

На правах рукописи



**Трофимова Ирина Федоровна**

**ВЫБОР ПЛУЖНОГО СНЕГООЧИСТИТЕЛЯ ДЛЯ СКОРОСТНОЙ  
ОЧИСТКИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ОТ СНЕГА В ЗАВИСИМОСТИ  
ОТ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕГО  
ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ**

Специальность: 05.05.04 – Дорожные, строительные и подъемно-транспортные  
машины

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук



31 ОКТ 2013

Москва – 2013

Работа выполнена в Московском автомобильно-дорожном государственном техническом университете (МАДИ) на кафедре «Сервиса дорожно-строительных машин».

**Научный руководитель:** доктор технических наук, профессор  
**Баловнев Владилен Иванович**

**Официальные  
оппоненты:** доктор технических наук, профессор  
**Николаев Сергей Николаевич**  
генеральный директор  
ООО «Фирма МС КОНСАЛТИНГ»

кандидат технических наук, доцент  
**Павлов Алексей Петрович**  
доцент кафедры Производства и ремонта  
автомобилей и дорожных машин ФГБОУ ВПО  
«МАДИ»

**Ведущая организация:** **ЗАО «ВНИИстройдормаш»**

Защита состоится 21 ноября 2013г. в 10.00 на заседании диссертационного совета Д.212.126.02 ВАК РФ при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)» по адресу:

125319, ГСП А-47, Москва, Ленинградский пр., д.64, ауд. 42,

Телефон: (499) 155-93-24

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МАДИ.

Отзыв на автореферат в одном экземпляре, заверенный печатью организации, просим направлять в адрес диссертационного совета университета, а копии отзывов присылать по электронной почте: [uchsovets@madi.ru](mailto:uchsovets@madi.ru)

Автореферат разослан «18» октября 2013 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



**Борисюк Никита Владимирович**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы:** Рост автомобильного парка, увеличение объема грузооборота и перевозок пассажиров, предъявляет высокие требования к содержанию автомобильных дорог и улиц, и обеспечению безопасности движения. В зимний период появление на дорожных покрытиях снежно-ледяных отложений приводит к снижению скорости и производительности транспортных средств, увеличивая себестоимость перевозок и количество ДТП. В связи с этим, необходимо максимально использовать эффективные и экономичные способы борьбы со снегом и льдом на дорогах и улицах.

Скоростная снегоочистка городских территорий - наиболее быстрый и эффективный способ снегоочистки автомобильных дорог с использованием плужных снегоочистителей. В настоящее время на рынке представлены различные марки снегоуборочной техники. Эксплуатирующим организациям необходимо выбирать оптимальные снегоуборочные машины и их количество в зависимости от технико-эксплуатационных условий эксплуатации для достижения максимальной прибыли от выполненных работ и очистки дорог с высокой степенью эффективности.

В работе предложена методика выбора оптимального снегоочистителя для патрульной снегоочистки дорог в зависимости от условий эксплуатации.

**Цель работы:** разработка методики для выбора плужного снегоочистителя с оптимальными параметрами для выполнения работ в заданных условиях эксплуатации и определение необходимого количества снегоочистителей, обеспечивающей снегоочистку с максимальной эффективностью по основным показателям.

### **Задачи исследования:**

- проведение анализа рабочего процесса плужного снегоочистителя;
- составление математической модели показателя эффективности – общего времени цикла;
- анализ изменения показателей эффективности в зависимости от технических параметров плужного снегоочистителя и параметров условий эксплуатации;
- решение задачи оптимизации показателей эффективности работы снегоочистителя;
- анализ изменения оптимальных параметров машины в зависимости от условий эксплуатации;
- исследования эффективности разработанной методики расчета показателей и сопоставление с экспериментальными данными.

**Объект исследования:** основные параметры и показатели эффективности плужного снегоочистителя.

**Предмет исследования:** влияние изменения основных показателей эффективности плужного снегоочистителя в зависимости от условий эксплуатации.

### **Научная новизна:**

- предложена методика выбора оптимального плужного снегоочистителя

в зависимости от технико-эксплуатационных условий;

- получена зависимость основных технических и экономических показателей эффективности от параметра массы снегоочистителя в зависимости от условий эксплуатации;

- разработана математическая модель процесса удаления снега плужными снегоочистителями с дорожного полотна, отличающаяся тем, что она учитывает основные технико-эксплуатационные параметры.

**Практическая ценность работы:** выполнение патрульной снегоочистки с высокой эффективностью, увеличение экономического эффекта при использовании оптимальной машины, снижение затрат на использование оптимальной машины.

**Реализация результатов работы:** Результаты диссертационных исследований могут использоваться на предприятиях занимающихся, эксплуатацией дорожной, строительной и коммунальной техники и в учебных заведениях для подготовки специалистов автомобильно-дорожной отрасли. Они могут найти применение при оценке эффективности каждой машины из парка снегоуборочной техники или представленной производителями на рынке.

**На защиту выносятся:**

- методика выбора оптимального плужного снегоочистителя в заданных условиях эксплуатации, основанный на минимизации времени цикла;

- математическая модель общего времени цикла плужного снегоочистителя, учитывающая основные параметры условий эксплуатации;

- результаты исследования и сравнения

**Методы исследования, достоверность и обоснованность результатов:**

В работе использованы теоретические и экспериментальные методы исследования. Решения задач базируются на теоретических положениях математического моделирования, теории подобия и экспериментальных данных. Обоснованность рекомендаций, научных положений и выводов определяется корректным использованием современных математических моделей и методов, предварительным статистическим анализом процессов рабочего цикла снегоуборочных машин, согласованностью результатов аналитических расчетов показателей эффективности снегоуборочных машин и полученных экспериментальных данных.

**Апробация работы:** Содержание отдельных разделов и диссертации в целом было доложено и получило одобрение на 71-ой научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ, (Москва, 2013г.), 69-ой научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ, (Москва, 2011г.), 68-ой научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ, (Москва, 2010г.).

**Публикации:** По теме диссертационного исследования опубликовано 3 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК.

**Структура и объем диссертации:** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав и общих выводов. Опубликована на 168 страницах машинописного текста, содержит 39 рисунков, 18 таблиц, список использованной литературы из 95 наименований и 4 приложения.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обосновывается актуальность темы, сформулирована цель и определены задачи диссертационного исследования, научная новизна и значимость результатов. Дана краткая характеристика рассматриваемых проблем и вопросов и методы их решения.

Несвоевременная уборка городских территорий от свежесвыпавшего снега может спровоцировать множественные дорожные заторы и дорожно-транспортные происшествия. Все эти факторы ведут к серьезным финансовым потерям для компаний, чьи доходы напрямую связаны с грузо- или пассажироперевозками. Кроме того, неблагоприятные погодные условия могут спровоцировать травмоопасную обстановку для пешеходов.

Основной задачей зимнего содержания автомобильных дорог является проведение комплекса мероприятий по обеспечению бесперебойного и безопасного дорожного движения на автомобильных дорогах и улицах с максимальным использованием эффективных и экономичных способов борьбы со снегом и льдом на дорогах и улицах. Методики выбора снегоочистителей чаще всего предлагаются заводами изготовителями и сводятся к выбору машин в пределах своей продукции. Значения показателей эффективности снегоуборочных машин в различных условиях эксплуатации можно определить аналитическим методом расчета, исключая проведение экспериментов в реальных условиях. Данный метод расчета дает возможность получения более точных результатов. Он учитывает противоречивые требования ряда рабочих операций к техническим параметрам снегоуборочных машин.

**В первой главе** проведен обзор конструкции современных плужных снегоочистителей, удельных параметров плужных снегоочистителей, физико-механических свойств снега, анализ существующих методик определения оптимального количества плужных снегоочистителей.

Показано, что проблема зимнего содержания автомобильных дорог возникает из-за неправильной эксплуатации коммунальными предприятиями парка снегоуборочной техники, недостатка количества машин, а также несоответствия имеющихся моделей снегоочистителей по своим техническим характеристикам условиям эксплуатации. Задача предприятий, занимающихся содержанием автомобильных дорог и автомагистралей, состоит в выборе снегоуборочных машин и их количества с оптимальными параметрами. Данные машины смогут выполнять работу за минимальное количество времени и с заданной эффективностью.

Определение необходимого количества снегоуборочных машин при патрульной снегоочистке проводили Федеральное дорожное агентство Росавтодор, ГУП «Доринвест», немецкая компания по производству техники «SCHMIDT». Выявлены достоинства и недостатки рассмотренных методик. В основе расчетов данных методик лежат основные технические данные машин и дорожные условия эксплуатации, однако ни в одной из них не учтены физико-механические свойства снега. Кроме того, сделан вывод, что в настоящее время нет методик для определения снегоочистителя с оптимальными

параметрами для выполнения работ в заданных условиях. Сформированы основные цели и задачи диссертационного исследования.

**Во второй главе** определены по аналитическим зависимостям технико-эксплуатационные показатели эффективности, в которые входят производительность, удельная энергонасыщенность, удельная энергоёмкость, удельная материалоемкость; а также технико-экономические показатели эффективности: себестоимость машино-часа, коммерческий эффект от использования машины, удельная себестоимость единицы продукции и др.

Установлено влияние показателя времени цикла на основные технико-экономические показатели, т.к. время цикла входит во все основные технико-экономические показатели машин. Таким образом, оказывая влияние на изменение общего времени рабочего цикла машины можно изменять значения основных показателей ее эффективности.

Согласно технологии снегоуборки, разработана математическая модель времени цикла плужного снегоочистителя, которая включает в себя все основные составляющие затрат времени: выполнение рабочей операции и холостого хода. При разработке математической модели учитывался опыт моделирования и копания грунтов.

$$t_{\text{цикла}} = t_{po} + t_{xx},$$

где  $t_{po}$  - суммарное время выполнения рабочей операции машиной, с;

$t_{xx}$  - суммарное время холостого хода, затраченное машиной на перебазировку к месту выполнения работ и обратно на стоянку, с.

Учитывая тот факт, что в момент снегоочистки на отвал машины действуют силы сопротивления со стороны снежной массы, тем самым влияя на скорость движения машины и качество очистки, составлена схема действия сил сопротивления на рабочий орган машины в момент выполнения работы.

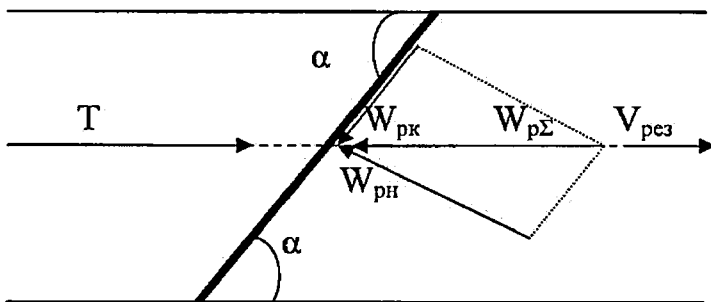


Рис. 1. Схема действия сил сопротивления на отвал машины.

Лобовое сопротивление складывается из двух типов сил: сил касательного (тангенциального) трения  $W_k$ , направленных вдоль поверхности отвала машины, и сил давления, направленных по нормали к поверхности  $W_n$ . Сила сопротивления является диссипативной силой и всегда направлена против вектора скорости тела в среде. Каждая составляющая сил сопротивления

характеризуется своим собственным коэффициентом сопротивления и определенной зависимостью от скорости движения:

$$\overline{W}_{p\Sigma} = \overline{W}_{pH} + \overline{W}_{pK}$$

где  $W_{pH}$  – сила сопротивления резанию нормальная, Н;  
 $W_{pK}$  – сила сопротивления резанию касательная, Н;  
 $W_{p\Sigma}$  – суммарная сила сопротивления движению машины, Н.

$$W_{pH} = B \cdot h \cdot g \cdot k_{уд.снр.}$$

где  $B$  – ширина отвала снегоочистителя, м;  
 $h$  – высота срезаемого снега, м;  
 $k_{уд.снр.}$  – коэффициент удельного сопротивления снега.

$$W_{pK} = W_{pH} \cdot \operatorname{tg} \alpha,$$

$$W_{p\Sigma} = W_{pH} \cdot \cos \alpha + W_{pH} \cdot \sin \alpha \cdot \operatorname{tg} \alpha,$$

$$W_{p\Sigma} = B \cdot h \cdot g \cdot k_{уд.снр.} \cdot (\cos \alpha + \sin \alpha).$$

Сопротивление призмы волочения определяется произведением:

$$W_{np} = q_{np} \cdot \gamma_{сн} \cdot \operatorname{tg} \alpha,$$

где  $q_{np}$  – объем призмы волочения, м<sup>3</sup>;  
 $\gamma_{сн}$  – удельная масса снега, н/м<sup>3</sup>.

Сила сопротивления базовой машины снегоочистителя рассчитывается по формуле:

$$W_M = m_M \cdot f_M \cdot g,$$

где  $m_M$  – масса машины без учета навесного оборудования (отвала), кг;  
 $f_M$  – коэффициент сопротивления перекатыванию;  
 $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Сила сопротивления движению отвала снегоочистителя рассчитывается как:

$$W_{om} = m_{om} \cdot f_{om} \cdot g,$$

где  $m_{om}$  – масса отвала машины, кг;  
 $f_{om}$  – коэффициент трения отвала и поверхности дороги.

Формулу работы сил сопротивления при выполнении рабочей операции можно представить в виде суммы сил сопротивления призмы волочения и суммарной силы сопротивления резанию:

$$A_{po} = (W_{np} + W_{p\Sigma}) + (W_M + W_{om}) \cdot L,$$

где  $L$  – расстояние перемещения снегоочистителя при выполнении рабочей операции, м.

Математическая модель рабочей операции учитывает работу сил сопротивления движению мощность машины:

$$t_{po} = \frac{A_{po}}{N_{po}},$$

где  $N_{po}$  - мощность снегоуборочной машины, н·м/с.

Мощность снегоочистителя в момент выполнения рабочей операции рассчитывается по формуле:

$$N_{po} = mg\eta g_{зд} V_{po} (\varphi_{сц} - f_{po} \pm i)(1 - \delta_{сн}),$$

где  $m$  - общая масса снегоочистителя, включая навесное оборудование, кг;  
 $V_{po}$  - скорость резания снега в процессе выполнения рабочей операции, м/с.

В формуле определения мощности, затрачиваемой снегоочистителем на уборку дорожного полотна, учтены основные физико-механические свойства снега, влияющие на тяговые характеристики машины. Данные свойства снега можно объединить в безразмерный коэффициент условий эксплуатации:

$$k_{po} = (\varphi_{сц} - f_{неp} \pm i)(1 - \delta)\eta k_{зд},$$

где  $\varphi_{сц}$  - коэффициент сцепления, характеризует отношение максимальной касательной силы, развиваемой колесным движителем к нормальной нагрузке на движитель (на его ведущие колеса);

$f_{неp}$  - касательная сила сопротивления движению в зависимости от нормальной нагрузки на движитель;

$i$  - угол естественного откоса, определяющийся способностью снега под действием своего веса сползть по наклонной плоскости;

$\delta$  - угол внешнего трения снега, характеризующий отношение силы его трения о рабочий орган снегоочистителя к силе нормального давления на поверхность рабочего органа машины;

$k_{зд}$  - коэффициент загрузки двигателя при работе снегоочистителя;

$\eta$  - КПД трансмиссии.

Выявлена зависимость между коэффициентом условий эксплуатации и физико-механических свойств снега: коэффициент условий эксплуатации тем выше, чем сложнее в данный момент дорожные условия за счет выпавшего снега, тем больше мощности затрачивает машина на выполнение рабочей операции.

Операция холостого хода также учитывает работу сил сопротивления движению машины и мощность:

$$t_{xx} = \frac{A_{xx}}{N_{xx}},$$

где  $A_{xx}$  - работа, совершаемая снегоочистителем на холостом ходу, нм;



$N_{xx}$  - мощность холостого хода, т.е. мощность базовой машины снегоочистителя, заданная заводом изготовителем, нм/с.

Работа сил сопротивления на холостом ходу:

$$A_{xx} = m \cdot g \cdot f_{xx} \cdot L_{xx},$$

где  $L_{xx}$  - путь снегоочистителя, в течение которого снегоочистка не производится, м;

$m$  - масса снегоочистителя, кг;

$g$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$f_{xx}$  - коэффициент сопротивления перекатыванию машины на холостом ходу.

Мощность на холостом ходу затрачивается только на перемещение машины, а значит влияние условий эксплуатации минимально и им можно пренебречь.

В общем виде формула времени цикла снегоочистителя имеет следующий вид:

$$t_{цикла} = \frac{1}{m} \left( \frac{W_{comp} L}{V_{рез} g k_{po}} \right) + m \left( \frac{g L_{xx} f_{xx}}{N_{xx}} \right).$$

На основе выражения  $\frac{dt}{dm} = 0$  определяется формула для расчета оптимальной массы машины для работы в заданных условиях эксплуатации:

$$m_{opt} = \sqrt{\frac{W_{comp} L}{g^2 k_{po} V_{рез} f_{xx} L_{xx}}}.$$

Анализ работы плужного снегоочистителя при параллельном протекании операций резания и отбрасывания снежной массы дает тождественную структуру для определения оптимального значения массы машины. В данном случае операции по резанию и отбрасыванию снега протекают одновременно; время каждой операции равны друг другу.

Машины для зимнего содержания автомобильных дорог составляют обширную номенклатуру техники, их параметры являются подобными. Критерии подобия характеризуют отношения физических эффектов системы «машина-снег». Критерии подобия для подобных машин равны. Из равенства критериев подобия получены коэффициенты связи между входящими в состав величинами технических параметров машины, таких как мощность и геометрические параметры отвала и масса машины. Таким образом, установлена целесообразность выбора машины с рациональными параметрами исходя из рассчитанной оптимальной массы машины.

Зависимость времени цикла от массы машины представлена на рисунке 2.

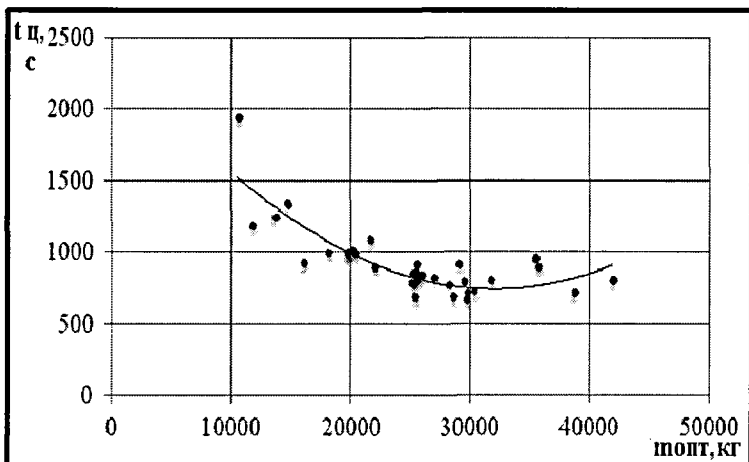


Рис.2. График зависимости времени цикла от массы машины

Из графика видно, что для группы машин, имеющих различные технические характеристики, можно рассчитать общее время цикла для каждой модели. Основываясь на представленной зависимости, сделан вывод, что из всего множества моделей, только небольшая группа имеет близкую к оптимальной или оптимальную массу и минимальное время цикла выполнения работ при постоянной рабочей скорости. Чаще всего предприятия не располагают таким широким модельным рядом снегоуборочной техники и возможностью ее приобретения, поэтому если в парке машин предприятия снегоочиститель с параметрами, равными оптимальным параметрам, рассчитанным по методике, отсутствует, то выбор снегоочистителя производится по массе, максимально приближенной по значению к оптимальной массе  $m_{\text{маш}} \cong m_{\text{опт}}$ .

Снегоочистители работают в вероятностных условиях эксплуатации, т.е. параметры, характеризующие свойства среды, не являются постоянными и способны изменяться случайным образом. Оптимальные технико-эксплуатационные параметры машин следует определять для наиболее вероятных условий эксплуатации.

Максимальная производительность в конкретных условиях эксплуатации будет рассчитываться исходя их определенного ранее времени цикла. У оптимальной машины время цикла будет минимальным  $t_{\text{цикла}} = t_{\text{ц, min}}$ .

$$\Pi_{\text{max}} = \frac{bL}{t_{\text{ц, min}}}$$

При выборе оптимальной машины для выполнения работ в заданных условиях эксплуатации можно достичь роста экономического эффекта при использовании снегоочистителя и снижения затрат на его использование.

Для определения экономического эффекта используется формула:

$$Э_{см} = \frac{C_{лм}^2 \cdot P_{max} \cdot T_ч}{3600},$$

где  $T_ч$  – число часов работы машины, ч.

Экономический эффект позволяет оценить рациональность использования предприятием экономического ресурса - плужного снегоочистителя или группы машин. При увеличении производительности снегоочистителя за счет сокращения времени цикла уборки возможно увеличить экономический эффект для предприятия и снизить стоимость единицы продукции для потребителя.

Оценка затрат на удаления снега с дорожного полотна по рыночной цене машино-часа включает в себя затраты на использование машины на предполагаемом участке дороги  $З_{см}$  за период выполнения работ. При выполнении работ оптимальной машиной  $t_{чmin} \rightarrow min$ , поэтому затраты на использование машины так же можно снизить:

$$З_{см} = \frac{C_{мч} \cdot t_{чmin}}{3600}.$$

Затраты на снегоочистку позволяют оценить эффективность использования данного снегоочистителя для эксплуатирующего предприятия и потребителя. При снижении данного вида затрат можно регулировать стоимость машино-часа при выполнении работ. График зависимости затрат при использовании оптимальной снегоуборочной машины в заданных условиях эксплуатации представлен на рисунке 3.

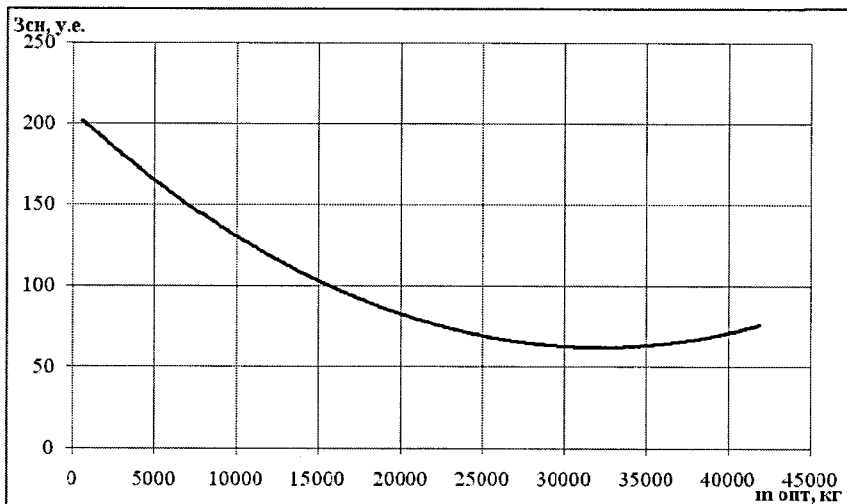


Рис.3. Зависимость затрат на использование снегоочистителя от оптимальной массы машины.

**В третьей главе** рассмотрены основные положения, которые были использованы при разработке методики определения оптимальных параметров машин. Определение оптимальных параметров для конкретных условий эксплуатации снегоуборочной техники основывается на анализе показателей эффективности и времени технологического цикла выполнения работ по очистке дорожного полотна от снега. Продолжительность операций является одним из важнейших показателей эффективности.

При анализе выполнения работ плужным снегоочистителем, установлено, что показатели эксплуатационной и экономической эффективности зависят от продолжительности цикла снегоочистителя.

Общее время цикла  $t_{цикла}$  и время отдельных рабочих операций  $t_{po}$  определяют величину ряда коммерческих и рыночных показателей.

На основании возможности снижения общего времени цикла выполнения работ с использованием снегоуборочных машин при неизменных других основных технико-эксплуатационных параметрах, можно установить оптимальные параметры основных технико-эксплуатационных показателей. Для снегоуборочных машин анализ минимизации производительности по величине оптимальной массы  $m_{opt}$  даст такой же результат, как при минимизации  $t_{цикла}$ .

Технологическое время цикла  $t_{цикла}$  определяется путем сложения времени отдельных операций. При определении минимального времени рабочего цикла снегоочистителей как технико-транспортных машин для уборки территорий при заданных условиях, исходим из технологической последовательности операций. Операции по очистке дорог от снега у плужных снегоочистителей делятся на операции отделения снега и отбрасывания и протекают последовательно-параллельно. Вначале происходит процесс отделения снега от снежного массива отвалом машины. Далее за счет массы машины, движущейся с определенной скоростью, кинетическая энергия передается снежному массиву, и снег отбрасывается в сторону.

Технологическое время цикла включает в себя все основные составляющие затрат времени на выполнение операции по удалению снега и льда: время рабочих операций  $t_{po}$  и время холостого хода  $t_{xx}$ . Математическая модель времени рабочего цикла машины:

$$t_{цикла} = \frac{1}{m} \cdot A + m \cdot B$$

где  $A = \frac{W_{comp} L}{V_{рез} g k_{po}}$ ,  $B = \frac{g L_{xx} f_{xx}}{N_{xx}}$  - обобщенные показатели условий эксплуатации

машины.

Определение оптимальной массы плужного снегоочистителя выражается из формулы общего времени цикла путем взятия первой производной и имеет следующий вид:

$$t_{\text{цикла}} = \frac{1}{m} \cdot A + \frac{m^2}{m} \cdot B,$$

$$\frac{\partial t}{\partial m} = 0.$$

В упрощенном виде формула оптимальной массы имеет следующий вид:

$$m = \sqrt{\frac{A}{B}}.$$

Оптимальная масса снегоочистителя определяется исходя из конкретных условий эксплуатации и нормативного времени уборки дорожного полотна.

Оценку эффективности снегоочистителя необходимо определять по технико-эксплуатационным показателям при одинаковой надежности сравниваемых машин. Кроме того, предприятиям, занимающимся снегоуборочными работами, необходима техника с обеспеченным сервисным обслуживанием.

Представленная далее методика будет целесообразна при определении оптимальных технических параметров машин в зависимости от условий эксплуатации. Установленные параметры являются базовыми для выбора из большого числа представленной на рынке дорожно-строительной техники той, которая способна не только выполнять в срок заданную работу с надлежащим качеством, но и с минимальными финансовыми затратами.

Для определения оптимальных параметров показателей эффективности машины используется следующая последовательность:

1. Формирование математической модели рабочего цикла плужного снегоочистителя.
2. Формирование математических моделей показателей эффективности.
3. Оптимизация основных технических параметров машины в зависимости от основного показателя эффективности.
4. Определение максимальных и минимальных значений показателей эффективности.

Методика определения оптимальных параметров плужных снегоочистителей для патрульной снегоочистки дорог в заданных условиях эксплуатации основана на минимизации времени продолжительности рабочего цикла.

Получены аналитические зависимости для определения предельных значений показателей эффективности при оптимальной массе плужного снегоочистителя (Таблица 1).

Таблица 1

Пределные значения показателей эффективности в зависимости от условий эксплуатации

Показатель	Единица измерения
Минимальная продолжительность цикла: $t_{цикла}^{min} = \frac{A + Bm_{онм}^2}{m_{онм}}$	с
Максимальная производительность: $\Pi_{max} = \frac{B_{отвала} \cdot Lm_{онм}}{A + Bm^2}$	м <sup>2</sup> /с
Минимальная удельная материалоемкость: $m_{уд}^{min} = \frac{m_{онм} \cdot (A + Bm_{онм}^2)}{B_{отвала} \cdot Lm_{онм}}$	кг·с/м <sup>2</sup>
Минимальная удельная энергоёмкость: $N_{уд}^{min} = \frac{N \cdot (A + Bm_{онм}^2)}{B_{отвала} \cdot Lm_{онм}}$	Вт·ч/м
Минимальные затраты на использование снегоочистителя: $З_{сн} = \frac{C_{мч} \cdot (A + Bm_{онм}^2)}{3600 \cdot m_{онм}}$	руб·ч
Коммерческий эффект за смену: $\mathcal{E}_{см} = \frac{C_{лм}^2 \cdot T_ч \cdot B_{отвала} \cdot Lm_{онм}}{3600 \cdot (A + Bm_{онм}^2)}$	руб
Минимальная себестоимость единицы продукции: $C_{мин} = \frac{C_{мч} \cdot (A + Bm_{онм}^2)}{B_{отвала} \cdot Lm_{онм}}$	руб·м <sup>2</sup> /ч

**В четвертой главе** представлена методика определения машины с оптимальными параметрами и произведено сопоставление результатов теоретического анализа с экспериментальными данными. Основной целью экспериментальных исследований было определение рациональные условий эксплуатации для выбранных машин при совместном анализе рассчитанных теоретических зависимостей оптимальных параметров снегоочистителей с техническими характеристиками базовых машин, установленных заводом-изготовителем.

Расчет оптимальных параметров снегоуборочных машин проводится на основании анализа и оптимизации продолжительности рабочего цикла снегоочистителей. В результате представлены математические зависимости изменения технических параметров рассматриваемых машин в зависимости от условий эксплуатации.

В процессе выполнения рабочих операций объемная масса снега может изменяться за счет уплотнения снежной массы колесами автомобилей. Это изменение может оказывать влияние на оптимальные параметры машин. Учитывая разность плотностей снежной массы по всей ширине дороге, для определения оптимальных параметров снегоочистителей берется максимально возможная плотность на данном участке.

Коэффициент удельного сопротивления резанию снега выбирается из области наиболее вероятных значений. При расчете используются максимально возможные значения удельных сопротивлений:

$$k_{y\partial} = \{k_{y\partial}^{min}; k_{y\partial}^{max}\}, m_{onm} = f\left(k_{y\partial}^{max}\right).$$

Для максимального значения удельного сопротивления резанию снега рассчитывается оптимальное значение параметра массы машины.

Исходные значения параметров массы снегоочистителей, представленные в технических характеристиках различных заводов-изготовителей машин, при сопоставлении с результатами теоретического расчета должны быть близкими или равными оптимальному значению.

Рассчитанное значение оптимального параметра массы машины сопоставлены с исходными данными технических паспортов базовых машин.

В работе рассмотрена номенклатура современной плужной снегоуборочной техники, представленной на российском рынке. Рассмотренные в работе машины имели различные массы, мощности и размеры, что позволяет применять их в различных условиях эксплуатации. Сравнение полученных результатов проводилось по расчетным максимально приближенным значениям оптимальной массы и максимальной производительности, сопоставленных с техническими параметрами, определенными заводом-изготовителем.

В результате исследования сделан вывод, что из большого разнообразия представленных на рынке плужных снегоуборочных машин при ограничении области их применения физико-механическими свойствами снега с конкретным объемом работ смогут справиться без потери эффективности в минимально короткий срок только определенные модели.

Последовательность выбора оптимального снегоочистителя:

1. Определяется область применения снегоуборочной техники - категория предполагаемой для снегоуборки дороги. Если один снегоочиститель должен удалять снег с различных категорий дорог, то необходимо остановиться на категории с максимально высокими требованиями.

2. Определяется максимально возможное значение удельного сопротивления снега резанию для заданных условий эксплуатации:  $k_{y\partial}^{max}$ .

Данное значение определяется исходя из особенностей региона эксплуатации машин.

3. Согласно разработанной методике рассчитывается оптимальная масса снегоочистителя:  $m_{onm}$ .

4. Рассчитывается минимальное время цикла, за которое снегоочиститель с оптимальными параметрами способен эффективно выполнить работу:  $t_{цикла}$ .

5. По графику и таблицам, содержащим результаты расчетов, выбираем по массе снегоочиститель с параметрами, близкими к оптимальным:  $m \cong m_{опт}$ .

Для сравнения машин одного назначения и оценки их технического уровня определена производительность конкретного характера. Для снегоуборочных машин в зависимости от технических характеристик на основе опыта эксплуатации определена продолжительность выполнения операцией каждой машиной и по этим показателям оценивают их производительность.

Парк снегоуборочной техники представляет собой совокупность снегоуборочных машин и оборудования, предназначенных для очистки дорожного полотна в зимний период, обеспечивающего выполнение технологического процесса по снегоочистке в заданных условиях эксплуатации.

Количество плужных снегоочистителей необходимо подбирать исходя из тяжелых условий эксплуатации: максимально широкой предполагаемой под очистку дороги, удельного сопротивления резанию снега, высоте снежного покрова. Можно выбирать машины, используя сразу несколько условий.

Анализ полученных результатов показал, что при расчете необходимого количества плужных снегоочистителей для данных условий эксплуатации по оптимальным параметрам и расчет количества машин по методикам, не учитывающим рациональные параметры машин, отличаются друг от друга в большие и меньшие стороны.

Если при расчете количество снегоочистителей будет меньше оптимального, то дорожное полотно будет очищено недостаточно эффективно. Это приведет к образованию снежных валов, которые в процессе контакта с колесами автомобилей, либо уплотнятся до образования снежно-ледяного наката, удаление которого в последствие будет более трудоемким, либо при температурах близких к нулю в виде воды растечется по дороге, что также может привести к опасным ситуациям для автомобилистов случае понижения температуры.

Если количество снегоуборочных машин будет больше оптимального, то лишние машины будут создавать дополнительные трудности для движения потока автомобилей, а также холостые пробеги данным машин приведут к дополнительным финансовым потерям предприятия.

В заключении представлены **общие выводы по работе**.

**Приложения** содержат документы об использовании результатов исследований и программного обеспечения, основные направления дальнейших исследований проблем выбора снегоуборочной техники в зависимости от условий эксплуатации.

Выбор оптимального снегоочистителя с заданными параметрами эффективности осуществляется с использованием логической структурной схемы выбора оптимальных параметров машины в зависимости от условий эксплуатации (рис. 4).





Рис.4. Логическая структурная схема выбора оптимального плужного снегоочистителя в зависимости от условий эксплуатации

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ, ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ**

Предложена методика выбора плужного снегоочистителя с оптимальными параметрами для выполнения работ в заданных условиях. Данная методика может быть использована как на существующих предприятиях в качестве рекомендаций по использованию имеющейся техники или для предприятий, которые только планируют начать деятельность, связанную со снегоочисткой.

Из проведенного исследования сделаны следующие выводы:

1) Проведен анализ работы плужного снегоочистителя, разработана методика выбора оптимального плужного снегоочистителя в зависимости от условий эксплуатации. Оптимальный плужный снегоочиститель для заданных условий и значения его основных параметров определяются методами аналитического расчета показателей эффективности.

2) Методика аналитического расчета позволяет установить зависимость показателей эффективности от параметров машины и параметров условий эксплуатации. Показано, что продолжительность времени цикла является важным показателем, определяющим эффективность работы машины.

3) Установлено влияние основных технических параметров машины и параметров условий эксплуатации на эффективность работы плужного снегоочистителя. В заданных условиях эксплуатации параметр массы машины определяет значение продолжительности времени цикла и других технико-эксплуатационных показателей.

4) Оптимальная снегоуборочная машина выбирается по параметру массы, значение которого определяется методами минимизации показателя эффективности – общего времени цикла. Установлено зависимость между параметрами условий эксплуатации и значением оптимальной массы машины. Доказано, что при минимальной продолжительности рабочего цикла с использованием машины с рациональными параметрами достигается максимальная производительность и минимальная стоимость уборочных работ.

5) В случае вероятностного изменения параметров условий эксплуатации необходимо определить область оптимальных значений массы снегоочистителя для вероятных условий эксплуатации.

6) Выполнено сопоставление и анализ результатов аналитического расчета показателей эффективности. В результате установлено, что машины с оптимальной массой выполняют работу с более высокой производительностью и эффективностью.

7) Разработана программа выбора плужного снегоочистителя с использованием алгоритмов определения оптимальных параметров. Выбор снегоочистителя по предложенной методике гарантирует максимальную эффективность выполняемых работ, снижение затрат и увеличение прибыли. Целесообразность использования машины с оптимальными параметрами определяется с учетом требований к производственному процессу.

**Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах, рекомендованных перечнем ВАК:**

1. *Трофимова И.Ф.* Механизированная очистка городских магистралей и аэродромов от свежесвыпавшего снега // Вестник МАДИ. – 2010. - №4 (23). – с.94-100.
2. *Трофимова И.Ф.* Определение оптимального количества плужных снегоочистителей для механизированной очистки городских магистралей и аэродромов от свежесвыпавшего снега // Вестник МАДИ. – 2011. - №1 (24). – с.91-94.
3. *Трофимова И.Ф.* Экономическое обоснование эффективности методики определения оптимального количества снегоуборочных машин для очистки городских территорий от снега и наледи // Вестник МАДИ. – 2011. - №2 (25). – с.50-53.

---

Заказ № 59-Р/10/2013 Подписано в печать 17.10.2013 Тираж 75 экз. Усл. п.л. 1,0

---



ООО "Цифровичок", тел. (495) 649-83-30  
*[www.cfr.ru](http://www.cfr.ru) ; e-mail:[zak@cfr.ru](mailto:zak@cfr.ru)*