

ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ВЗАИМОДЕЙСТВИЮ СНЕЖНОГО ПОКРОВА С РАЗЛИЧНЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ КОММУНАЛЬНЫХ МАШИН

© 2016 Р.Л. Сахапов¹, М.М. Махмутов¹, М.М. Махмутов²

¹ Казанский государственный архитектурно-строительный университет

² Российский государственный аграрный заочный университет

Статья поступила в редакцию 29.03.2016

В статье приведены математические модели по исследованию резания снежного покрова шнековым рабочим органом. Полученные результаты позволили провести сравнительный анализ энергозатрат на перемещение снежного покрова по отвалу и шнекороторному рабочему органу.

Ключевые слова: *снегоуборочная машина, шнекороторный рабочий орган, сила резания, энергозатраты, производительность, движитель*

Исследования резания грунта шнековым рабочим органом, проведенное А.Н. Павлинским, является продолжением работ В.П. Горячкина, В.Д. Абергауза, А.Н. Зеленина, Ю.А. Ветрова и Н.Г. Домбровского [1-5]. Результат, представленный автором в виде выражения (1) явился следствием проведения огромного количества экспериментальных работ. Такой подход к исследованию процесса разрушения снега винтовой лопастью делает полученные результаты достоверными в плане проведения инженерных тяговых расчётов и малопригодными для совершенствования конструкций, так как полученные эмпирические коэффициенты не связаны с реально протекающими в забое процессами разрушения:

$$P_p = \frac{P_a}{C_{\phi}} \cdot k_{\alpha} \cdot k_{\beta} \cdot k_{\gamma} \cdot k_{\lambda}, \quad (1)$$

где P_a – эталонная сила резания ножом с углом навивки лопасти – 30° , углом захвата – 90° , при толщине стружки – $0,01$ м и ширине – $0,1$ м; C_{ϕ} – толщина стружки, соответствующая повороту ножа на угол ϕ по дуге резания; степенной коэффициент, равный – $0,4$; $k_{\alpha} \cdot k_{\beta} \cdot k_{\gamma} \cdot k_{\lambda}$ – эмпирические коэффициенты, зависящие соответственно от угла резания, ширины стружки, угла установки ножа в плане и плотности грунта, характеризующей числом удара ДОРНИИ.

Для уборки снега с поверхности дороги в зависимости от толщины и состояния слоя снега (рыхлый, свежеснеженный, мало- и среднеуплотненный, сильноуплотненный – слежавшийся и обледеневший) применяют рабочие органы различного типа и размера. Для очистки поверхности покрытия и обочин от слоя свежеснеженного и малоуплотненного движением снега толщиной до 10 см используют поворотные в плане отвалы малой кривизны, которые устанавливают на передней подвеске комбинированной дорожной машины (КДМ), базирующейся на автошасси, универсальном пневмоколесном тягаче. Отвал оснащается стальным или резиновым ножом. Последний более долговечен и оказывает меньшее динамическое воздействие на

выступы покрытия. В дополнение к отвалу используют поворотную в плане щетку с капроновым или металлическим (проволочным) ворсом. Для уборки с поверхности покрытия и обочин слоя среднеуплотненного снега толщиной 10 – 30 см применяют пневмоколесные универсальные бульдозеры и автогрейдеры, но наиболее целесообразно применять КДМ на трехосных автошасси со скошенными (специальной формы) отвалами, предназначенными для скоростной (до 40 – 60 км/ч) очистки дорог от снега с отбросом его в сторону на расстояние 4 – 8 м. Ножи таких отвалов – стальные. На этих машинах на правой боковой подвеске устанавливают такой же скошенный боковой отвал, увеличивающий ширину снегоочистки. Трехосное шасси обеспечивает большую продольную устойчивость машины [1]. Для уборки с поверхности дорог сильно уплотненного слоя снега, а также снежных валов большой высоты (до 2 м) необходимо применять шнекороторные или фрезерно-роторные снегоочистители на автошасси, пневмотракторах или специальных пневмоколесных шасси. Удаление наледи при помощи плужного рабочего органа является неэффективным [1]. Таким образом, можно сделать вывод о том, что применение плужных отвалов на снегоуборочной технике на базе колесных машин является эффективным при удалении снега толщиной от $0,1$ до $0,3$ м. При меньшей толщине снежного покрова удаление получается неэффективным в связи с тем, что уровень колебания рабочих органов может превышать общую толщину снежного покрова, а при большей толщине в связи со значительной величиной силы сопротивления происходит потеря управляемости транспортным средством.

Снежный покров на автомагистралях образуется в результате снегопереноса, затем в результате прикатывания выпадающего снега колесами автомобилей, если не обеспечена его своевременная уборка за пределы проезжей части или посыпка противогололедным составом, происходит образование снежного наката. Плотность снежного наката может достигать 500 кг/м³. Величина коэффициента сцепления колеса с покрытием при снежном накате колеблется от $0,15$ до $0,30$ [5]. Плотность же рыхлого снега на проезжей части автомагистралей при снегопадах и снегопереносе во время метелей составляет 100 – 300 кг/м³ [4]. Рыхлый снег удаляют снегоуборочными машинами. При этом энергоёмкость удаления уплотнённого снега на порядок выше, чем рыхлого, поэтому своевременное удаление

Сахапов Рустем Лукманович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Дорожно-строительные машины». E-mail: rustem@sakhapov.ru

Махмутов Марат Мансурович, кандидат технических наук, доцент. E-mail: maratmax@yandex.ru

Махмутов Мансур Магфурович, доктор технических наук, профессор кафедры «Природообустройство и информатика». E-mail: mansur.mahmutov@yandex.ru

свежевыпавшего снега позволяет резко повысить эффективность снегоуборки в целом.

Цель работы: обзор открытых публикаций, появившихся за последние 3 года и выявление основных тенденций развития снегоуборочных машин, формирование нового направления совершенствования конструкции машин, базирующееся на совмещении функций различных механизмов уборочных машин. Данное направление является очень перспективным, т.к. предлагаемые модернизации позволяют исключить из конструкции машины целые механизмы, что приводит к снижению металлоёмкости машины, а следовательно, к снижению удельных энергозатрат на перемещение машины и повышению эффективности уборки снега.

Мощность, расходуемая на разрушение и перемещение снежного массива может быть найдена из выражения:

$$N = (P + P_p) \cdot V$$

Так как винтовой (шнековый) питатель работает совместно с роторным метателем, то естественно, что ряд авторов, таких как В.И. Баловнев [6, 7], Л.Г. Карабан [8] и другие рассматривали движение материальной частицы по лопасти ротора, обладающей различными геометрическими параметрами, с целью определения оптимального угла разгрузки ротора, длины лопасти и минимизации энергозатрат. При этом авторами рассматриваются два случая движения снега по лопасти ротора: в виде не связанных между собой частиц и в виде крупнокусковых образований.

Так как каждый тип подвески характеризуется своей величиной силы трения нижней кромки поверхности отвала по очищаемой поверхности, которая в свою очередь является определяющей в силе сопротивления движения машины (объём удаляемого снега и скорость его уборки, также влияющие на энергоёмкость удаления снега, определяются технологическими, а не конструктивными требованиями к процессу снегоочистки), то для определения рациональных параметров подвески наиболее информативно будет сравнение именно зависимостей относительного объёма удаляемого снега от величины силы трения.

Следует отметить, что исследований влияния колебания рабочего ограничена на энергоёмкость очистки автомобильных дорог до настоящего времени не проводилось. С.Г. Мирзоян в своей работе [10], для оценки влияния параметров снежного покрова на отвал снегоуборочной техники вынуждены прибегать исключительно к экспериментальным исследованиям, даже не предпринимая попытки каким либо образом теоретически обобщить полученные данные. Рядом авторов [11-3] выполнены научно-исследовательские работы, посвящённые разработке расчёта шнекороторного рабочего органа и винтового питателя. Представленный в работах экспериментальный материал и полученные на его основе эмпирические формулы являются значительным вкладом в создание общей теории взаимодействия рабочего органа снегоуборочной машины с разрабатываемой средой. Однако отсутствие связи между эмпирическими коэффициентами и реальными процессами, протекающими между рабочим органом и снегом не позволяют перейти от количественной оценки предлагаемых конструкций к процессу совершенствования процесса удаления снега с поверхности дорог.

Отдельный раздел научных исследований посвящён работе щётчного рабочего органа. Применение щётчного рабочего оборудования приводит к

постоянной деформации режущего и экстрадирующего элемента, отклонение его от кругового движения [13]:

$$M_{кр} = \sum_{i=1}^n (P_{тр}(\varphi_i)(S - y(\varphi_i) \pm Z_{po} \cdot \sin \varphi_i) + P_{рез}(\varphi_i)(S - y(\varphi_i) \pm Z_{po} \cdot \sin \varphi_i), \quad (3)$$

где φ_i – угол поворота элемента ворса, S – его длина, y – величина деформации ворса, Z_{po} – величина вертикальных колебаний рабочего органа.

Для снежного покрова Д.А. Шалман [14] предложил следующую зависимость изменения силы резания от толщины стружки:

$$k_s = \frac{0,7\rho^2 \cdot \sqrt{1+t_{CH}}}{b^{0,4}}, \quad (4)$$

где ρ – плотность снега, t_{CH} – модуль его температуры.

Анализ схемы работы щётки, проведенный А.Р. Пуртовым [12] показал, что для нормальной работы щётчного оборудования должны выполняться два условия: во-первых, обеспечение нагрузки ворса на дорожное покрытие с учётом максимального вертикального перемещения рабочего органа, и во-вторых, обеспечение силы резания в точке где сила резания имеет максимальное значение, а усилие прижатия, наоборот минимально. В математической форме данные зависимости примут вид:

$$P_{допуск} \geq \frac{0,1Ed^4s^6}{(s-y-Z_{po})^8}, \quad (5)$$

$$P_{рез} \leq \frac{0,1f_{mp}Ed^4s^6}{(s-y)^8} \quad (6)$$

где E – модуль упругости материала ворса, d – его диаметр.

Согласно исследованиям В.И. Баловнева [6,7], энергозатраты, связанные с процессом удаления снега щётчным рабочим органом, могут быть определены из выражения:

$$N_{деф.} = \frac{K_{жфтр}}{ds^8} (S - y_k) \omega_{ФР} = P_{тр} \frac{s}{ds} \omega_{ФР}. \quad (7)$$

Начальная скорость отбрасывания смёта:

$$V_c = 1,5\omega \cdot R + 1,6.$$

Дальнейшее развитие получило традиционное направление совершенствование снегоуборочных машин, имеющее целью повышение их производительности. При этом модернизации подвергается не только рабочий орган [10-12, 15], но и движитель [8]. Полученные результаты позволили провести сравнительный анализ энергозатрат на перемещение снежного покрова по отвалу и шнекороторному рабочему органу. Исследовался способ удаления снега шнекороторным рабочим органом [11]. Количество поступающего снега, равно количеству снега перемещаемого за границу забоя. Технология уборки предусматривается, что удаляемый снежный покров представляет собой ровную горизонтальную поверхность, с постоянной глубиной залегания по всей ширине рабочего органа. Результаты расчётов, показаны на рис. 1-3.

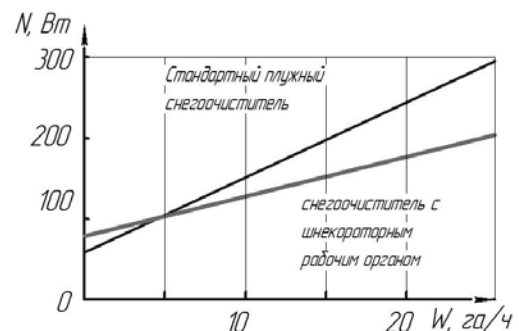


Рис. 1. Изменение мощности перемещения снега по рабочему органу в зависимости от производительности машины

Выводы: продолжается процесс совершенствования существующих и создание новых снегоуборочных машин. Сформировалось новое направление совершенствования конструкции машин, базирующееся на совмещении функций различных механизмов уборочных машин. Предлагаемые модернизации позволяют исключить из конструкции машины целые механизмы, что приводит к снижению металлоёмкости машины, удельных энергозатрат на перемещение машины. Для шнекороторного рабочего органа с увеличением производительности снегоуборочной машины на 10 га/ч мощность перемещения снега по рабочему органу увеличивается на 100 Вт. В зависимости от угла установки шнекороторного рабочего органа мощность перемещения снега не меняется.

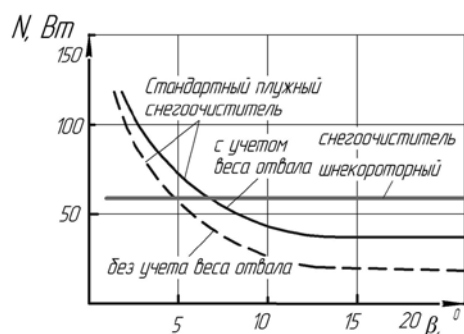


Рис. 2. Изменение мощности перемещения снега, в зависимости от угла установки рабочего органа

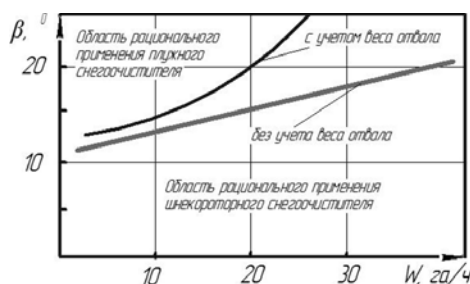


Рис. 3. Влияние угла установки рабочего органа на производительность снегоуборочной машины

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ветров, Ю.А. Разрушение прочных грунтов / Ю.А. Ветров, В.Л. Балдинский, В.Ф. Баранников, В.П. Кукса. – Киев: Будивельник, 1993. 355 с.
2. Горячкин, В.П. Собрание сочинений в трех томах. – М.: Колос, 1965. 384 с.
3. Ганишин, Г.С. Методы оптимизации и решения уравнений. – М.: Наука, 1987. 28 с.
4. Домбровский, Н.Г. Землеройно-транспортные машины / Н.Г. Домбровский, М.И. Гальперин. – М.: Машиностроение, 1985. 397 с.
5. Зеленин, А.Н. Основы разрушения грунтов механическим способом. – М.: Машиностроение, 1988. 421 с.
6. Баловнев, В.И. Коммунальная техника. – М.: Машиностроение, 2002. 176 с.
7. Баловнев, В.И. Дорожно-строительные машины и комплексы: учебник. 2-изд., перераб. и допол. Под ред. В.И. Баловнева // В.И. Баловнев, Г.В. Кустарёв, Е.С. Локишин и др. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2001. 528 с.
8. Карабан, Г.Л. Машины для содержания и ремонта автомобильных дорог и аэродромов / Г.Л. Карабан, В.И. Баловнев, И.А. Засов. – М.: Машиностроение, 1990. 368 с.
9. Леошенко, В.И. Взаимодействие острого прямого ножа с грунтом в процессе заглабления / В.И. Леошенко, К.А. Артемьев. – Омск: изд-во СибАДИ, 1984. 19 с.
10. Мирзоян, С.Г. Повышение эффективности скоростных плужных снегоочистителей. Дисс. на соиск уч. степени канд. техн. наук. – М.: МАДИ, 1999. 225 с.
11. Патент на полезную модель № 155623 РФ, МПК E01H 1/00. Снегоуборочная машина // Р.Л. Сахапов, М.М. Махмудов, Т.Р. Габдуллин и др. Заяв. 26.01.2015; – опубл. 10.10.2015. Бюл. № 28. 2 с.
12. Пуртов, А.Р. Выбор конструктивных параметров рабочего органа для удаления снежных накатов и льда с бетонных покрытий. Дис...канд.тех.наук – Н. Новгород, 2002. 191 с.
13. Собенин, Л.А. Дорожные машины: теория, конструкция и расчет: учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1976. 304 с.
14. Шалман, Д.А. Очистка дорог от снега / Д.А. Шалман, А.И. Иванов, Г.В. Бялбжеский. – М.: Транспорт, 1982, 319 с.
15. Сахапов, Р. Интеграционные процессы как основа технологического форсайта в дорожно-строительной отрасли / Р. Сахапов, С. Абсалямова // Механизация строительства. 2015. №8 (854). С. 59-61.

REVIEW OF RESEARCHES ON INTERACTION OF SNOW COVER BY VARIOUS WORKING BODIES OF UTILITY MACHINES

© 2016 R.L. Sakhapov¹, M.M. Makhmutov¹, M.M. Makhmutov²

¹ Kazan State Architectural and Construction University

² Russian State Agricultural Correspondence University

Mathematical models on research the cutting of snow cover by screw working body are given in article. The received results have allowed to carry out the comparative analysis of energy consumption on movement of snow cover on a dump and screw working body.

Key words: snowplow, screw working body, cutting force, energy consumption, productivity, propeller

Rustem Sakhapov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department "Road Contruction Machines". E-mail: rustem@sakhapov.ru; Marat Makhmutov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. E-mail: maratmax@yandex.ru; Mansur Makhmutov, Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department "Environmental Engineering and Informatics". E-mail: mansur.mahmutov@yandex.ru

Сдано в набор 17.10.2011 г.

Подписано к печати 08.11.2011 г.

Формат бумаги 60х80%.

Офсетная печать. Усл.печ. л. 28,3. Усл.кр-отт. 24,84 тыс. Уч-изд.л. 27,0 Тираж 300 экз. Зак.

Учредители: Самарский научный центр Российской академии наук, Президиум СамНЦ РАН

Адрес издателя: 443001, Самара, Студенческий пер., 3а
Отпечатано в типографии СамНЦ РАН. 443001, Самара, Студенческий пер., 3а