

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ ИНСТИТУТ**

**Кафедра «Строительно-дорожные машины»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ «МАШИНЫ  
ДЛЯ ЗИМНЕГО СОДЕРЖАНИЯ ДОРОГ»**

**РАЗДЕЛ «РОТОРНЫЕ СНЕГООЧИСТИТЕЛИ»**

**Ташкент – 2014**

## 1. Общие положения

Курсовой проект – самостоятельная работа студента, которая предусматривает систематизацию. Закрепление и углубление знаний по машинам для зимнего содержания дорог. В процессе выполнения курсового проекта студенту необходимо выбрать наиболее рациональное решение поставленной перед ним задачу и показать умение пользоваться патентно-информационной, технической, периодической литературой, а также материалами проектных организаций и производств.

Курсовое проектирование осуществляется в последовательности, указанной в блок схеме расчета (рис. 1).

Исходными данными при выполнении курсового проекта являются: производительность, дальность отбрасывания снежной массы, высота разрабатываемого снежного слоя и физико-механические свойства снега, которые задаются техническими требованиями на проектирование. В зависимости от исходных данных осуществляется разработка вопросов введения.

Во введении пояснительной записки описываются: назначение и область применения машины, конструкция и принцип ее работы. Затем осуществляется выбор и обоснование основных параметров машины.

## 2. Выбор и обоснование основных параметров

В расчет роторных снегоочистителей входит определение параметров и режимов работы основных исполнительных органов машин – питателя, осуществляющего разработку вала или слоя снега и его подачу к ротору, и ротора-метателя, отбрасывающего снег в сторону или загружающего в транспортные средства. На основании результатов расчета определяют мощность, необходимую для работы ротора и питателя машины. Для обеспечения нормальных условий работы снегоочистителя коэффициент заполнения ротора  $R_{\text{зап}}$ , т.е. отношение производительности метательного аппарата принимают равным  $R_{\text{зап}}=0,3 \div 0,45$ . Окружную скорость ротора выбирают из условия обеспечения заданной дальности отбрасывания.

## 3. Физико-механические свойства снега

Физико-механические свойства снега зависят от различных природно-климатических и технических факторов и существенно влияют на эффективность работы снегоочистителей. Наиболее важными свойствами снега являются плотность, сопротивление резанию, углы естественного откоса, внутреннего и внешнего трения, твердость, влажность, коэффициенты сцепления и сопротивления перекачиванию колесного и гусеничного движителей в таблице П.1. Значения коэффициентов внешнего и внутреннего трения приведены в таблице П.2.

Угол естественного откоса снега зависит от угла внутреннего трения и сцепления снега. Поэтому для наиболее вероятных условий разработки его можно принимать равным углу внутреннего трения.

Коэффициент  $f$  сопротивления перекачивания колесного и гусеничного движителей увеличивается с уменьшением плотности и твердости снега, что

связано с углублением колес, продавливаемой движителем по снежной поверхности. При движении колеса по дороге покрытой слоем снега толщиной 2-3 см,  $f=0,025...0,3$  коэффициент сцепления  $\varphi_{сц}$  характеризует отношение максимальной касательной силы развиваемой колесным или гусеничным движителем, к нормальной нагрузке на движителя коэффициент сцепления  $\varphi_{сц}=0,2\div0,35$  и при температуре, близкой к 0.  $\varphi_{сц}=0,1\div0,2$  для гусеничного движителя  $\varphi_{сц}=0,4\div0,8$ .

## Машины для зимнего содержания дорог

### 1. Роторный снегоочистители.

#### а) назначение и классификация.

Роторные снегоочистители снабжены активным рабочим органом, монтируемым обычно на самоходном шасси. Эти снегоочистители предназначены для очистки дорог и аэродромов от снега, удаление снежных валов, расчистки горных участков дорог от выпавшего, наметенного и лавинного снега, а также уборки снега с городских улиц и площадей и отброса его в сторону или погрузки в транспорт.

По типу рабочего органа роторные снегоочистители разделяют на плужно-роторные, шнеко-роторные, фрезерно-роторные и совмещенным рабочим органом. (Рис. 2).

Роторные снегоочистители подразделяют: по типу шасси на пневмоколесные и гусеничные по типу базовой машины – на автомобильные, тракторные, навесные на тягаче, погрузчике и собственно шасси: по производительности – на легких (до 200 м/ч), средние (до 1000 т/ч) и тяжелые (свыше 1000 м/ч). Средние и тяжелые машины подразделяют по дальности отбрасывания снега на дорожные (до 18 м) и аэродромные (более 18 м). По количеству установленных двигателей различают снегоочистители одномоторные, с одним общим двигателем и двухмоторные (или многомоторные) с отдельными двигателями на привод хода и рабочих органов.

При конструировании снегоочистителей необходимо принимать во внимание следующее: путь снега от разрыхляющего устройства к ротору должен быть коротким и по возможности прямолинейным; ротор желательно выполнять в виде диска с лопастями специального профиля; должна быть предусмотрена надежная система контроля и сигнализации за работой ротора и режущих органов; передний мост тягача в транспортном положении должен допускать перегрузку до 30 % все мосты ходового устройства должны быть ведущими, снегоочиститель должен иметь большой диапазон изменения рабочих скоростей. Кроме того, должны быть обеспечены обдув передних стекол кабины и надежная очистка их от снега, обогрев кабины, нормальная видимость из кабины.

Роторные снегоочистители развиваются по следующим направлениям: увеличение производительности, повышение рабочих скоростей, создание рабочих органов, позволяющих разрабатывать снег различной прочности, повышение надежности рабочего оборудования, снижение энергоемкости, увеличение дальности отбрасывания снега, повышение уровня технического обслуживания, компьютеризации и эргономических свойств.

## Определение основных параметров ротора

Окружную скорость ротора выбирают из условия обеспечения заданной дальности отбрасывания снега. При отсутствии специальных средств для увеличения дальности (например, поддува снежной струи сжатым воздухом), дальность отбрасывания снега при безветрии может быть определена по следующей эмпирической формуле:

$$L = 0,085 V_p^2 \left( 1 - \frac{0,0106 V_p}{\sqrt{R_{зан} \cdot \rho}} \right), \text{ (м)}$$

Это выражение действительно при  $L \leq 112 \sqrt{R_{зан} \rho}$ . По заданным  $L$  в м и  $\rho$  в  $\text{г/см}^3$  и выбранному значению  $R_{зан}$  из приведенного выражения определяют окружную скорость ротора  $V_p$  в м/сек.

Диаметр ротора определяют по формуле:

$$D_p = \frac{1}{30} \sqrt{\frac{\Pi_{max}}{V_p R_{зан} R_e \rho m_p}}, \text{ м}$$

Рабочую длину лопасти ротора принимают

$$l_{лон} = (0,55 \div 0,6) R \cos \beta, \text{ м}$$

где  $R$  – радиус ротора в м;

$\beta$  – угол между направлением лопасти и радиусом ротора, проходящим через ее наружный край.

Угол разгрузки ротора  $\psi_k$  определяют в зависимости от коэффициента внешнего трения  $f_l$  и отношения радиуса ротора  $R$  к расстоянию  $R_o$  от центра ротора до внутреннего края лопасти, по графику рис. 3. Для ротора с радиальными и наклонными к радиусу до  $10^\circ$  лопастями, рабочая длина которых не выходит за указанные выше пределы, угол разгрузки  $\psi_k$  составляют  $\sim 90^\circ$ .

## Определение основных параметров питателя

Тип питателя выбирают в зависимости от физико-механических свойств разрабатываемого снега: питатель шнекового типа выбирают при работе на снег средней плотности и твердости, а фрезерный питатель – на тяжелом снеге. Количество шнеков в шнековом питателе определяют наибольшей высотой  $H_c$  разрабатываемого снежного слоя, причем для снегоочистителей средних и тяжелых типоразмеров допускают общую высоту питателя принимать на  $0,2 \dots 0,4$  м меньше максимальной высоты слоя в расчете на частичное обрушение снежной массы. Диаметр шнека в существующих конструкциях таких снегоочистителей составляет  $0,45$  и  $0,55$  м, шаг шнека равен диаметру. Шнеки однозаходные.

Диаметр фрезы фрезерного питателя принимают

$$D_\phi \geq \frac{3}{2} \cdot \frac{B}{\pi}$$

где  $B$  – ширина захвата рабочего органа снегоочистителя принимают больше ширины базовой машины на  $0,15-0,2$  м в каждую сторону.

Ширину ленты фрезы определяют с учетом образуемой призмы волочения и выражения:

$$B_{л} \geq F_{л} + \sqrt{D_{ф} F_{л} f_1 \sin \alpha}$$

где  $F_{л}$  – подача на ленту за один оборот фрезы в м;

$$F_{л} = 2\pi V_{м} / \omega \cdot \psi$$

$\psi$  – радиус ступицы ротора;

$\omega$  – угловая скорость ротора;

$\alpha$  – угол подъема винтовой линии наружной кромки ленты фрезы; для фрезерного питателя  $\alpha=25 \div 30^\circ$ , шнекового питателя  $\alpha=14,2-17,6^\circ$ .

Подача:

$$F_{л} = \frac{V_x}{60 n_{ф} z}$$

где  $V_x$  – поступательная скорость снегоочистителя в м/ч;

$n_{ф}$  – частота вращения фрезы в об/мин;

$z$  – число заходов фрезы,  $z=2 \div 4$ .

### Определение основных параметров рабочего орган снегоочистителя

При работе роторно-лопастного питательного аппарата на фрагмент снега, движущийся вдоль лопасти и одновременно вращающийся вместе с ротором, действуют сила инерции  $P_{ин}$ , противоположная направлению движения радиально направленная центробежная сила  $P_{ц}$ , перпендикулярная направлению движению кориолисова сила  $P_{к}$  и силы трения фрагмента о лопасть, определяемые действием составляющих сил  $P_{ц}$  и  $P_{к}$ , нормальных к поверхности лопасти (рис. 3, а). Действием силы тяжести фрагмента снега  $G_{ф}$  и силы трения, обусловленной силой тяжести можно пренебречь. Тогда уравнение равновесия фрагмента снега при движении вдоль лопасти будет

$$P_{ин} = P_{ц} \cos \beta - P_{ц} \operatorname{tg} \delta \sin \beta - P_{к} \operatorname{tg} \delta$$

где  $\beta$  – текущий угол между лопастью и радиусом вращения, проходящим через фрагмент снега на лопасти;

$\delta$  – угол трения снега по металлу.

В дифференциальном виде, учитывая, что

$$P_{ин} = m \frac{d^2 x}{dt^2}; \quad P_{ц} = m \omega^2 R_x; \quad P_{к} = 2mV \frac{dx}{dt}$$

где  $x$  – текущее расстояние фрагмента снега от начала координата 0, вдоль оси  $x$ ;

$R_x$  – текущий радиус вращения фрагмента относительно точки 0,  $R_x = \sqrt{x^2 + \psi^2}$ ;

$\psi$  – радиус ступицы ротора;  $\psi=R-l_n$ ;

$l_n$  – длина лопасти;

$\omega$  – угловая скорость.

Получим:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = \omega^2 x - \omega^2 \psi \sin \alpha - 2\omega \frac{dx}{dt} \operatorname{tg} \delta$$

Для радиальной установки лопасти и дифференциальное уравнение движения принимает вид

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = \omega^2 x - 2\omega \operatorname{tg} \delta \frac{dx}{dt}$$

Одним из основных геометрических параметров метательного аппарата является угол  $\varphi_p$  разгрузки ротора, характеризующий угол поворота лопасти и необходимый для полного схода с лопасти снега и является центральным углом, на который опирается выбросной направляющий патрубок. Для наименее благоприятных условий угол разгрузки ротора (рад).

$$\varphi_1 \geq 0,25 \pi \left( 1 - \frac{1}{1 - a_v^2} \right) + \operatorname{arctg} a_v$$

где  $a_v$  – коэффициент, учитывающий влияние трения снега о лопасть, приближенно

$$a_v = (1 + \operatorname{tg} \delta)^{-1} \approx 0,8 \div 0,95$$

Радиус  $R$  вращения ротора определяется технической производительностью снегоочистителя и окружной скоростью ротора  $V_p$ , которая в свою очередь выбирается в зависимости от дальности отбрасывания снега (м):

$$R = \frac{\Pi_{mex}}{1,8 \rho_{сн} K_n V_p B_p (1 - K_1^{-2})}$$

где  $\Pi_{mex}$  – техническая производительность машины, т/ч;

$\rho_{сн}$  – плотность снега, кг/м<sup>3</sup>;

$K_n$  – коэффициент наполнения ротора снегом, зависящий от скорости  $V_p$  и физико-механических свойств снега, при  $V_p=13,5-20$  м/с и  $\rho_{сн}=300-500$  кг/м<sup>2</sup> (большее значение  $K_n$  соответствует меньшей скорости  $V_p$ );

$V_p$  – окружная скорость ротора, м/с;

$B_p$  – ширина лопасти ротора, м;

$K_1$  – коэффициент зависящий от угла разгрузки и угла внешнего трения снега.

$$K_1 = \frac{R}{\varphi} = 2,2 \div 2,5$$

Длина (м) лопасти ротора

$$l_{лон} = R(1 - K_1^{-1})$$

Ширина (м) лопасти ротора

$$B_p = 2 R K_u$$

где  $K_u$  – коэффициент ширины ротора,

$$K_u = 0,325 \div 0,375$$

Число лопастей ротора выбирают из соотношения:

$$(2\pi / \varphi_p) \leq n_{лон} \leq 12$$

Наиболее распространены на практике лопастные роторы снегоочистителей, у которых шесть-восемь лопастей.

Частота вращения ротора (об/мин)

$$n_p = 30 V_p / \pi R$$

При работе шнекового и фрезерного питателя вырезаемые из забоя фрагменты снега формируют перед наружным краем винтовой лопасти спиралевидную призму волочения. Винтовая лопасть отделяет от забоя стружку снега толщиной  $h$  (см. рис. 3, б). В горизонтальной плоскости скорость резания снега определяется геометрической суммой поступательной скорости снегоочистителя  $V_m$  и осевой скорости перемещения снега винтовой лопастью  $V_n$ .

Угол подъема наружного края винтовой лопасти питателя:

$$\varepsilon = \operatorname{arctg} \frac{t_n}{2\pi R_n}$$

где  $t$  – шаг винтовой лопасти;

$R_n$  – радиус окружности вращения питателя для шнека  $R_n=0,2-0,25$  м, для фрезы  $R_n \geq 0,077B$  ( $B$  – ширина захвата фрезы).

Для рекомендуемых значений шага шнекового питателя  $t_n = (1,6 \div 2)R_n$ ;  $\varepsilon = 14,2 \div 17,6^\circ$ , для фрезерного питателя  $\varepsilon = 25 \div 30^\circ$ .

Оптимальная окружная скорость шнекового и фрезерного питателя  $V = \omega R_n = 8 \div 10$  м/с. Увеличение скорости приводит к ухудшению забрасывания снега в метательный аппарат и нелинейному повышению энергоемкости рабочего процесса. Ширина винтовой лопасти шнека в радиальном направлении  $v_{uu} = R_n - R_\sigma$  где  $R_\sigma$  – радиус вала шнека, определяется по условию прочности при изгибе и скручиванию.

Ширина (м) винтовой лопасти фрезы:

$$v_{cp} = F_\phi + 2\sqrt{R_n F_\phi \operatorname{tg} \delta \sin \alpha}$$

где  $F_\phi$  – поступательная подача фрезы на один оборот, м:

$$F_\phi = 2\pi V_m / (\omega z)$$

( $z$  – число заходов фрезы,  $z=2 \div 4$ ).

Для барабанной фрезы радиус барабана

$$R_\sigma = R - B_\phi$$

Окружную скорость шнекового и фрезерного питателей выбирают в пределах 8-10 м/сек. Работа на такой скорости не вызывает затруднений у фрезерного питателя, обладающего большой пропускной способностью.

Что касается шнекового питателя, то во избежание уплотнения снега шнеком, его частоту вращения проверяют по формуле:

$$n_{uu} \geq \frac{q}{15\pi(d_{uu}^2 - d_\sigma^2) \cdot t_{uu} \cdot \rho \cdot \psi_{uu}} \text{ об/мин}$$

где  $q$  – фактическое количество транспортируемого снега, приходящегося на шнек в т/ч;

$d_{uu}$ ,  $d_\sigma$  и  $t_{uu}$  – соответственно диаметр шнека,  $d_{uu}=(0,4-0,55)$  м диаметр вала шнека и шаг шнека в м;  $d_\sigma=0,25d_{uu}$ . Шаг шнекового питателя:  $t_{uu}=(1,6-2)R_n$ ;  $R_n=0,2 \div 0,25$  м;

$\rho_{сн}$  – плотность снега;

$\psi_{uu}$  – коэффициент, характеризующий проскальзывание снега относительно лопасти шнека,

$$\psi_{uu} = 1 - 1,2 \sin^2 \left[ \operatorname{arctg} \frac{2t_{uu}}{\pi(d_{uu} + d_{\epsilon})} \right]$$

### Определение рабочих скоростей снегоочистителя

Для определения потребности в ходоуменьшителе, необходимого количества передач и величин передаточного отношения устанавливают минимальное значение рабочей скорости снегоочистителя

$$V_{x \min} = \frac{\Pi_{mex}}{1000 B H_{c \max} \cdot \rho_{\max}}, \text{ (км/ч)}$$

где  $H_{c \max}$  – наибольшая высота разрабатываемого снежного слоя в м;  
 $\rho_{\max}$  – наибольшее значение средней плотности снега в м/см<sup>2</sup> в забое высотой  $H_{c \max}$  и шириной  $B$  в м.

Шнеки выполняют обычно однозаходными с диаметром 0,4-0,55 м с шагом равным диаметру. Диаметр вала принимают ориентировочно  $0,25 d_{uu}$ .

Наибольшую рабочую скорость снегоочистителя определяют по формуле:

$$V_{x \max} = \frac{\Pi_{mex}}{1000 B_{\min} \cdot H_{c \min} \rho_{\min}}, \text{ км/ч}$$

где  $H_{c \max}$  – наибольшая высота разрабатываемого снежного слоя в м;  
 $\rho_{\max}$  – наибольшее значение средней плотности снега в м/см<sup>3</sup> в забое высотой  $H_{c \max}$  и шириной  $B$  в м.

Шнеки выполняют обычно однозаходными с диаметром 0,4-0,55 м с шагом равным диаметру. Диаметр вала принимают ориентировочно  $0,25 d_{uu}$ .

Наибольшую рабочую скорость снегоочистителя определяют по формуле:

$$V_{x \max} = \frac{\Pi_{mex}}{1000 B_{\min} \cdot H_{c \min} \rho_{\min}}$$

где  $B_{\min}$ ,  $H_{c \min}$ ,  $\rho_{\min}$  – минимальные значения ширины захвата, высоты снежного слоя и плотности снега соответственно. (При уборке снега толщиной 0,1-0,2 м и плотностью 70-200 кг/м<sup>3</sup> рабочая скорость снегоочистителя 500 км/ч, а при работе на плотном снегу 0,3 км/ч).

### Расчет на прочность рабочего оборудования

Расчет на прочность рабочего оборудования роторного снегоочистителя включает в себя для лопастного ротора проверку напряжений в лопасти в месте ее крепления к валу, расчет муфты предельного момента или предохранительных элементов привода ротора. Расчет шнекового питателя проводится по методике, изложенной в курсе подъемно-транспортных машин. Подвеску рабочего органа роторного снегоочистителя и плужного снегоочистителя рассчитывают аналогично.

### Уравнение баланса мощности роторного снегоочистителя

Установочная мощность двигателя базовой машины  $N_{\text{дв}}$  (кВт):

$$N_{\text{дв}} \geq N_p + N_n + N_{\text{пер}} + N_{\text{всн}}$$

где  $N_p$  – мощность привода лопастного ротора;  
 $N_n$  – мощность привода питателя;  
 $N_{nep}$  – мощность, затрачиваемая на перемещение машины;  
 $N_{счн}$  – затраты мощности на привод вспомогательного оборудования (насоса гидросистемы, воздухоудувки и др.).

Мощность привода лопастного ротора метательного аппарата:

$$N_p = K_{зан} (N_1 + N_2 + N_3) / \eta_p$$

где  $K_{зан}$  – коэффициент запаса мощности на преодоление сил трения снега о лопасти, аэродинамические потери, подъем снега ротором и др.

$K_{зан} = 1,1 \div 1,15$ ;  $\eta_p$  – КПД привода лопастного ротора,  $\eta_p = 0,9 \div 0,95$ .

$N_1$  – мощность, затрачиваемая на сообщение снегу кинематической энергии;

$N_2$  – затраты мощности на преодоление сил трения снега о неподвижный кожух метательного аппарата;

$N_3$  – мощность, теряемая при ударе лопастей ротора о снег.

$$N_1 = 1,36 \cdot 10^{-3} \frac{\omega^2 R^2 \Pi_{mex}}{q} \left[ 1 + a_v^2 - 0,5 a_v^2 (1 - K_1^{-2}) \right]$$

где  $\Pi_{mex}$  – техническая производительность снегоочистителя, т/ч;

$K_1$  – относительная длина лопасти;  $K_1 = R/\gamma$

$K_1 = (2,2 \div 2,5)$

Мощность (кВт), затрачиваемая на преодоление сил трения снега о неподвижный кожух.

$$N_2 = \frac{\omega^2 R^2 \Pi_{mex} \operatorname{tg} \delta}{100 q} \cdot \frac{1 - C_x^{-3}}{1 - C_x^{-2}}$$

где  $\delta$  – угол внешнего трения снега,

$$C_x = \left[ 1 - K_n (1 - K_n^{-2}) \right]^{0,5}$$

Мощность (кВт), теряемая при ударе лопастей о снег.

$$N_3 = 0,78 \cdot 10^{-3} \frac{J_p \cdot J_{счн} \cdot \omega^2}{J_p + J_{счн}}$$

где  $J_p$  – момент инерции ротора, кг·м<sup>2</sup>;

$J_{счн}$  – момент инерции снега, кг·м<sup>2</sup>, поступающего внутрь лопастного ротора за один оборот, относительно оси вращения ротора.

$$J_{счн} = \pi R^2 \Pi_{mex} / (3,6 q \omega) (1 + K_1^{-1})$$

Поскольку  $J_p$  намного больше  $J_{счн}$ , имеем

$$N_3 = 0,78 \cdot 10^{-3} J_{счн} \cdot \omega^2$$

Мощность (кВт), расходуемая на привод шнекового или фрезерного питателя:

$$N_n = (N_{1n} + N_{2n}) / \eta_n$$

где  $N_{1n}$  – затраты мощности на вырезание снега из массива;

$N_{2n}$  – затраты мощности на перемещение снега питателя;

$\eta_n$  – КПД – привод питателя;  $\eta_n = 0,8 \div 0,9$ .

Силу трения винтовой лопасти о поверхность снежного массива принимают равной нулю.

Принимаем момент сопротивления от сил резания снега питателем, действующим на расстоянии от оси вращения питателя, равном половине толщины вырезаемой стружки снега (м):

$$h_n = 2\pi V_m / (\omega_n z)$$

где  $\omega_n$  – условная скорость питателя, рад/с;

$V_m$  – рабочая скорость снегоочистителя, м/с;

$Z$  – число заходов винтовой лопасти питателя.

В результате получим выражение для определения мощности (кВт) резания снега питателем

$$N_{1n} = 10^{-3} M \omega_n = 10^{-3} P_{pn} (R_n \omega_n - \pi V_m / z) \operatorname{tg}(\alpha + \delta)$$

где  $M$  – момент привода питателя, Н·м;

$R_n$  – радиус окружности вращения питателя, м;

$\delta$  – угол внешнего трения снега;

$P_{pn}$  – суммарная сила сопротивления снега резанию винтовой лопастью питателя.

Суммарная сила (Н):

$$P_{pn} = K_{pez} \cdot e_{ln} \cdot h_n \cdot z_e = \frac{2 \cdot 10^6 \pi^2 K_{pez} R_n B V_m^2 Z_n}{\omega_n \cdot z \cdot t_n \cos \alpha}$$

где  $e_{ln}$  – ширина стружки снега, вырезаемой одним витком лопасти питателя, м.,  
 $e_{ln} = \pi R_n / \cos \alpha$ ;

$Z_e$  – число витков лопасти питателя;  $Z_e = e / t_n$ ;

$B$  – ширина захвата питателя, м;

$Z_n$  – число винтовых рабочих органов питателя, для фрез = 1, для шнекового питателя,  $Z_n = 2 \div 3$ ;  $t_n$  – шаг винтовой лопасти питателя, м.

Затраты мощности на перемещение снега питателем пропорциональны силе трения снега, возникающей в свою очередь под действием центробежных сил в процессе перемещения вдоль оси питателя.

Для шнекового питателя

$$N_{2n} = 1,39 \cdot 10^{-3} = \frac{B \cdot \omega_n^2 \cdot R_n \Pi_{mex} \operatorname{tg} \rho \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \delta)}{q \operatorname{tg} \alpha}$$

Для фрезерного питателя вследствие того, что со стороны снежного забоя происходит трение снега по снегу, а со стороны кожуха фрезы – трение снега по металлу:

$$N_{2n} = 1,39 \cdot 10^{-3} = \frac{B \cdot \omega_n^2 \cdot R_n \Pi_{mex} (\operatorname{tg} \rho \cdot + \operatorname{tg} \delta) \operatorname{tg}(\alpha + \delta)}{2 q \operatorname{tg} \alpha}$$

где  $\rho$  – угол внутреннего трения снега.

Для ориентировочных расчетов можно так же использовать эмпирические зависимости привода лопастного ротора (кВт)

$$N_p = 2,72 \cdot 10^{-3} \omega^2 R^2 \Pi_{mex} K / q$$

где  $\Pi_{mex}$  – техническая производительность снегоочистителя;

$K$  – эмпирический коэффициент зависящий от окружной скорости ротора  $V_p = \omega R$  и свойства снега при  $V_p = 12 \div 22$  м/с и  $\rho_{сн} = 350$  кг/м<sup>3</sup>,  $K = 0,95 \div 1,3$  (меньшие значения соответствуют большей скорости  $V_p$ ).

Мощность (кВт) привода шнекового питателя

$$N_u = \alpha \Pi_{mex} + N_o$$

где  $\alpha$  - эмпирический коэффициент, возрастающий с увеличением плотности снега, при  $\rho_{сн}=350-450$  кг/м<sup>3</sup>,

$$\alpha=0,0147 \div 0,0257 \text{ кВт/т};$$

$n_n$  – потери мощности обратно пропорционально частоте вращения шнека, при  $n_n=300 \div 500$  об/мин ( $5 \div 8,33$  об/с<sup>-1</sup>).

$$N_o=5,1 \div 3,3 \text{ кВт}.$$

Мощность (в.л.с.) расходуемая на работу шнекового питателя (с однозаходными шнеками)

$$N_{u.n} = \frac{1}{\eta_{u.n}} \cdot \frac{\Pi_{mex}}{q} [N_{1u} + (1 + R_{nep}) (N_{2u} + N_{3u})]$$

$$N_{1u} \approx 0,3 q \rho \left( \frac{\Pi_{mex}}{V_x} \right)^{0,8} \sqrt{1 + |t|}$$

$$N_{2u} = R_c \frac{q \cdot V_u^2}{270 q}; \quad N_{3u} = \frac{q B B_2 \operatorname{tg}(\alpha_1 + \varphi_1)}{540 \psi_u \operatorname{tg} \alpha_1}$$

В приведенных формулах  $V_u$  – окружная скорость шнека в м/с,  $\eta_{фр}$  и  $\eta_{шп}$  – к.п.д. механизмов привода фрезерного и шнекового питателей соответственно:

$$R_{nep} \approx 0,2; \quad R_c = 0,7 \div 0,9$$

Мощность затрачиваемая на привод питателя определяется по формуле:

$$N_{num} \approx \frac{0,0055 \Pi_{mex} V_{num}}{\eta_{num}}, \text{ (л.с.)}$$

где  $V_{num}$  – окружная скорость фрезы или шнеков в м/с;

$\eta_{пит}$  – КПД механизма привода питателя.

Мощность затрачиваемая на передвижение фрезерно и шнеко роторного снегоочистителя, определяется по формуле:

$$N_{nep} = \frac{V_k}{270 \cdot 10^3 \eta_{nep}} (T_{nep} + m P_{1л.с} + P_{2л.с})$$

где

$$T_{nep} = G_m (f_o \pm i) \quad (\text{Н})$$

$$P_{1л.с} = 0,008 R_{рез}^o \frac{B \cdot V_x}{n_{num}} \quad (\text{Н})$$

$$P_{2л.с} = R_{рез}^1 B h_c \quad (\text{Н})$$

здесь

$G_m$  – вес снегоочистителя в кг/с;

$B$  – ширина захвата в м;

$V_x$  – скорость снегоочистителя в м/ч;

$n_{num}$  – частота вращения фрезы или шнека об/мин;

$R_{рез}^o$  – коэффициент сопротивления резанию основной массы снега в МПа;

$P'_{рез}$  - коэффициент сопротивления резанию снега в нижней части забоя, где снег обладает большими прочностными свойствами, в МПа;

$h_c$  – высота снежного слоя, срезаемого зачистным ножом в м;

$f_o$  – коэффициент сопротивления передвижению снегоочистителя;

$i$  – уклон местности;

$\eta_{пер}$  – КПД механизма передвижения снегоочистителя;

$m$  – количество шнеков (для фрезерного питателя  $m=1$ ).

### Уравнения тягово-динамического баланса снегоочистителя

1. Сопротивление, преодолеваемое снегоочистителя в рабочем режиме:

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4$$

где  $W_1$  – сопротивление врезанию в снежный массив горизонтальных и вертикальных ножей рабочего органа, Н.

$$W_1 = 10^6 R_{рез} F, \text{ МПа}$$

$R_{рез}$  – удельное сопротивление снега резанию, МПа;

$F$  – площадь проекции ножей на вертикальную плоскость, перпендикулярную оси движения, м<sup>2</sup>.

Сопротивление скольжению рабочего органа по поверхности дороги, Н.

$$W_2 = G_{p.o} \text{tg } \delta$$

где  $G_{p.o}$  – вес рабочего органа, Н;

$\delta$  - угол внешнего трения.

Сопротивление перемещению базовой машины  $W_3$  и скольжению рабочего органа

$$W_3 = q(m_m - m_{p.o})(f \pm i)$$

где  $qm_m$  – вес машины, Н;

$qm_{p.o}$  – часть веса рабочего органа (Н), приходящаяся на дорогу.

Сопротивление лобового взаимодействия винтовой лопасти питателя со снежным забоем,  $W_4$ , Н.

$$W_4 = \frac{P_\tau}{\text{tg } \rho} = \frac{P_{rp} + P_{тпер}}{\text{tg } \rho}$$

где  $P_\tau$  - в радиальной плоскости вращения питателя тангенциальная составляющая сил резания снега винтовой лопастью, полностью зависит от взаимодействия со снежным забоем.

При высоте забоя, равной высоте питателя:

$$P_\tau = N_{1n} / (\omega_n R_n)$$

Тангенциальная составляющая сила перемещения снега винтовой лопастью вдоль поверхности снежного забоя для шнекового питателя.

$$P_{тпер} = N_{2n} / (2\omega_n R_n)$$

и для фрезерного питателя

$$P_{тпер} = N_{2n} \text{tg } \rho / [\omega_n R_n (\text{tg } \rho + \text{tg } \delta)]$$

## Производительность снегоочистителя и оценка эффективности рабочих органов

1. Техническая производительность (т/ч) роторного снегоочистителя:

$$P_{\text{тех}} = 3,6 B H V_{\text{м}} \rho_{\text{сн}}$$

где  $H$  – толщина снежного покрова, м.

При проектировании роторных снегоочистителей должно соблюдаться соотношение:

$$P_{\text{тех}} \leq P_{\text{пит}} \leq P_{\text{р}}$$

где  $P_{\text{пит}}$ ,  $P_{\text{р}}$  – производительность соответственно питателя и метательного аппарата, т/ч.

Ширину захвата рабочего органа роторного снегоочистителя принимают больше ширины базовой машины на 0,15-0,2 м в каждую сторону.

КПД снегоочистителей позволяет оценить эффективность выполнения рабочими органами операций отделения снега от массива транспортирования его к лопастному ротору и сообщения снега кинематической энергии. Внутренний КПД

$$\eta_1 = 2,72 \cdot 10^{-8} P_{\text{тех}} \omega^2 R^2 / (q N_{\text{дв}} \eta_{\text{мп}})$$

где  $N_{\text{дв}}$  – мощность двигателя привода рабочих органов или установочная мощность двигателя базовой машины, кВт;

$\eta_{\text{мп}}$  – КПД трансмиссии привода рабочих органов  $\eta_{\text{мп}}=0,9$ .

Внутренний КПД позволяет оценить потери энергии внутри рабочего органа между приводом и направляющим патрубком питательного аппарата. Для современных снегоочистителей с одним двигателем на базе гусеничных тракторов  $\eta_1=0,5 \div 0,6$  на базе автомобилей  $\eta_1=0,065 \div 0,075$  для двух двигательных снегоочистителей  $\eta_1=0,85 \div 0,9$ .

Критерием оценки общей эффективности рабочих органов, включая операцию отбрасывания снега, является внешний КПД:

$$\eta_2 = 2,72 \cdot 10^{-3} P_{\text{тех}} l / (N_{\text{дв}} \eta_{\text{мп}})$$

где  $l$  – действительная средняя дальность отбрасывания снега ротором, м.

Для средней дальности отбрасывания снега внешний КПД современных роторных снегоочистителей  $\eta_2=0,33 \div 0,43$ .

Внешний КПД позволяет в первом приближении обосновать выбор рационального режима работы снегоочистителя.

Уменьшение дальности отбрасывания снега до пределов, допускаемых технологическими условиями работы снегоочистителя, позволяет при той же мощности двигателя существенно повысить его производительность и снизить удельную энергоёмкость.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Заключение пояснительной записки должно содержать:

- краткую техническую характеристику спроектированного роторного снегоочистителя;
- основные достоинства спроектированной машины (по сравнению с машинами аналогами);
- обоснование целесообразности разработанной конструкции.

## Список рекомендуемой литературы

1. Баловнев В.И., Ермилов А.Б. и др. «Строительно-дорожные машины и комплексы». - М.: Машиностроение, 1988, 384 с.
2. Справочник конструктора дорожных машин./Под ред. И.П. Бородачева – М.: Машиностроение, 1973, 504 с.
3. Панкратов С.А. и Ряхин В.А. «Основы расчета и проектирования металлических конструкций строительных и дорожных машин». – М.: Машиностроение, 1967., 275 с.

## Дополнительная

1. Васильев А.А. Дорожные машины. –М.: Машиностроение, 1987, 416 с.
2. Живов М.А. Справочник мастера по механизированной уборке городских территорий. –М.: Стройиздат. 1978, 187 с.
3. Волков Д.П., Николаев С.Н. Повышение качеств строительных машин. М.: Стройиздат, 1984, 168 с.
4. Абрамов Н.Н. Курсовое и дипломное проектирование по дорожно-строительным машинам. –М.: Высшая школа, 1972, 120 с.
5. Эксплуатация специальных автомобилей для содержания и ремонт городских дорог./Баловнев В.И., Засов И.Г. и др. –М.: Машиностроение, 1983, 344 с.

## Стандарты и руководящие документы

ГОСТ 2.001-70. Единая система конструкторской документации.

ГОСТ 2.301-68. Оформление чертежей.

ГОСТ. 2.780-68. Обозначения общего применения в схемах.

РД. 50.233-81. Методические указания (надежность в технике, оценка параметров машин по опрокидыванию, характеристика устойчивости).

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### Плотность, твердость и сопротивление резанию снега

Таблица II

№	Характеры снежного покрова	Плотность кг/м <sup>3</sup>	Твердость при температуре (-1) (-20) <sup>0</sup> С МП	Сопротивление резанию, МПа
1.	Очень рыхлый, свежеснежный	10-200	0,02	0,001
2.	Рыхлый, слабо уплотненный, свежеснежный, обвалованный	220-300	0,2-0,6	0,005-0,01
3.	Старый, слежавшийся	480-520	0,4-0,2	0,025-0,08
4.	Уплотненный, слежавшийся	300-400	0,3-1,5	0,1-0,025
5.	Мелкозернистый лавинный уплотненный накат	550-700	0,4-3	0,1-0,5

б.	Снежно-ледяной накат	700-950	-	1-1,25
----	----------------------	---------	---	--------

Зависимость коэффициента внешнего трения снега от его плотности и температуры

Таблица II

Плотность кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент внешнего трения $tg \delta$ при температуре °С		
	(+2)-(-1)	-4	(-16)-(230)
80-120	0,18	0,10	0,14
150-200	0,11	0,08	0,10
250-300	0,09	0,07	0,08
350-400	0,075	0,05	0,06
450	0,056	0,04	0,05
480	0,05	0,03	0,04
520	0,04	0,025	0,03
550	0,03	0,015	0,02

Зависимость коэффициента внутреннего трения снега от его плотности и температуры

Таблица II

Плотность кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент внутреннего трения $tg \rho$ при температуре °С		
	(+2)-0	(-1)-(-6)	Ниже -10
120	0,24	0,29	0,34
200	0,3	0,33	0,36
300	0,35	0,39	0,46
400	0,4	0,44	0,5
500	0,43	0,49	0,53
560	0,45	0,5	0,57

Техническая характеристика шнекороторных снегоочистителей

Таблица II

Показатель	ДЗ-210	ДЭ-211	Д-470	Д-450
Базовое шасси	ЗИЛ-131	Урал-375Е	ЗИЛ-157К	МАЗ-502
Мощность двигателя, кВт	184	132÷294	110	132÷221
Ширина захвата, м	2,56	2,81	2,52	2,76
Наибольшая высота убираемого слоя снега, м	1,3	1,5	1,2	1,7
Средняя дальность отбрасывания, м	24	37	24	25
Ротор: Диаметр, мм	978	1220	975	1220
Частота вращения, об/мин	422	403	425	338
Шнеки: Диаметр, мм	450	550	450	450
Частота вращения, об/мин	354	302	318	352
Техническая производительность т/ч	900	1375	670	1296
Угол наклона патрубка ротора к поверхности дороги:	19	15	-	15

Вправо Влево	44	35	-	35
Транспортная скорость, км/ч	41	42,5	40	40
Рабочая скорость, км/ч	0,3-5	0,452	0,3-5	0,77-5,92
Размеры, мм				
Длина	8550	10050	8000	8750
Ширина	2670	2810	2570	2800
Высота	2700	2940	2530	2950
Масса, кг	10820	15200	8820	13600

Исходные данные для выбора варианта по расчету  
и проектированию роторных снегоочистителей

Таблиц II.5

№	Производительность	Тип рабочих органов	Дальность отбрасывания в м	Высот разрабатываемого снежного слоя в м
1	100	Плужно-роторный	16	1,2
2	150	-«»-	18	1,3
3	200	-«»-	20	1,4
4	400	Шнеко-роторный	24	1,5
5	550	-«»-	30	1,6
6	520	-«»-	34	1,7
7	800	Фрезерно-роторный	42	1,8
8	900	-«»-	45	1,9
9	1000	-«»-	50	2,0
10	1300	С рыхляющим валом	60	2,0

## ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Общие положение.....
2. Выбор и обоснование основных параметров.....
3. Назначение и классификация машины для зимнего содержания дорог .....
4. Определение основных параметров ротора .....
5. Определение основных параметров питателя .....
6. Определение основных параметров рабочего органа снегоочистителя .....
7. Определение рабочих скоростей снегоочистителя .....
8. Расчет на прочность рабочего оборудования .....
9. Уравнение баланса мощности .....
10. Уравнение тягово-динамического баланса снегоочистителя .....
11. Производительность снегоочистителя и оценка эффективности рабочих органов .....

12. Заключение .....	
13. Список рекомендуемой литературы .....	
14. Приложение .....	