



УДК 621.43-4

В.Г. Шрам, Б.И. Ковальский, О.Н. Петров

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОДУКТОВ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ДЕСТРУКЦИИ НА ПРОТИВОИЗНОСНЫЕ СВОЙСТВА СИНТЕТИЧЕСКИХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ

*Представлены результаты испытания синтетических моторных масел на противоизносные свойства, установлены температурные области формирования на поверхностях трения адсорбционных и хемосорбционных граничных слоев, скорость и время формирования номинальной площади фрикционного контакта, а также интенсивность механохимических процессов.*

**Ключевые слова:** моторные масла, противоизносные свойства, температура, деструкция, граничный слой, механохимический процесс.

V.G. Shram, B.I. Kowalski, O.N. Petrov

### THE RESEARCH OF THE TEMPERATURE DESTRUCTION PRODUCTS INFLUENCE ON THE SYNTHETIC MOTOR OIL ANTI-WEAR PROPERTIES

*The results of testing synthetic motor oils on anti-wear properties are presented; the formation temperature areas of the boundary layer adsorption and chemisorption friction surfaces, the velocity and formation time of the frictional contact nominal area, as well as the mechanic-chemical process intensity are determined.*

**Key words:** motor oils, anti-wear properties, temperature, destruction, boundary layer, mechanic-chemical process.

---

**Введение.** Формирование молекулярно-органических структур в смазочном материале и их влияние на формирование граничных слоев исследовались различными авторами [1,2]. Установлено, что жидкость в граничных слоях на поверхностях трения приобретает упругость формы и свойства твердого тела [2].

При трении в условиях граничной смазки на трущихся поверхностях формируются слои [3] физически адсорбированных молекул смазочного масла, относительно слабо связанные с поверхностью твердого тела (А-слои), хемосорбционные – прочно связанные с поверхностью органическими отложениями, образуемыми продуктами окисления и деструкции смазочного масла (D-слои), а также химически модифицированные слои в случаях прямых химических реакций металла с молекулами присадок (M-слои).

**Цель работы.** Определение влияния продуктов температурной деструкции на противоизносные свойства синтетических моторных масел.

**Методика исследования.** Методика исследования предусматривала отбор проб термостатированных масел массой 20 г для определения противоизносных свойств на трехшариковой машине трения со схемой трения “шар – цилиндр”. Параметры трения составляли: нагрузка 13 Н, скорость скольжения 0,68 м/с, температура масла в объеме 80 °С и время испытания 2 ч. Для исследования процессов, протекающих на фрикционном контакте, через один из шаров пропускался постоянный ток (100 мкА) от внешнего стабилизированного источника питания (ЗВ). Диаграмма изменения тока в процессе трения записывалась на компьютере, что позволяло определить продолжительность пластической, упругопластической и упругой деформаций.

**Результаты исследований и их обсуждение.** На рисунке 1 представлены зависимости диаметра пятна износа от температуры термостатирования синтетических масел.

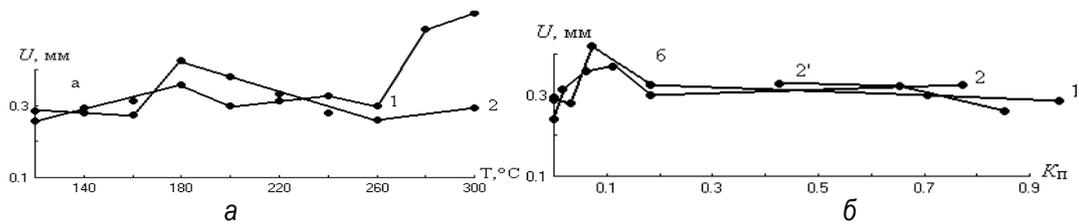


Рис. 1. Зависимость диаметра пятна износа от температуры испытания (а) и коэффициента поглощения светового потока (б) при термостатировании синтетических моторных масел: 1 – Mobil Super 3000 5W-40 SL/CF; 2 – Aqir Tecsint 5W-30 SL/CF А<sub>3</sub>, В<sub>3</sub>; толщина фотометрируемого слоя 8 мм; 2' – толщина фотометрируемого слоя 2 мм

Общей тенденцией для синтетических масел является понижение противоизносных свойств при температуре испытания 180 °С. Причем для масла Mobil Super противоизносные свойства понизились на 31,5%, а для Aqir Tecsint на 33,5% по отношению к показателям товарных масел. Дальнейшее повышение температуры термостатирования вызывает повышение противоизносных свойств, т.е. продукты деструкции не оказывают значительного влияния на противоизносные свойства синтетических масел при их термостатировании в диапазонах температур от 140 до 300 °С для масла Aqir Tecsint (кривая 2) и от 140 до 260 °С для масла Mobil Super 3000. В температурной области от 260 до 300 °С противоизносные свойства масла Mobil Super 3000 резко понижаются (в два раза) по сравнению с товарным маслом.

Влияние продуктов деструкции на противоизносные свойства синтетических масел исследовалось зависимостью  $U = f(K_{\Pi})$  (см. рис. 1, б). Установлено, что понижение противоизносных свойств синтетических масел происходит при значениях коэффициента  $K_{\Pi} \leq 0,1$  ед. Дальнейшее увеличение коэффициента  $K_{\Pi}$  вызывает незначительное повышение противоизносных свойств. Понижение противоизносных свойств при температуре 180 °С вызвано влиянием продуктов деструкции на свойства граничных слоев, разделяющих поверхности трения.

Можно полагать, что в температурной области до 180 °С на поверхностях трения формируются адсорбционные граничные слои, а в температурной области выше 180 °С – хемосорбционные. При этом переход адсорбционных граничных слоев в хемосорбционные происходит при концентрации продуктов деструкции  $K_{\Pi} < 0,1$  ед. (см. рис. 1, б).

Для сравнения синтетических масел по противоизносным свойствам введен критерий  $\Pi$ , определяемый отношением коэффициента поглощения светового потока к параметру износа ( $K_{\Pi}/U$ ), характеризующий условную концентрацию продуктов деструкции на номинальной площади фрикционного контакта. Зависимости критерия противоизносных свойств от температуры испытания и концентрации продуктов деструкции представлены на рисунке 2. Установлено, что резкое увеличение критерия  $\Pi$  для масла Mobil Super 3000 наступает при температуре 220 °С, а масло Aqir Tecsint – при 200 °С (см. рис. 2, а). Увеличение критерия  $\Pi$  вызвано резким увеличением концентрации продуктов деструкции. Зависимостями критерия  $\Pi$  от концентрации продуктов деструкции (см. рис. 2, б) установлено, что противоизносные свойства синтетических масел одинаковы при изменении коэффициента  $K_{\Pi}$  до значения, равного 0,65 ед., причем для масла Aqir Tecsint (кривая 2) зависимость имеет линейный характер до значения коэффициента  $K_{\Pi} = 0,8$  ед., а масла Mobil Super 3000 до  $K_{\Pi} = 0,65$  ед.

Регрессионное уравнение линейных участков зависимостей  $\Pi = f(K_{\Pi})$  имеет вид

$$\Pi = 2,985 \cdot K_{\Pi}. \tag{1}$$

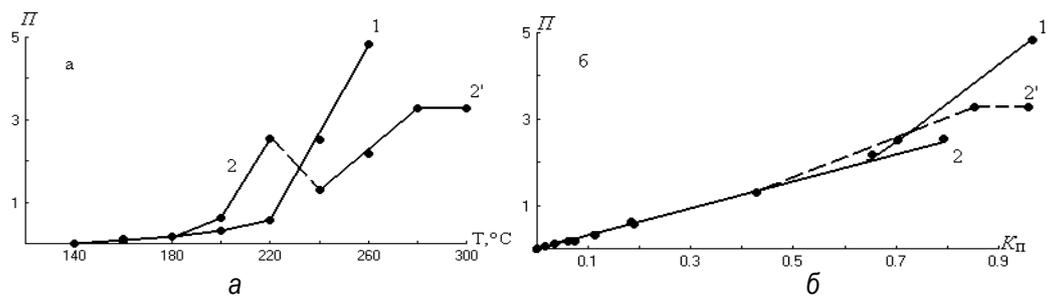


Рис. 2. Зависимости критерия противоизносных свойств синтетических моторных масел от температуры испытания (а) и коэффициента поглощения светового потока (б) (усл. обозн. см. рис. 1)

На рисунке 3 представлена диаграмма записи тока, протекающего через фрикционный контакт при граничном трении скольжения на примере исходного товарного масла. На диаграмме видно три характерных участка, различающихся величиной тока. Если ток равен заданному (100 мкА), то в зоне трения происходит пластическая деформация, уменьшение тока до стабильной величины характеризует переход пластической деформации в упругопластическую и при стабильном значении тока на поверхностях трения реализуются упругие деформации.

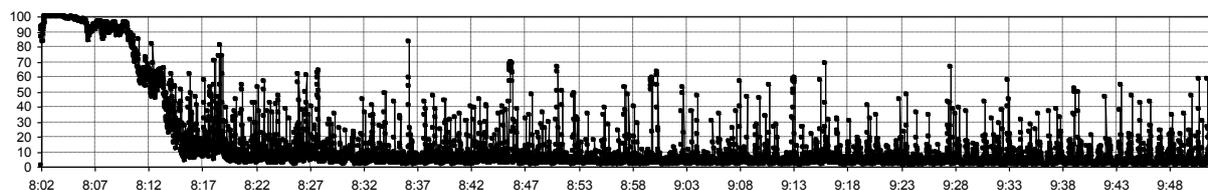


Рис. 3. Диаграмма записи тока, протекающего через фрикционный контакт при испытании синтетического моторного масла Mobil Super 3000, на примере исходного товарного масла

По диаграммам определялись продолжительность формирования номинальной площади фрикционного контакта и величина тока, по которому вычислялся коэффициент электропроводности фрикционного контакта:

$$K_{\text{Э}} = \frac{I_{\text{ФК}}}{I_3}, \quad (2)$$

где  $I_{\text{ФК}}$  и  $I_3$  – соответственно ток, протекающий через фрикционный контакт, и заданный ток (100 мкА) при статическом положении образцов. Зависимости коэффициента электропроводности фрикционного контакта от температуры испытания и коэффициента поглощения светового потока представлены на рисунке 4. С увеличением температуры испытания установлено три температурных области изменения коэффициента  $K_{\text{Э}}$  для масла Mobil Super и две области для масла Aqir Tecsint. Эти области характеризуют электропроводность фрикционного контакта, а значит, свойства граничных слоев, разделяющих поверхности трения.

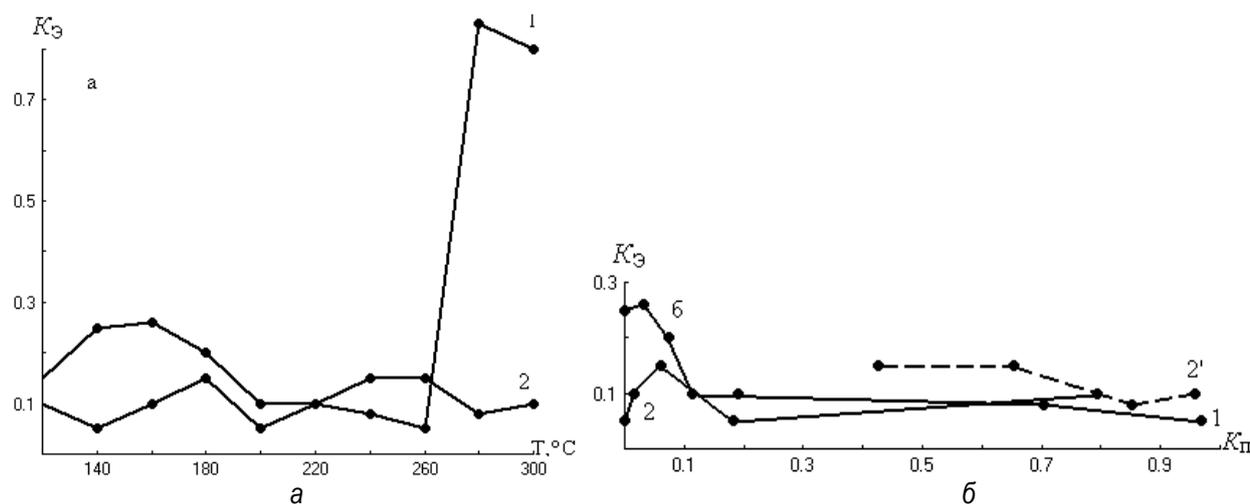


Рис. 4. Зависимости коэффициента электропроводности фрикционного контакта от температуры испытания (а) и коэффициента поглощения светового потока (б) (усл. обозн. см. рис. 1)

Так, для масла Mobil Super 3000 (кривая 1) адсорбционные слои реализуются в диапазоне температур до 160 °С, а хемосорбционные – в диапазоне от 160 до 260 °С, однако, при температурах испытания 280 и 300 °С коэффициент  $K_{\text{Э}}$  резко увеличивается за счет их разрешения. Для масла Aqir Tecsint (кривая 2) температурная область формирования адсорбированных граничных слоев составляет до 180 °С, а в температурной области от 180 до 300 °С – хемосорбционные.

По данным, представленным на рисунке 4, б, адсорбционные граничные слои формируются при концентрации продуктов деструкции при значениях коэффициента  $K_{\Pi} < 0,06$  ед. Переход к хемосорбционным слоям вызывает снижение коэффициента  $K_{\Sigma}$ . От характера изменения коэффициента электропроводности фрикционного контакта зависит продолжительность формирования номинальной площади (определяемой по диаграмме записи тока).

Зависимости времени формирования номинальной площади контакта от температуры концентрации продуктов деструкции представлены на рисунке 5.

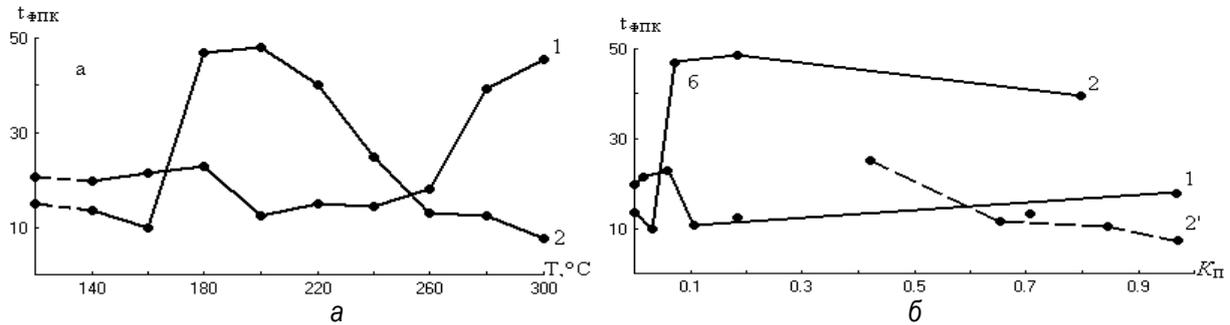


Рис. 5. Зависимости времени формирования номинальной площади фрикционного контакта от температуры (а) и коэффициента поглощения светового потока (б) (усл. обозн. см. рис.1)

Установлено, что при переходе адсорбционных граничных слоев к хемосорбционным время формирования номинальной площади фрикционного контакта уменьшается, однако, температура перехода увеличивается на 10 °С по сравнению с температурой перехода, определяемой по коэффициенту электропроводности фрикционного контакта. Так, для масла Mobil Super 3000 температурой перехода адсорбционных граничных слоев в хемосорбционные по коэффициенту  $K_{\Sigma}$  является температура 160 °С (кривая 1 рис. 5, а), по времени формирования номинальной площади фрикционного контакта она составляет 180 °С. Аналогично для масла Aqir Tecsint температура перехода адсорбционных граничных слоев в хемосорбционные по коэффициенту  $K_{\Sigma}$  составляет 180 °С, а для времени формирования номинальной площади фрикционного контакта она составляет 200 °С. Это может объясняться неустойчивостью хемосорбционных слоев при их формировании в начале температурной области, где происходит защита поверхности трения как адсорбционными, так и хемосорбционными слоями, что подтверждается незначительным увеличением времени формирования номинальной площади контакта.

Переходный процесс адсорбционных граничных слоев в хемосорбционные происходит при значениях коэффициента  $K_{\Pi} < 0,2$  ед. (рис. 5, б), при этом время формирования номинальной площади фрикционного контакта увеличивается для масла Mobil Super 3000 (кривая 1), а для масла Aqir Tecsint – уменьшается.

Зависимости параметра износа от времени формирования номинальной площади фрикционного контакта представлены на рисунке 6 а,б для областей формирования адсорбционных граничных слоев (кривая 1 и 2) и хемосорбционных слоев (кривая 1' и 2').

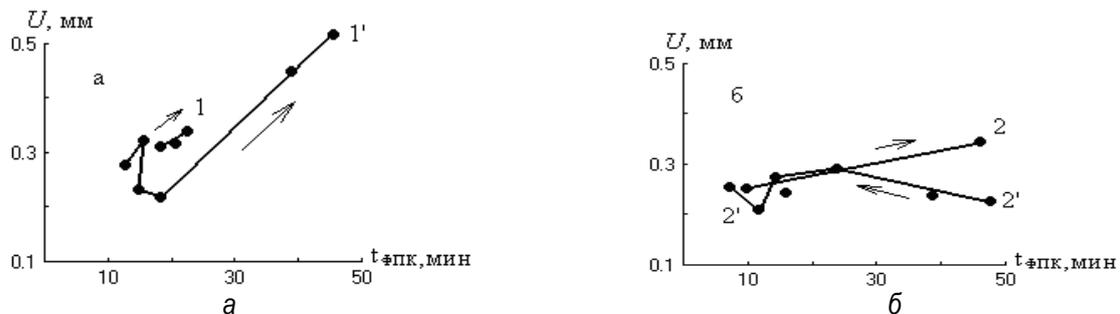


Рис. 6. Зависимости диаметра пятна износа от продолжительности формирования площади фрикционного контакта синтетических масел (усл. обозн. см. рис.1)

Установлено, что в областях формирования адсорбционных граничных слоев износ увеличивается (показано стрелкой) с увеличением времени формирования номинальной площади контакта, а области хемосорбционных граничных слоев время формирования площади контакта уменьшается, но износ подвержен незначительным колебаниям для масла Aqip Tecsint (рис. 6, б).

Для масла Mobil Super 3000 в области хемосорбционных слоев установлены большие колебания износа при времени формирования площади контакта от 12 до 18 мин, а затем увеличение износа с увеличением времени формирования площади контакта.

Для сравнения различных масел по интенсивности механохимических процессов, протекающих на фрикционном контакте при испытании термостатированных масел и определения температурной области их применения, вводится комплексный коэффициент интенсивности механохимических процессов  $K_{МХП}$ , определяемый произведением

$$K_{МХП} = U \cdot K_{\Omega}, \quad (3)$$

где  $U$  – параметр износа, мм;

$K_{\Omega}$  – коэффициент электропроводности фрикционного контакта.

Согласно представленным на рисунке 7 данным, интенсивность механохимических процессов синтетических моторных масел незначительно различается в температурной области до 180 °С, где формируются предпочтительно адсорбционные граничные слои, а в температурной области от 180 до 260 °С интенсивность механохимических процессов практически одинакова (кривая 1 и 2), однако температурная область применения масел различна.

Так, для масла Aqip Tecsint (кривая 2) она составляет 300 °С, а для масла Mobil Super 3000 – 260 °С.

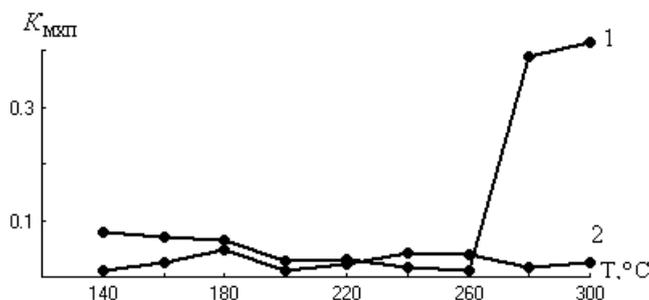


Рис. 7. Зависимости коэффициента интенсивности механохимических процессов от температуры испытания синтетических моторных масел (усл. обозн. см. рис.1)

### Выводы

1. Установлено, что в области формирования адсорбционных слоев противоизносные свойства понижаются, а в области формирования хемосорбционных слоев они повышаются. Причем реализации адсорбционных граничных слоев происходит при концентрации продуктов деструкции при  $K_{\Gamma} < 0,1$  ед.

2. Предложен коэффициент электропроводности фрикционного контакта в качестве параметра, определяющего температурные области реализации адсорбционных и хемосорбционных граничных слоев на поверхностях трения.

3. Установлено, что время формирования номинальной площади фрикционного контакта зависит от концентрации продуктов температурной деструкции и свойств граничных слоев. Причем оно уменьшается при переходе адсорбционных граничных слое в хемосорбционные.

4. Предложен коэффициент интенсивности механохимических процессов, протекающих на фрикционном контакте, позволяющий сравнивать различные масла на соответствие группам эксплуатационных свойств и определять температурный диапазон их работоспособности.

### Литература

1. Фукс Г.И. Адсорбция и смазочная способность масел // Трение и износ. – 1983 (4). – №3. – С. 398–414.

2. Ахматов А.С. Молекулярная физика граничного трения. – М.: Физматлит, 1963.
3. Кончиц В.В., Коротневич С.В., Саутин С.Д. Смазочные свойства органических отложений на поверхности трения при повышенной температуре // Трение и износ. – 2002. – №2. – С. 170–175.



УДК 624.132

*Р.Б. Желукевич, А.В. Лысянников,  
Ю.Ф. Кайзер, Ю.Н. Безбородов, Н.Н. Мальшева*

### ИЗМЕРИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ДОРОЖНЫХ МАШИН

*Представлена конструкция измерительного устройства, позволяющая, используя тензометрические датчики, воспринимать составляющие усилия резания, возникающие при разработке массива рабочими органами дорожных машин, исключая их взаимное влияние друг на друга, и реализовывать цифровую запись составляющих.*

**Ключевые слова:** дорожная машина, рабочий орган, исследования, измерительное устройство, сопротивление резанию, модель отвала.

*R.B. Zhelukevich, A.V. Lysyannikov,  
Yu.F. Kayzer, Yu.N. Bezborodov, N.N. Malysheva*

### THE MEASURING DEVICE FOR THE ROAD VEHICLE MOVABLE OBJECTS RESEARCH

*The design of the measuring device which allows, using strain-gauge sensors, to perceive the cutting force components that arise when developing huge tracts of land by road vehicle movable objects, excluding their mutual influence, and to implement component digital recording.*

**Key words:** road vehicle, movable object, research, measuring device, resistance to cutting, dump model.

**Введение.** Качество зимнего содержания покрытий автомобильных дорог и аэродромов определяется не только своевременностью проведения снегоуборочных работ, но и эффективностью использования снегоуборочной техники, материальных, трудовых и денежных ресурсов, направляемых на их выполнение. Основной целью зимнего содержания покрытий дорог и аэродромов является обеспечение пропускной способности автомобильных дорог и снижение количества ДТП путем удаления снежных образований с дорожного основания, тем самым увеличивая коэффициент сцепления колес.

Для удаления снежных образований с дорожных покрытий наиболее широко применяют снегоуборочные машины, оснащенные отвальными рабочими органами, как наиболее универсальные, простые в применении и техническом обслуживании. Для эффективного использования снегоуборочных машин, оснащенных отвалами, необходимо знать их оптимальные параметры установки, т.е. параметры, обеспечивающие наименьшее сопротивление резания при взаимодействии рабочего органа отвального типа с разрабатываемой средой.

Литературный анализ показал, что исследованиями резания уплотненного снега занимались такие ученые, как И.С. Вайсберг, Г.Г. Воскресенский, А.Л. Горбунов, А.П. Куляшов и Ю.И. Молев. Имеющихся данных недостаточно для определения оптимальных параметров установки отвала снегоуборочной машины, необходимы дальнейшие теоретические и экспериментальные исследования для установления закономерностей формирования усилий резания уплотненного снега на отвале с учетом угла установки, угла резания и глубины резания и физико-механических свойств разрушаемого массива. Определение оптимальных параметров установки отвала на реальных снегоуборочных машинах технически сложно и экономически затратно.

**Целью настоящей работы** является разработка измерительного устройства, позволяющего проводить экспериментальные исследования по разрушению массива уплотненного снега моделями рабочих органов дорожных машин, установление закономерностей формирования горизонтальной, боковой и вертикальной составляющих усилия резания с учетом изменения физико-механических свойств уплотненного снега и геометрических параметров установки рабочего органа.