

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ МАШИН С ГУСЕНИЧНЫМ ДВИЖИТЕЛЕМ

Малыгин В.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», Нижний Новгород, Россия (603950, г. Нижний Новгород, ГСП ул. К. Минина, 24), e-mail: koshelevav88@mail.ru.

Для освоения северных территорий России необходимы специальные транспортные машины повышенной проходимости. Создание таких машин требует научных исследований, основанных на экспериментальных данных. При проектировании гусеничных машин необходимо знать параметры гусениц, то есть длину и ширину опорной поверхности. Для этого необходимы результаты исследований. Сравнительные испытания гусеничных машин различного весового класса и плоского штампа с вертикальной нагрузкой показали вполне определенную зависимость между глубиной колеи и нагрузкой на штамп. Данные исследований позволяют еще на стадии проектирования определить ожидаемую глубину колеи гусеничных машин на снежном полотне. Приводятся результаты испытаний специальных гусеничных снегоходных машин, а также гусеничного транспортера. Все эти машины относятся к разным весовым категориям, а, следовательно, имеют разное давление гусениц на снег.

Ключевые слова: снегоход, колея, удельное давление, гусеница, деформация.

## INFLUENCE RESEARCH ON THE SNOW COVER OF MACHINES WITH CATERPILLAR WHEELS

<sup>1</sup>Malygin V.A.

<sup>1</sup>Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia (Official municipal post Minina st, 24, Nizhny Novgorod, 603950, Russia), e-mail: koshelevav88@mail.ru.

Special transport machines of the raised passableness are necessary for development of northern territories of Russia. Creation of such machines demand the scientific researches based on experimental data. At designing of track laying vehicles it is necessary to know parameters of caterpillars, that is length and width of a basic surface. Results of researches are for this purpose necessary. Comparative tests of track laying vehicles of a various weight class and a flat stamp with vertical loading have shown quite certain dependence between depth of a track and loading on a stamp. Data of researches allow to define for a design stage expected depth of a track of track laying vehicles on a snow cloth. Results of tests special caterpillar snow driving machines, and also the caterpillar conveyor are resulted. All these machines concern different weight categories, and, hence, have different pressure of caterpillars upon snow.

Keywords: snowmobile, track, specific pressure, caterpillar, deformation.

Россия испокон веков занималась освоением своих северных территорий. Однако после девяностых годов освоение Севера крайне замедлилось, а в некоторых областях науки вообще прекратилось. Однако в последние годы снова наметилась тенденция к интенсивному освоению прибрежных территорий Северного Ледовитого океана и его шлейфа. Для этого необходима специальная техника: машины повышенной проходимости, а также специальные снегоходные машины, как колесные, так и гусеничные. Для создания таких машин необходимы научные исследования. Это необходимо в первую очередь для того, чтобы еще на стадии проектирования таких машин можно было заранее просчитать глубину колеи, силу тяги и сопротивление движению машин.

При проектировании гусеничных снегоходных машин перед конструкторами и учеными часто возникает вопрос о том, как влияет скорость на глубину колеи машин и

какое значение удельных давлений под гусеницей принимать за расчетное. Подобные данные необходимы для того, чтобы при проектировании машины можно было сделать прикидочный расчет ожидаемой глубины колеи на снежной целине.

Исследования, проводившиеся учеными различных стран [1—7] с целью выяснения влияния скорости движения машины на глубину колеи, противоречивы.

Вопросом определения средних удельных давлений под гусеницей практически не занимаются, и экспериментаторы в основном замеряют контактные напряжения под гусеницами, которые не отражают действительной картины, так как напряжения меняются по глубине.

### **Цель исследования**

Целью данной работы является исследование воздействия на снежный покров машин с гусеничным движителем и сравнительные испытания таких машин различного весового класса.

### **Материалы и методы**

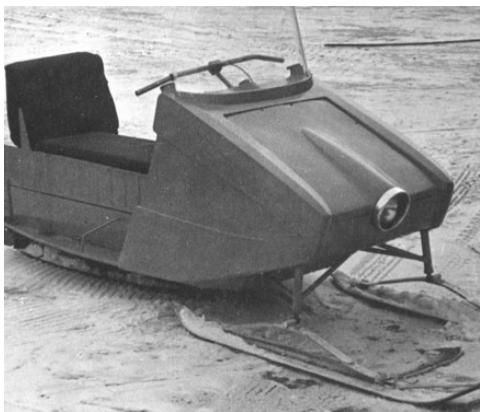
В зимний период 1969 и 1970 годов отраслевой научно-исследовательской лабораторией снегоходных машин при Горьковском политехническом институте им. А.А. Жданова были проведены испытания с целью определения влияния скорости машин на глубину их колеи. Кроме того, были проведены сравнительные испытания по деформации снега гусеницами машин и плоскими штампами различных размеров. В качестве объектов испытаний были использованы следующие машины: вездеход ГАЗ-47, снегоболотоходы ГПИ-37, ГПИ-19А, мотоснегоходы МС-ГПИ-15А, НАМИ-095 и трактор Т-50В (рис. 1).



а)



б)



в)



г)

Рис. 1. Объекты испытаний:

а – вездеход ГАЗ-47, б – снегоболотоход ГПИ-37, в – мотоснегоход НАМИ-095, г – Т-50

За основной штамп, перемещения которого сравнивались с глубиной колеи машин, был принят квадратный штамп с площадью  $500 \text{ см}^2$ . Этот штамп позволял получить высокие удельные нагрузки на него (до  $2 \text{ кг/см}^2$ ). В то же время ширина этого штампа ( $223,5 \text{ мм}$ ) соизмерима с шириной гусеницы указанных выше машин.

Цель сравнительных испытаний заключалась в том, чтобы сравнить величину удельных нагрузок на штамп и величину средних удельных давлений под гусеницей при одинаковом их погружении в снег.

Методика замеров заключалась в следующем: специально подобранный участок снежной целины длиной  $50\text{—}100 \text{ м}$  машины преодолевали с различными скоростями: от минимально возможных (при устойчивых оборотах двигателя) до максимально возможных. Вслед за прохождением машины замерялись глубина колеи и высота снежного покрова с интервалом через 1 минуту. Затем в непосредственной близости от колеи машины в нескольких местах ( $3\text{—}5$  замеров) в снег вдавливался плоский металлический штамп. Полученный материал обрабатывался, и при этом определялась средняя высота снежного покрова на мерном участке, средняя глубина колеи и усредненная зависимость перемещений штампа от удельных нагрузок на него.

Испытания указанных машин (за исключением трактора) проводились на снегу, плотность которого изменялась по высоте от  $0,21$  до  $0,26 \text{ г/см}^3$ . Верхний слой снега толщиной до  $70 \text{ мм}$  — ветровой наст с ледяными прослойками, толщина которых достигала  $3\text{—}5 \text{ мм}$ . По этой причине глубина колеи мотонарт (МС-ГПИ-15А и НАМИ-095) была незначительной, а изменение глубины снега практически не влияло на глубину колеи.

В таблице 1 приведены некоторые данные зависимости глубины колеи от скорости движения машины по снежной целине со значительной глубиной снежного покрова.

Машина	Средняя высота снежного покрова $H$ , см	Глубина колеи $h_{\text{кол}}$ , см	Скорость машины $V$ , км/час	Отношение глубины колеи к высоте снежного покрова $h_{\text{кол}}/H$
ГАЗ-47	57,4	26,7	5	0,465
	55,0	26,1	10	0,475
ГПИ-37А	59,0	23,1	5	0,392
	58,8	23,7	10	0,403
ГПИ-19А	42,6	17,7	5	0,419
	43,6	19,1	8,5	0,438
	43,9	19,9	12,5	0,453
МС-ГПИ-15А	62,6	16,6	3,6	–
	59,8	14,6	7,7	–
	59,2	15,9	13,9	–
	58,1	15,7	18,0	–
НАМИ-095	45,8	7,33	5,6	–
	45,7	7,31	8,6	–
	43,6	7,06	11,8	–
Трактор Т-50В	36,0	14,0	1,3	0,388
	37,4	16,7	4,7	0,447
	33,4	16,8	11,7	0,503

Для всех остальных машин глубина снега влияла на глубину колеи. Поэтому для тяжелых машин в качестве сравнительного критерия, определяющего изменение глубины колеи от скорости, было выбрано отношение глубины колеи к высоте снежного покрова. Абсолютная погрешность измерений глубины колеи и глубины снега составляла  $\pm 2$  мм.

Как видно из таблицы, с увеличением скорости глубина колеи монотонно несколько уменьшается, а для всех остальных более тяжелых машин, наоборот, глубина колеи или относительная величина «а» увеличивается. Подобные изменения глубины колеи машин от их скорости можно объяснить следующим.

С увеличением скорости машины сопротивление снега деформации увеличивается за счет инерции его массы, и, следовательно, глубина колеи должна уменьшаться. Однако если пластические деформации снега достигают поверхности земли, то микронеровности подстилающего слоя грунта оказывают воздействие на гусеничный движитель. Это воздействие вызывает дополнительные колебания машины, за счет чего увеличивается величина динамических нагрузок на снежное полотно пути. Увеличение динамических нагрузок должно вызвать увеличение глубины колеи.

Следовательно, увеличение или уменьшение глубины колеи машины с увеличением ее скорости зависит от того, какой фактор преобладает: увеличение сопротивления деформации снега или увеличение динамических нагрузок.

Если деформации снега гусеницами незначительны по сравнению с общей глубиной

снежного покрова, то с увеличением скорости машины глубина колеи должна уменьшаться, что мы и наблюдаем в случае с легкими машинами типа мотонарт (табл. 1). Если же пластические деформации снега достигают поверхности земли, то с увеличением скорости машины глубина колеи должна возрастать, что особенно отчетливо наблюдается на примере с трактором.

Однако необходимо иметь в виду, что в пределах указанных скоростей (5—18 км/час) изменение глубины колеи с изменением скорости машины незначительно и в некоторых случаях лежит в пределах ошибок измерений.

Таким образом, в вопросе о влиянии скорости машины на глубину колеи нельзя говорить отдельно о машине и о снеге, а необходимо учитывать единую систему: машина — снег.

Сравнительные испытания по деформации снега гусеницами машин и плоским штампом (223,5 × 223,5 мм) показали, что при одинаковых деформациях снега величина удельных нагрузок на штамп и величина средних удельных давлений под гусеницами значительно отличаются друг от друга.

В таблице 2 приведены данные сравнительных испытаний по деформации снега гусеницами машин и штампом.

**Таблица 2**

Машина	Среднее уд. давл. под гусеницей $q_m$ , кг/см <sup>2</sup>	Глубина подколеи и погр. штампа $h$ , см	Высота снежного покрова $H$ , см	Уд. нагр. на штамп $q_{шт.}$ , кг/см <sup>2</sup>	$K = \frac{q_{шт.}}{q_m}$	Характеристика снега
ГАЗ-47	0,24	278	560	1,20	5,00	Верхние слои снега толщиной $\approx 320$ мм, рыхлые, с плотностью 0,19 – 0,23 г/см <sup>3</sup> . Нижние слои толщиной $\approx 260$ мм – смерзшийся снег с плотностью 0,26 – 0,31 г/см <sup>3</sup>
	0,24	242	465	1,28	5,33	
	0,24	228	405	1,47	6,12	
	0,24	154	320	1,47	6,12	
	0,20	267	575	1,44	7,25	Рыхлый снег с плотностью 0,26 – 0,31 г/см <sup>3</sup>
ГПИ-37	0,14	180	485	0,367	2,62	Верхние слои снега толщиной $\approx 205$ мм, рыхлые, с плотностью 0,155 – 0,235 г/см <sup>3</sup> . Нижние слои толщиной $\approx 265$ мм – смерзшийся снег с плотностью 0,255 – 0,350 г/см <sup>3</sup>
	0,14	180	450	0,367	2,62	
	0,13	230	560	0,448	3,39	Рыхлый снег с плотностью 0,20 – 0,26 г/см <sup>3</sup>
ГПИ-19А	0,09	133	40	0,147	1,63	Верхние слои снега толщиной $\approx 150$ мм, рыхлые, с плотностью 0,20 – 0,25 г/см <sup>3</sup> . Нижние слои толщиной $\approx 300$ мм – смерзшийся снег с плотностью 0,30 – 0,36 г/см <sup>3</sup>
	0,09	140	400	0,132	1,49	
	0,09	131	370	0,147	1,63	
	0,09	108	350	0,132	1,49	

ГПИ-19А	0,09 0,09	126 133	315 370	0,294 0,294	3,27 3,27	Верхние слои снежной целины – ветровой наст, толщиной ≈35 мм. Ниже лежат рыхлые слои толщиной ≈150 мм, с плотностью 0,20 – 0,23 г/см <sup>3</sup> . Нижние слои толщиной ≈235 мм – смерзшийся снег с плотностью 0,27 – 0,355 г/см <sup>3</sup>
	0,09 0,09	150 135	440 395	0,235 0,257	2,61 2,85	
МС-ГПИ-15А	0,091	96	385	0,242	2,37	Верхние слои снежной целины – ветровой наст, толщиной ≈25 мм. Ниже – рыхлые слои толщиной ≈125 мм, с плотностью 0,20 – 0,23 г/см <sup>3</sup> . Нижние слои толщиной ≈305 мм – смерзшийся снег с плотностью 0,23 – 0,27 г/см <sup>3</sup>
	0,059	70	380	0,125	2,12	
	0,053	78	380	0,125	2,36	
МС-ГПИ-15А	0,084	122	460	0,262	3,12	Рыхлый снег с плотностью 0,21 – 0,25 г/см <sup>3</sup> . На глубине ≈60 мм – ледяная корка толщиной 7-8 мм
	0,071	117	460	0,257	3,62	
	0,059	107	490	0,199	3,43	
НАМИ-095	0,044	135	590	0,088	2,00	Влажный рыхлый снег с плотностью 0,225 – 0,265 г/см <sup>3</sup>
	0,044	112	557	0,073	1,67	
	0,044	130	470	0,103	2,34	
НАМИ-095	0,044	73	460	0,132	3,00	Верхние слои снежной целины – ветровой наст, толщиной ≈20 мм. Ниже – рыхлый снег толщиной ≈250 мм с двумя ледяными корками толщиной 3-5 мм. Нижние слои толщиной ≈330 мм – рыхлый снег с плотностью 0,21 – 0,29 г/см <sup>3</sup>
	0,059	80	425	0,147	2,32	
	0,071	89	460	0,180	2,53	
Т-50В	0,39	213	445	1,615	4,14	Верхние слои снега толщиной ≈240 мм, рыхлый снег с плотностью 0,19 – 0,28 г/см <sup>3</sup> . Нижние слои толщиной ≈180 мм – смерзшийся снег с плотностью 0,26 – 0,31 г/см <sup>3</sup>
	0,39	189	380	1,138	2,92	
	0,39	289	380	1,468	3,76	

### Результаты и их обсуждение

Как видно из таблицы 2, при одинаковой величине заглабления штампа и гусениц удельная нагрузка на штамп в несколько раз превосходит среднее удельное давление под гусеницей. Это говорит о том, что среднее удельное давление, определяемое как отношение веса машины к площади опорной поверхности, является заниженным. Поэтому при определении расчетного среднего удельного давления под гусеницей необходимо вводить поправочный коэффициент  $K$ .

$$q = K \frac{G}{F}, \quad (1)$$

где  $q$  – удельное давление под гусеницей;  $G$  – вес машины;  $F$  – площадь опорной поверхности гусениц;  $K$  – поправочный коэффициент  $>1$ .

Коэффициент  $K$  меняется в значительных пределах (табл. 3) в зависимости от глубины снежного покрова и его характеристик (физико-механических свойств).

Таблица 3

Вес машины, кг	Уд. давл. под гусеницей $q_m$ , кг/см <sup>2</sup>	$K$
300-500	0,045÷0,07	2÷3
500-2500	0,05÷0,15	2,5÷3,5
3000-4000	0,4	3÷4
5000-6000	0,20÷0,25	5÷7

Однако для расчета ориентировочно можно взять следующие значения  $K$ , в зависимости от величины удельных давлений под гусеницей и веса машины (табл. 3).

### Заключение

Полученные результаты исследования сравнительных испытаний позволяют выявить зависимость между глубиной колеи и нагрузкой на штамп снегоходных машин различного класса. Это позволяет заранее определить глубину колеи и, следовательно, учитывать ее величину при проектировании, разработке и создании таких машин. Кроме этого, появляется возможность грамотной эксплуатации снегоходных машин при различном состоянии снежного полотна.

### Список литературы

1. Бабков В.Ф. Образование колеи при движении автомобиля // Труды совещания по проходимости колесных и гусеничных машин по целине и грунтовым дорогам. - АН СССР, - 1950.
2. Карташов С.Н. Физико-механические свойства и процессы формирования снежно-фирнового покрова Антарктиды. - АН СССР, 1962.
3. Крживицкий А.А. Снегоходные машины. - М. : Машгиз, 1947.
4. Маевский А.П. Исследование процесса движения гусеничного трелевочного трактора по снежной целине : дис. - Иркутск, 1964.
5. Симода С.О. О глубине оседания гусеничных траков снегоходов на покрытых снегом поверхностях // Нихон. Кикай. Гаккай. Ромбунсю. ВИНТИ. – 1952. – Т. 25, № 150.
6. Талантова З.И. Взаимодействие аэросанных лыж и снега : дис. - Горький, 1944.
7. Филатов Л.С. Исследование тяговых свойств трактора ДТ-54 при зимней эксплуатации его в сельском хозяйстве : дис. – М., 1960.

### Рецензенты:

Панов А.Ю., д.т.н., зав. каф. «Теоретическая и прикладная механика», ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», г. Нижний

Новгород;

Кретинин О.В., д.т.н., профессор кафедры «Автоматизация машиностроения», ФГБОУ ВПО  
«Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», г. Нижний  
Новгород.