

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РОТОРНО-ВИНТОВЫХ ДВИЖИТЕЛЕЙ ДЛЯ ДОРОЖНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

Актуальность проблемы. Разнообразные естественно-климатические и грунтовые условия требуют для решения важных народнохозяйственных задач специальных технологических средств. Для выполнения различных работ в сильно заснеженных и заболоченных районах не могут быть использованы обычные машины с пневмоколесным или гусеничным двигателем. В этих условиях могут работать машины с нетрадиционными ходовыми устройствами, одним из которых является роторно-винтовой двигатель.

Анализ публикаций. В периодической печати [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7] описаны результаты испытаний машин с роторно-винтовыми двигателями (табл. 1). Ввиду значительных различий грунтовых условий для объективной оценки возможностей машин по преодолению болот и снежной целины следует опираться на результаты совместных испытаний машин с различными типами двигателей и роторно-винтовых вездеходов разных конструкций.

Цель статьи. Оценить возможности машин с роторно-винтовыми двигателями в труднопроходимых грунтовых условиях (глубокий снег, болота с полыньями воды, сплавина) по сравнению с машинами, оснащенными другими типами двигателей.

Основная часть. Конструктивно роторно-винтовой двигатель выполнен в виде двух (четырех) металлических барабанов (рис. 1) с приваренными к ним по винтовой линии спиралями. Такие барабаны называют винтами или шнеками. При вращении барабанов спираль, зацепляясь за грунт или снег, сообщает машине движение. Подобная конструкция двигателя позволяет двигаться по снегу, воде, болоту, песку и другим мягким грунтам.

Впервые конструкция роторно-винтового двигателя была предложена в 1900 г. русским изобретателем Ф. Дергинтом, которому была выдана привилегия на сани, приводимые в движение шнеком, взаимодействующим со снежной средой [1].

В середине 20-х гг. XX века А. А. Крживицким были испытаны различные снегоходные машины с роторно-винтовым двигателем – мотосани «Мотобоб» и тягач

«Фордзон» [2].

Движитель «Мотобоба» был выполнен в виде двух шнеков, впереди которых были установлены две лыжи для управления движением. Мотосани при общей массе с тремя пассажирами 840 кг и мощности двигателя 15,96 кВт (21,7 л.с.) развивали зимой на заснеженном шоссе скорость 32,4 км/ч, а на снежной целине 10 км/ч.

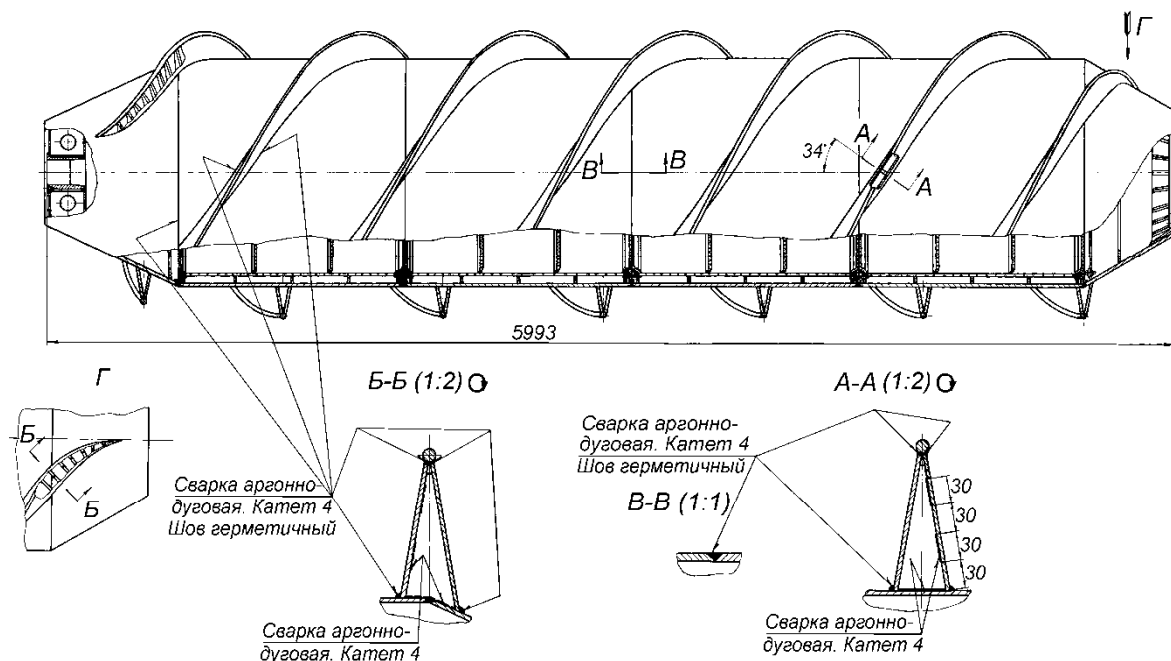


Рис. 1. Барабан со спиралью роторно-винтового движителя (шнек).

Тягач «Фордзон», построенный на базе американского трактора, имел в качестве движителя два несущих шнека диаметром 700 мм. Тягач мог буксировать по снежной целине санный прицеп массой 3280 кг со скоростью 4,5 км/ч.

В 1966 г. в США фирмой «Крайслер» был построен снегоболотоход Marsh Screw, предназначенный для транспортировки военных по воде через рисовые поля и болота. Легкий алюминиевый корпус машины опирался на два металлических шнека. Скорость машины на воде составляла 12 км/ч, на снегу 32 км/ч.

Болотоходы «Dorothy», изготовленные японской фирмой UNU, отличались тем, что имели четыре шнека, по два с каждого борта, причем каждая пара одного борта имела разное направление вращения и противоположные углы навивки спирали. Эти машины использовались в качестве шасси под оборудование для забивки свай и буровые установки.

В отраслевой лаборатории по разработке льда, снега и мерзлого грунта (позднее — ОКБ «РАЛСНЕМГ») Горьковского политехнического института (ГПИ им. А.А. Жданова) под руководством д-ра техн. наук А.Ф. Николаева были изготовлены и

исследованы ледово-фрезерные машины с роторно-винтовым движителем ГПИ-66, ГПИ-72, ГПИ-75 и др.

Машина ГПИ-66 (рис. 2) была изготовлена в 1967 г. на базе гусеничного вездехода ГАЗ-47 с заменой гусеничного движителя на роторно-винтовой. Сравнительные испытания (рис. 3) показали, что ГПИ-66 обладает хорошими тяговыми качествами, значительно более высокими, чем у гусеничного вездехода ГАЗ-47. Наглядно подтвердилось, что при движении по льду и глубокому снегу использование роторно-винтового движителя для технологических машин (в том числе и ледово-фрезерных, требующих больших тяговых усилий) являлось более предпочтительным. Ледово-фрезерная машина ГПИ-66 на роторно-винтовых движителях продемонстрировала хорошую устойчивость в процессе резания льда, высокую силу тяги, а также полную безопасность в работе. При попадании в полынью шнекоход самостоятельно выходил из воды на лед.

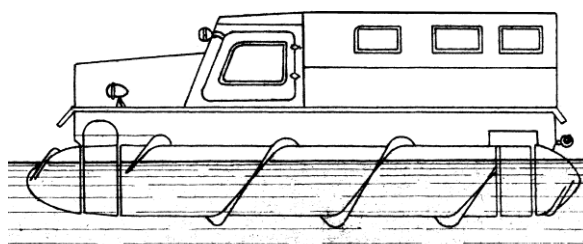


Рис. 2. Машина с роторно-винтовым движителем ГПИ-66.

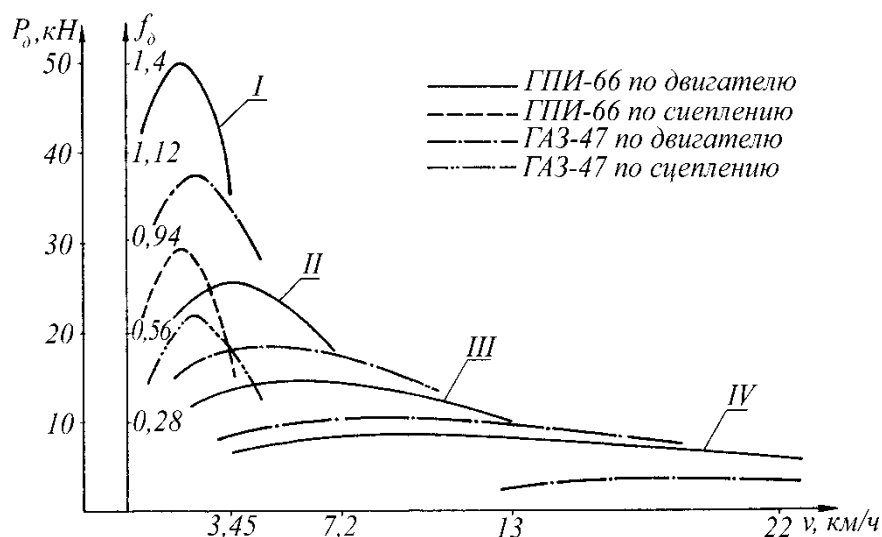


Рис. 3. Сравнительная тяговая характеристика ГПИ-66 и гусеничного вездехода ГАЗ-47.

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 величину силы тяги машин с гусеничными движителями, для которых она составила 2,9...3,6 кН.

На более плотных грунтах сопротивление движению ГПИ-66 оказалось значительно больше, чем у гусеничного транспортера: на льду величина коэффициента сопротивления роторно-винтового вездехода составила 0,12...0,16, а у гусеничного — 0,08...0,11.

Увеличение тягового усилия ГПИ-66 по сравнению с гусеничной ледоофрезерной машиной ГПИ-41, созданной на базе ГАЗ-47, позволило обеспечить более экономичное силовое резание льда, чем скоростное (производится с малыми подачами, но с большими скоростями вращения фрезы). В частности, удельная энергоёмкость силового резания была в 1,35...1,42 раза меньше, чем скоростного. Сила тяги ГПИ-66 при массе 4015 кг составила 40,2 кН, а у гусеничной ГПИ-41 при массе 4670 кг — 25 кН [3].

Достаточно подробно исследования роторно-винтового движителя были проведены в 1967–1979 гг. на Заводе им. И. А. Лихачева под руководством ведущего конструктора Ю. И. Соболева. Здесь были построены макетные и опытные образцы снегоболотоходов ШН-67, ШН-68, ЗИЛ-4904 (ПЭУ-3А), ЗИЛ-4904Б (ПЭУ-3Б), ЗИЛ-2906 и ЗИЛ-29061 массой от 1800 до 10165 кг (см. табл. 1) и проведены исследования роторно-винтовых движителей с углом наклона спирали от 17°40' до 39° в различных грунтовых условиях.

Зимние испытания роторно-винтового снегоболотохода ШН-68 (рис. 4), построенного в 1968 г., проводились в северной части Пермской области в районе города Березники на сыпучем (фирновом) снегу при средней температуре окружающего воздуха $-8...-4^{\circ}\text{C}$ и глубине снега 900...1100 мм. Скоростные и тягово-динамические испытания проходили при массе машины 3750 кг, 4250 кг и 5000 кг. Параллельно с ШН-68 испытывались снегоболотоход с движителем пневмоколесная цепь (более известного под названием «Аэролл») ПКЦ-1 и мотонарты ГПИ-16ВС, а также колесный снегоход ЗИЛ-Э167 [4].

Выяснилось, что при глубине снега свыше 900 мм снегоход ЗИЛ-Э167 и мотонарты ГПИ-16ВС передвигаться не могли. Снегоболотоход ПКЦ-1 развил максимальную скорость 12,5 км/ч, в то время как шнекоход ШН-68 на этом же участке пути достиг максимальной скорости 17,9 км/ч. Максимальная скорость (17,9 км/ч) была получена при массе шнекохода 3750 кг, при массе 4250 кг — 17,3 км/ч, при массе 5000 кг — 17,4 км/ч.

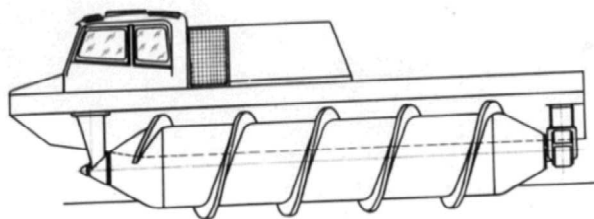


Рис. 4. Роторно-винтовой снегоболотоход ШН-68.

Максимальная величина пробуксовки шнеков у ШН-68 (7,7%) наблюдалась при скорости движения 17,9 км/ч и массе 3750 кг. Увеличение скорости движения ШН-68 в 2 раза (с 8 до 16 км/ч) при той

же массе вызвало рост пробуксовки шнеков на 2,1%. При увеличении веса снегохода пробуксовка шнеков уменьшалась, а крутящий момент на них реализовывался полнее.

Таблица 1.

Технические параметры

Наименование снегохода	Мощность двигателя кВт/л.с.	Полная масса, кг	Удельная мощность кВт/т	Диаметр шнеков, мм	Угол подъема винтовой линии, град.	Максимальная скорость, 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	н.д.
ГПИ СЛУ-119	11,4/15	1200	9,5	300	22°	–	4	н.д.
ГПИ-02	84,6/115	3600	23,5	800	37°30'	–	21,2	н.д.
ГПИ РВТ-85	176/240	13000	13,5	0,8	32°	–	14	н.д.
ГПИ ВМ-99	147/200	8500	17,3	1100	30°	–	7	н.д.
ЗИЛ ШН-67	132/180	4600	28,7	800	17°40'	3,35	10,3	7,2
ЗИЛ 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-4904Б	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

При скорости 8 км/ч и массе шнекохода ШН-68 3750 кг суммарный крутящий момент составлял 2,99 кНм, при массе 5000 кг — 3,76 кНм, т.е. крутящий момент увеличивался пропорционально массе машины.

Суммарный коэффициент сопротивления движению шнеков возрастал с увеличением скорости движения ШН-68. Увеличение массы машины до 5000 кг приводило к заглоблению шнеков в среде, что увеличивало длину контакта спирали со средой и как следствие повышало силу тяги. При массе машины 5000 кг максимальная тяга на крюке составляла 11,77 кН. С уменьшением массы шнекохода снижалась и максимальная сила тяги на крюке. При массе 4250 кг тяга составила 9,81 кН, при массе 3750 кг — 9,52 кН.

Шнекоход неуверенно преодолевал снежные подъемы крутизной более 12° при движении передним ходом, когда шнеки отбрасывали снег под корпус машины, образуя уплотненную снежную массу, которая тормозила движение. Проходя над уплотненной снежной массой, шнекоход вывешивался на ней днищем и терял подвижность.

При движении задним ходом, когда шнеки отбрасывали снег в стороны, шнекоход преодолел 12°-й подъем с глубиной снега 1200 мм.

В 1972 г. был построен большой снегоболотоход ЗИЛ-4904, предназначенный для перевозки 8 человек и 2 т груза, полная масса которого достигала до 10165 кг. Скоростные и тягово-динамические испытания этой машины проводились без груза и с 2,5-т нагрузкой. Для сравнения в испытаниях участвовали шнекоход ШН-68 и гусеничный транспортер 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 составила: 9,25 км/ч — на воде, 7,1 км/ч — на покрытом водой болоте и 3,2 км/ч — на сплаvine. Максимальная тяга на швартовых равнялась 14,03 кН без груза и 16,87 кН с грузом. Тяга на покрытом водой болоте достигла 17,46 кН без груза и 13,05 кН с грузом. Максимальная тяга снегоболотохода с грузом 2,5 т была получена на входе в болото с глинистым дном и составила 108,6 кН. Гусеничный транспортер ГАЗ-71 на сплаvine двигаться вообще не мог. Результаты испытаний приведены в табл. 2.

В 1976–1979 гг. на ЗИЛе были изготовлены легкие роторно-винтовые снегоболотоходы ЗИЛ-2906 и ЗИЛ-29061, предназначенные для работы в составе комплекса поисково-эвакуационных машин.

Технические характеристики

Место испытания	Снегоболотоход	Максимальная скорость, км/ч	Сила тяги, кН	Расход топлива, л/ч	Примечание
Вода	ЗИЛ-4904	10,1	14,03	85,0	Без груза
	ЗИЛ-4904	9,25	16,89	75,0	С грузом
	ШН-68	10,0	5,395	66,8	
	ГАЗ-71	5-6	3,012	Не замерялся	
Болото (сплавина)	ЗИЛ-4904	4,45	17,501	65,5	Без груза
	ЗИЛ-4904	3,06	12,998	73,0	С грузом
	ШН-68	3,35	6,769	50,0	

В 1979 г. шнекоход ЗИЛ-29061 проходил заводские испытания на верхнем пруду рыбхоза «Нара» в Одинцовском районе Московской области. При определении углов входа и выхода из воды шнекоход на 1-й передаче в коробке передач и 1-й передаче в дополнительной коробке преодолел береговую линию под углом 23° . При угле подъема берега более 23° он уткнулся лыжами в склон и не смог выйти на берег. Спуск в воду осуществлялся при уклоне больше 23° (больших значений угла уклона берега найти не удалось). При угле уклона 20° стояночный тормоз удерживал машину в течение 20 мин.

На совместных швартовочных испытаниях шнекоходов с гусеничным транспортером ГАЗ-71 на открытой воде ЗИЛ-29061 на 3-й передаче в коробке передач и 2-й передаче в дополнительной коробке развил силу тяги 7,46 кН, в то время как у ЗИЛ-2906 на 2-й передаче в коробке передач и 2-й передаче в планетарном механизме сила тяги составила 6,77 кН, а у гусеничного транспортера на 3-й передаче — всего 1,96 кН [6].

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. На сплавине 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.

Шнекоход ЗИЛ-29061 кроме того проходил испытания в качестве технологической машины для кошения камыша в прудовом хозяйстве, для чего был оснащен ротационной косилкой с гидравлическим приводом.

Испытания шнекохода с ротационной косилкой проводились в прудовом хозяйстве рыболовецкого колхоза им. XX съезда КПСС города Берислав Херсонской области в феврале 1990 г. Пруд, где проходили испытания, имел площадь 20 га; под

растительностью, подлежащей скашиванию, находилось 75% водоема. Растительность представляла собой густые заросли сухого многолетнего тростника, камыша и ивняка. Заросли тростника (диаметр у основания — до 20 мм) достигали высоты 4 м. Воду с пруда при кошении частично спустили. Донный ил достигал глубины 0,7 м. Работы по скашиванию сухой многолетней растительности проходили в тяжелых условиях. Сильная запыленность и пух от метелок тростника вынуждали водителя пользоваться респиратором и защитными очками, забивали воздушные фильтры двигателей и радиаторы. В результате температура охлаждающей жидкости поднималась до +110°С. Очистка фильтров и радиаторов производилась через каждые 45...60 мин работы.

Скорость движения шнекохода при кошении составляла 5 км/ч; кошение осуществлялось на 1-й передаче в коробке передач и 1-й передаче в дополнительной коробке. Нарботка шнекохода в этот период составила 38 моточасов.

По окончании испытаний руководством колхоза была создана комиссия, которая установила, что работы выполнены в полном объеме и досрочно. Отмечалась высокая эффективность транспортных средств с роторно-винтовым движителем при работах в рыбоводческих хозяйствах. Высказывались и пожелания по улучшению эксплуатационных характеристик: целесообразность применение дизельного топлива для основного и вспомогательных двигателей, возможность применения серийных навесных агрегатов и продолжения совместных работ в дальнейшем [6].

В 2014 году на АМО ЗИЛ изготовлен роторно-винтовой снегоболотоход ЗИЛ-29061, предназначенный для работы в качестве буксира для вездеходов на воздушной подушке. Известно, что вездеходы на воздушной подушке не могут самостоятельно преодолевать затяжные подъемы. Для этого при движении по снежной целине глубиной более 600 мм их будет буксировать роторно-винтовой снегоболотоход. Тягово-динамические возможности ЗИЛ-29061 вполне достаточны для выполнения такой работы, а насколько это будет удобно и эффективно смогут дать ответ предстоящие испытания.

Выводы. Проведенные исследования подтвердили высокую подвижность снегоболотоходов с роторно-винтовым движителем как на переувлажненных грунтах, болотах, открытой воде, так и на снегу, без ограничения по глубине.

Роторно-винтовой снегоболотоход уверенно перемещается по льду любой толщины, в том числе талому, проламывая его и образуя после себя полынья воды. Роторно-винтовой движитель компактен и удобен для установки на него различного технологического оборудования.

Сравнительные испытания показали, что для ряда грунтовых условий, таких как

снежная целина глубиной более 900 мм, заболоченная местность с участками сплавины, такой вид движителя просто не заменим для того, чтобы обеспечить технологической машине необходимую подвижность и проходимость.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вольский С. Г. Шнековые движители / С. Г. Вольский, Ю. И. Соболев, В. В. Цирульников // За рулем. – М.: «За рулем», 1969. – №4. – С. 24 – 26.
2. Крживицкий А. А. Снегоходные машины / А. А. Крживицкий. – М.: Машгиз, 1949. – 236 с.
3. Кириндас А. А. Роторно-винтовые ледоколы / А. А. Кириндас, Р. Г. Данилов // Техника и вооружение вчера, сегодня, завтра. – М.: Техинформ, 2013. – № 10. – С. 48 – 52.
4. Данилов Р. Г. Снегоболотоход «Шнек»: Автомобили для бездорожья / Р. Г. Данилов // Техника и вооружение вчера, сегодня, завтра. – М.: Техинформ, 2010. – № 9. – С. 42 – 46.
5. Данилов Р. Г. Шнековый снегоболотоход ПЭУ-3: Автомобили для бездорожья / Р. Г. Данилов // Техника и вооружение вчера, сегодня, завтра. – М.: Техинформ, 2010. – № 11. – С. 31 – 36.
6. Данилов Р. Г. Серийный шнекоход: Автомобили для бездорожья / Р. Г. Данилов // Техника и вооружение вчера, сегодня, завтра. – М.: Техинформ, 2011. – № 6. – С. 33 – 38.
7. Куляшов А. П. Экологичность движителей транспортно-технологических машин / А. П. Куляшов, В. Е. Колотилин. – М.: Машиностроение, 1993. – 228 с.

УДК 624.132.3

А. Б. КОВАЛЬ, к. т. н.

Національний транспортний університет

ФІЗИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ НАВАНТАЖЕНЬ НА РОБОЧИХ ОРГАНАХ УНІВЕРСАЛЬНИХ ЗЕМЛЕРИЙНИХ МАШИН

Актуальність проблеми. Землерийні машини безперервної дії за такими показниками як продуктивність та собівартість розробки одного кубічного метру