строительстве магистральных трубопроводов.

В 1967–1979 гг. на *Заводе им. И.А. Лихачева* под руководством ведущего конструктора Ю.И. Соболева были проведены исследования роторно-винтового движителя макетных и опытных образцов транспортных средств высокой проходимости ШН-68, ЗИЛ-4904 (ПЭУ-3А), ЗИЛ-4904Б (ПЭУ-3Б), ЗИЛ-2906 и ЗИЛ-29061 массой от 1800 до 10165 кг, а также роторно-винтовых движителей с углом наклона спирали от $17^{\circ}40'$ до 39° в различных грунтовых условиях.

Роторно-винтовой снегоболотоход ШН-68 (рис. 12), изготовленный в 1968 г., прошёл зимние испытания в северной части Пермской области в районе г. Березники на сыпучем (фирновом) снегу при средней температуре внешней среды от минус 8 до минус 4°C и глубине снежного покрова 900–1100 мм. Скоростные и тягово-динамические испытания проводились при массе машины 3750, 4250 и 5000 кг. Параллельно с моделью ШН-68 испытывались техническое средство ПКЦ-1 с двигателем «пневмоколёсная цепь» (более известным под названием «Аэролл»), мотонарты ГПИ-16ВС, а также колёсный снегоход ЗИЛ-Э167 [4]. Результаты исследований позволили установить, что при глубине снега более 900 мм снегоход ЗИЛ-Э167 и мотонарты ГПИ-16ВС не могут передвигаться. Максимальная скорость передвижения снегоболотохода ПКЦ-1 составила 12,5 км/ч, а ШН-68 на том же участке пути – 17,9 км/ч при массе 3750 кг. При массе 4250 кг скорость передвижения ШН-68 достигла 17,3 км/ч, а при 5000 кг – 17,4 км/ч.

Максимальная величина пробуксовки шнеков (7,7%) у модели ШН-68 наблюда-

лась при скорости передвижения 17,9 км/ч и массе 3750 кг, увеличение скорости в 2 раза (с 8 до 16 км/ч) при той же массе вызвало повышение показателя пробуксовки шнеков на 2,1%. При увеличении полной массы машины пробуксовка шнеков уменьшалась, а крутящий момент на них реализовывался полнее. При скорости 8 км/ч и массе изделия 3750 кг суммарный крутящий момент составлял 2,99 кН·м, при массе 5000 кг – 3,76 кН·м, т.е. он увеличивался пропорционально массе машины. При массе машины 5000 кг максимальное тяговое усилие на крюке составило 11,77 кН, при массе 4250 кг – 9,81 кН, а при массе 3750 кг – 9,52 кН.

Снегоболотоход ЗИЛ-4904 (рис. 13), полная масса которого достигала 10165 кг, был изготовлен в 1972 г. и предназначался для перевозки 8 человек и 2000 кг груза. Скоростные и тягово-динамические испытания этой машины проводились без груза и с грузом массой 2500 кг. Для сравнения в испытаниях участвовали роторно-винтовая модель ШН-68 и гусеничный транспортёр ГАЗ-71 [5]. Без груза снегоболотоход ЗИЛ-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 сплаvine, заросшей высокой осокой, камышами и кустарником. С грузом в этих условиях скорость его передвижения на воде составила 9,25 км/ч, на покрытом водой болоте – 7,1 км/ч и на сплаvine – 3,2 км/ч. Максимальное тяговое усилие на швартовочных видах испытаний составило 14,03 кН без груза и 16,87 кН с грузом. Тяговое усилие на покрытом водой болоте достигло 17,46 кН без груза и 13,05 кН с грузом. Максимальное тяговое усилие снегоболотохода с грузом было получено на входе в болото с глинистым дном и составило 108,6 кН. Гусеничный транспортёр ГАЗ-71 на сплаvine двигаться вообще не мог.

Роторно-винтовые снегоболотоходы ЗИЛ-2906 (рис. 14) и **ЗИЛ-29061**, изготовленные в 1976–1979 гг., предназначались для работы в составе комплекса поисково-эвакуационных машин. В 1979 г. ЗИЛ-29061 прошёл заводские испытания на верхнем пруду рыбхоза «Нара» в Одинцовском районе Московской области. При определении углов входа и выхода из воды машина на 1-й пере-

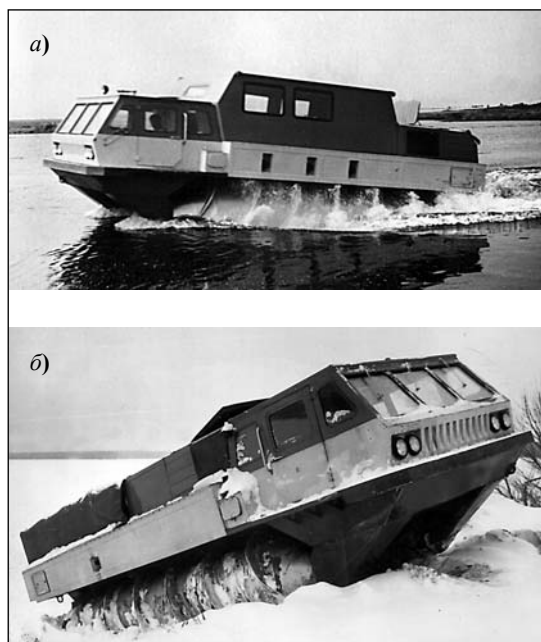


Рис. 13. Роторно-винтовой снегоболотоход ЗИЛ-4904 в пассажирском (а) и грузовом исполнении – ПЭУ-ЗБ (б)



Рис. 14. Роторно-винтовой снегоболотоход ЗИЛ-2906 (1976)

даче коробки перемены передач (КПП) и 1-й передаче дополнительной коробки преодолела береговую линию под углом 23°. При угле подъёма берега более 23° она уткнулась лыжами в склон и не смогла выйти на него. Спуск в воду осуществлялся при уклоне более 23° (бóльших значений угла уклона берега найти не удалось). При угле уклона 20° стояночный тормоз удерживал машину в течение 20 мин.

На совместных швартовочных испытаниях снегоболотоходов с гусеничным транспортёром ГАЗ-71 на открытой воде ЗИЛ-29061 на 3-й передаче КПП и 2-й передаче дополнительной коробки развил тяговое усилие 7,46 кН. У машины ЗИЛ-2906 на 2-й передаче КПП и 2-й передаче планетарного механизма тяговое усилие составило 6,77 кН, а у гусеничного транспортёра на 3-й передаче – 1,96 кН [6].

При скоростных испытаниях на чистой воде (глубина 2,4 м) ЗИЛ-29061 с экипажем

Рис. 15. Снегоболотоход ЗИЛ-29061 (2014)



из двух человек развил максимальную скорость передвижения 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 передвижения 11,3 км/ч, ЗИЛ-2906 – 6,6 км/ч, а ГАЗ-71 с экипажем из двух членов – 13,1 км/ч. На сплаvine ГАЗ-71 двигаться не мог, у ЗИЛ-29061 с экипажем из четырех человек скорость составила 6,1 км/ч, а у ЗИЛ-2906 – 5,3 км/ч.

Роторно-винтовой снегоболотоход ЗИЛ-29061 (рис. 15), изготовленный в 2014 г. специалистами АМО ЗИЛ, предназначен для работы в качестве буксира для технических средств на воздушной подушке. Известно, что такие транспортные средства не могут самостоятельно преодолевать затяжные подъёмы. Для этого при движении по снежной целине глубиной более 600 мм их будет буксировать роторно-винтовой снегоболотоход. Тягово-динамические возможности машины ЗИЛ-29061 вполне достаточны для выполнения такой работы, а насколько это будет удобно и эффективно, смогут дать ответ предстоящие испытания.

Проведённые исследования подтвердили высокие транспортные возможности и подвижность снегоболотоходов с роторно-винтовым двигателем как на переувлажнённых грунтах, болотах, открытой воде, так и на снегу, без ограничения глубины снежного покрова. Шнекоход уверенно перемещается по льду любой толщины, в том числе по талому, проламывая его и образуя после себя полынья воды. Роторно-

винтовой движитель компактен и удобен для установки на него различного технологического оборудования. Для ряда эксплуатационных условий, таких как снежная целина глубиной более 900 мм, заболоченная местность с участками сплавины, этот вид движителя просто незаменим для обеспечения технологической машине необходимой подвижности и проходимости.

Список литературы

1. Вольский С.Г., Соболев Ю.И., Цирульников В.В. Шнековые движители // За рулём. 1969. № 4.
2. Крживицкий А.А. Шнекоходные машины. М.: Машгиз, 1949. 236 с.
3. Кириндас А., Данилов Р. Роторно-винтовые ледоколы // Техника и вооружение вчера, сегодня, завтра. 2013. № 10. С. 48–52.
4. Данилов Р.Г. Снегоболотоход «Шнек»: Автомобили для бездорожья // Техника и вооружение вчера, сегодня, завтра. 2010. № 9. С. 42–46.
5. Данилов Р.Г. Шнековый снегоболотоход ПЭУ-3: Автомобили для бездорожья // Техника и вооружение вчера, сегодня, завтра. 2010. № 11. С. 31–36.
6. Данилов Р.Г. Серийный шнекоход: Автомобили для бездорожья // Техника и вооружение вчера, сегодня, завтра. 2011. № 6. С. 33–38.
7. Куляшов А.П., Колотилин В.Е. Экологичность движителей транспортно-технологических машин. М.: Машиностроение, 1993. 228 с.

R.G. Danilov

Development of design rotary-screw propulsion for transport and technological machines

This paper presents an overview of the research and testing of structures, machines with rotary-screw propulsion. The results of the testing machines in different ground conditions (deep snow, swamp, marsh, open water). The basic design parameters considered machines (power, mass, diameter of the drum, the angle of helix of the spiral rotary-screw propulsion). The results of comparative tests of machines with different types of propulsion systems: pneumatic, caterpillar, aeroll.

Keywords: rotary-screw propulsion, power, mass, aeroll, deep snow, swamp, marsh.