

УДК 629.3

Ю.В. Кошелев, Л.С. Левшунов, Ю.И. Молев

УСИЛИЕ НА РАБОЧЕМ ОРГАНЕ СНЕГОУБОРОЧНОЙ МАШИНЫ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА КАЧЕСТВО УДАЛЕНИЯ СНЕГА С ОЧИЩАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Статья посвящена вопросам моделирования движения кромки отвала по очищаемой поверхности дороги под действием силы тяги, развиваемой базовой машиной, массы отвала и силы сопротивления со стороны снега.

Ключевые слова: дорога, снег, плужный отвал, усилия, качество очистки.

Величина аварийности на дорогах Российской Федерации не может быть признана удовлетворительной. Несмотря на то, что в нашей стране действует то одна, то другая государственная программа по снижению количества пострадавших на дорогах, кардинального изменения ситуации добиться не удалось. Поэтому разработка комплекса мероприятий, позволяющего на определённом этапе снизить риск попадания в ДТП, является актуальной научно-практической задачей. Анализ причин возникновения аварий показывает, что важнейшее место в развитии дорожно-транспортной ситуации занимает состояние дорожного покрытия. Уменьшение сцепления колеса с дорогой вследствие наличия на ней уплотнённого снега или льда приводит к увеличению тормозного пути и безопасного радиуса поворота в 3-9 раз. Снежные заносы вдоль дороги снижают видимость и могут уменьшать используемую ширину проезжей части дороги. Кроме того, наличие колеи, выбоин, ямочности и других неровностей на дорогах, покрытых снежным или ледяным накатом, может привести к потере водителем контроля над траекторией движения и управляемостью автомобиля.

По данным ГИБДД РФ около 20% аварий происходит по причине неблагоприятных дорожных условий и из них более 70% (15% от общего числа ДТП) приходится на заснеженные дорожные покрытия, 5% на дорожные покрытия, частично покрытые снегом или льдом и 1% на покрытия, которые по другим причинам были скользкими.

Одним из основных путей повышения безопасности дорожного движения на таких дорогах является удаление снега плужными рабочими органами.

Удаление снега, находящегося на поверхности автомобильных дорог, плужным рабочим органом имеет ряд особенностей, обусловленных физико-механическими свойствами льда, снега и дорожной одежды, кинематическими параметрами рабочего процесса и расположения рабочего органа относительно снежно-ледяного покрова в процессе его удаления. Весь процесс удаления снега можно разделить на два относительно независимых процесса: взаимодействие рабочего органа со снегом и льдом и взаимодействие рабочего органа с асфальтобетонной поверхностью. Причём параметры рабочего органа и режимы его эксплуатации в обоих случаях взаимодействия будут идентичны. Целью исследований, описываемых в данной работе, является определение таких параметров подвески плужного рабочего органа и его режимов работы, при которых достигается максимально эффективное удаление снежно-ледовых образований с поверхностей дорог при безусловном соблюдении целостности дорожной одежды.

Результаты многочисленных исследований однозначно указывают на то, что наиболее сложным с точки зрения разрушения является уплотнённый снег, имеющий прочность при температуре 0°С до 0,86 МПа и величину адгезии к бетонной поверхности до 1 МПа. Все остальные образования рыхлого снега (свежевывающего, экскавационно-разрушенного, ме-

телевого и др.) обладают значительно меньшей стойкостью к механическому разрушению. Наиболее вероятно образование уплотнённого снега высотой 0,01-0,03 метра, а в некоторых случаях и до 0,1 м. Образование более значительных отложений возможно только при значительных перерывах в обслуживании очищаемой поверхности. В общем виде схема сил, действующих на рабочий орган в процессе удаления снега, показана на рис. 1.

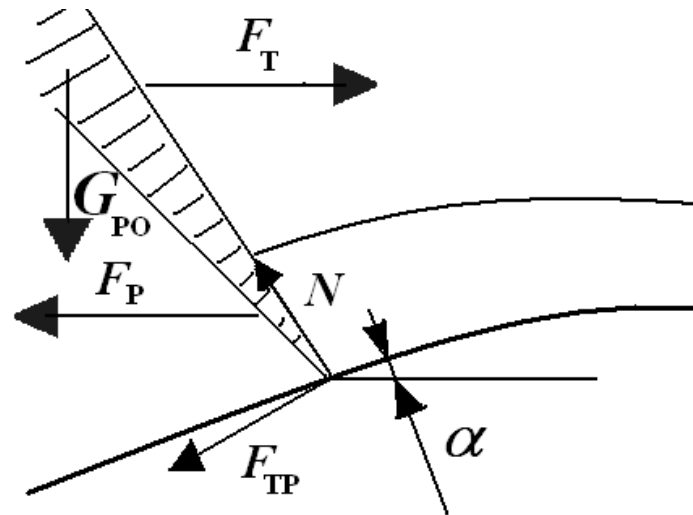


Рис. 1. Схема сил, действующих на рабочий орган при удалении снежного покрова

При равномерном движении автомобиля проекция всех сил на горизонтальную ось должна равняться 0, тогда проекция суммы сил на вертикальную ось примет вид:

$$G_{PO}g + F_{TP} \sin \alpha - N \cos \alpha = F_{\Sigma}^V; \quad \text{или:} \quad G_{PO}g + N(f \sin \alpha - \cos \alpha) = F_{\Sigma}^V. \quad (1)$$

Следует отметить, что на процесс взаимодействия отвала с очищаемой поверхностью будет оказывать влияние и такой параметр, как способ установки отвала, а именно расстояние от шарнира до режущей кромки (см. рис. 2). В дополнение к использованным обозначениям на рисунке обозначены: z_{III} - вертикальное перемещение упряжного шарнира; z_{PO} - искомое перемещение режущей кромки рабочего органа; N_y - вертикальная составляющая реакции режущей кромки на очищаемую поверхность; l_4 - расстояние от горизонтальной оси упряжного шарнира до горизонтальной оси режущей кромки.

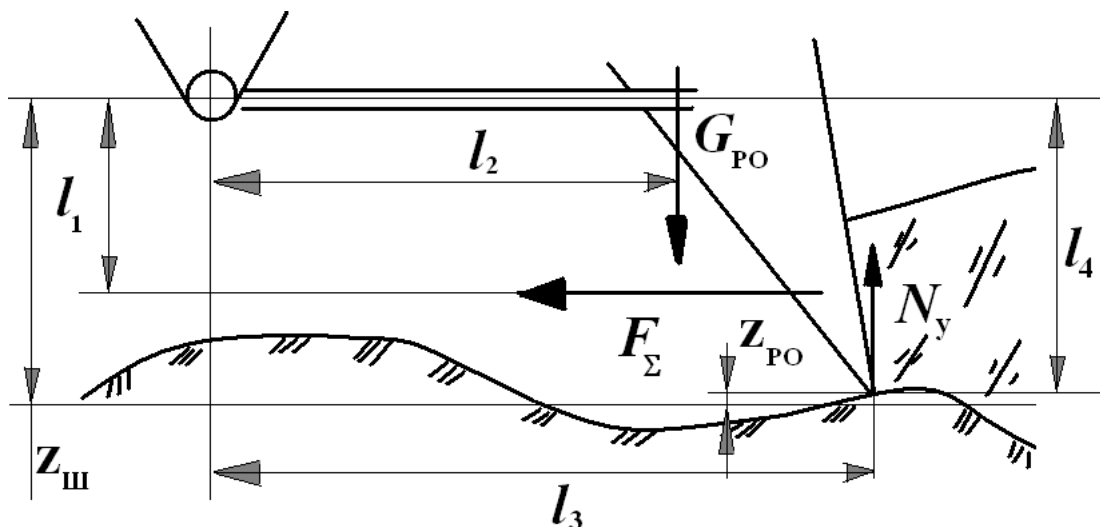


Рис. 2. Схема сил, действующих на отвал, шарнирно закреплённый на снегоуборочной машине

Из представленной схемы видно, что не вся масса рабочего органа участвует в прижатии рабочего органа к очищаемой поверхности. Действительную величину прижатия можно определить, составив уравнение моментов вокруг упряжного шарнира:

$$G_{PO}l_2 \cos \alpha_1 \pm F_{\Sigma}^X l_1 - N_Y l_3 \cos \alpha_1 = 0, \quad (2)$$

где α_1 – угол наклона отвала относительно упряжного шарнира, равный $\arccos \frac{z_{III} - z_{PO}}{l_4}$.

Знак \pm показывает разницу в характере движения отвала при расположении упряжного шарнира до и после режущей кромки. Изменение усилия прижатия $\Delta N/N_Y$ можно определить, спроектировав все силы на вертикальную ось: $\Delta N + N_Y = G_{PO}$, тогда уравнение 2 может быть записано в виде:

$$G_{PO} = \frac{N_Y l_3 \cos \alpha_1 \pm F_{\Sigma}^X l_1}{l_2 \cos \alpha_1}. \quad (3)$$

С учётом того, что $N_Y = G_{PO}(g + z'')$, дифференциальное уравнение движения рабочего органа примет вид:

$$G_{PO}l_2 = G_{PO}l_3 + G_{PO}l_3 \frac{z''_{PO}}{g} \pm F_{\Sigma}^X \frac{l_1}{l_4} (z_{III} - z_{PO}) \quad (4)$$

или:

$$z''_{PO} = g \left(\frac{l_2}{l_3} \pm \frac{F_{\Sigma}^X}{G_{PO}} \frac{l_1}{l_3} \frac{z_{III} - z_{PO}}{l_4} - 1 \right). \quad (5)$$

Суммарная горизонтальная сила состоит из силы тяги, развиваемой машиной, усилия резания снега и силы трения отвала по очищаемой поверхности (см. рис. 2). Величина этой силы может быть найдена из уравнения:

$$F_{\Sigma}^X = \varphi \frac{G_{CM}}{G_{PO}} - F_P - ftg \left(-A \left(\frac{v_{PO}}{l} \right) \sin \left(\frac{v_{PO}}{l} t \right) \right) - f \frac{F_P}{G_{PO}} \sin \left(\frac{v_{PO}}{l} t \right), \quad (6)$$

где φ – коэффициент сцепления колёс автомобиля с дорогой, f – коэффициент трения между отвалом и очищаемой поверхностью, G_{CM} – вес снегоуборочной машины, v_{PO} – скорость движения рабочего органа, A – половина амплитуды колебаний очищаемой поверхности, l – длина волны колебания очищаемой поверхности.

Разрушение льда и снега плужным рабочим органом осуществляется при помощи двух относительно независимых движений плуга – вертикального и горизонтального.

Приведённые формулы справедливы для условий взаимодействия рабочего органа со снежным покровом постоянной толщины. При этом во многих работах установлено, что форма и размер снега на дорогах определяются формой и размером препятствий и их ориентацией по отношению к направлению ветра. Рихтер [6], классифицируя заносы, выделил две общие группы: снежные барханы (заносы, имеющие в плане форму полумесяца), образующиеся под действием сильных порывистых ветров, и снежные волны, формирующиеся под действием умеренных ветров, способных, однако, переносить огромные массы рыхлого снега. Форма и размер не попадающих в эти две группы заносов могут сильно меняться. Типичные формы заносов, образующихся при наличии нескольких основных типов препятствий. У основания вертикальной стенки, перпендикулярной ветровому потоку, образуется выемка. В результате завихрений снег выдувается из выемки и откладывается на участках по направлению движения ветрового потока. С подветренной стороны вертикальной стенки обычно об-

разуется снежный карниз и снежный надув. Сходная форма отложений образуется при наличии узкой гряды с крутым подветренным склоном; противоположный эффект наблюдается при наличии крутого наветренного склона.

Горизонтальные размеры заносов, образующихся с подветренной стороны низких препятствий, могут более чем в 10 раз превышать высоту этих препятствий. Вблизи препятствий высотой до 2 м высота заносов возрастает прямо пропорционально их высоте. При наличии более высоких препятствий, возвышающихся над насыщенным снегом ветровым потоком, эта связь нарушается, и увеличение размеров заносов с ростом высоты препятствий становится менее выраженным. Если высота препятствия достаточна для того, чтобы оно не было погребено под формирующимися во время метелей заносами, то заносы растут до определенной высоты.

При отсутствии на дорогах и поверхностях аэродромов значительных препятствий характер распределения снега принято описывать выражением[5]:

$$\Delta_i(l) = 0,25 \sin(20vl). \quad (7)$$

Тогда уравнение 5 с учётом уравнения 7, а также уравнений, применявшихся в работах В.Ф. Кулепова, А.Р. Пуртова, С.Ю. Маленкова, А.М. Соколова [1,2,5], позволяющих оценить усилие разрушения снежного покрова приобретёт вид:

$$z_{PO}'' = \left(\frac{l_2}{l_3} \cos\left(\sin\left(\frac{v_{PO}}{l} t\right)\right) - 1 \right) g \pm \frac{F_{\Sigma} \left(h_c + A_1 \cos\left(\frac{v_{PO}}{l'} t\right) - z_{PO} + A \cos\left(\frac{v_{PO}}{l} t\right) \right)^{0,47} + G_{CM} \frac{dv}{dt}}{G_{PO}} \times \quad (8)$$

$$\times \operatorname{tg}\left(-A \left(\frac{v_{PO}}{l}\right) \sin\left(\frac{v_{PO}}{l} t\right)\right) \frac{l_1}{l_3 \cos \alpha_1},$$

где F_{Σ} – эквивалентное усилие резания уплотнённого снега равное его жёсткости, h_c – высота снежного покрова, а A_1 – амплитуда его колебаний по высоте, а l' – длина одного периода колебаний. Решение данного уравнения в зависимости от толщины удаляемого экскавационно-разрушенного снежного покрова показано на рис. 3. Полученные данные свидетельствуют, что наличие или отсутствие слоя свежеснежавшего или экскавационно-разрушенного снега практически не оказывает влияния на качество снегоочистки.

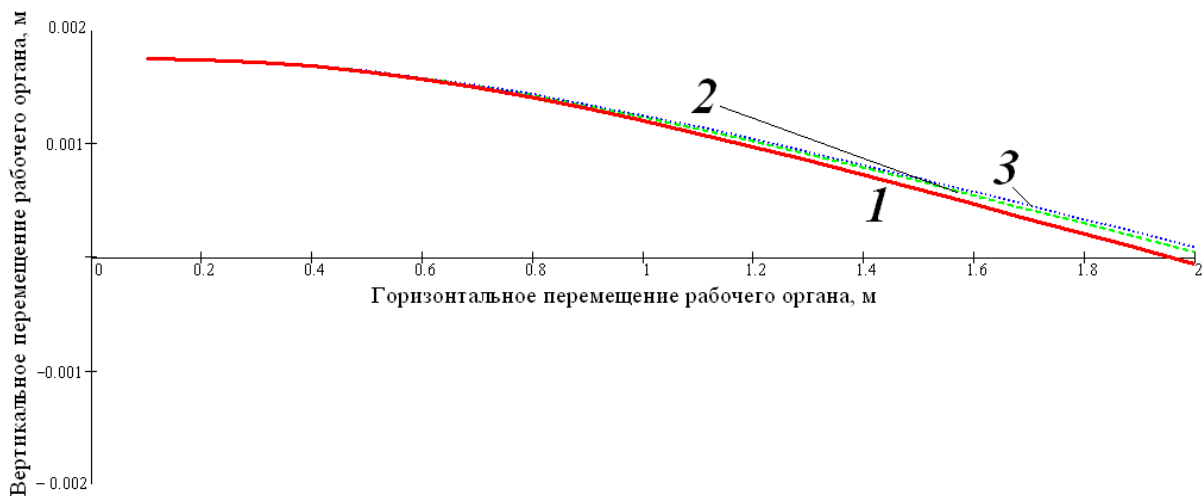


Рис. 3. Влияние толщины рыхлого снежного покрова на качество очистки дороги:

1 – при отсутствии снега на дороге; 2 – при толщине слоя снега, равной 0,1 м;

3 – при толщине снежного покрова, равной 0,2 м

Следует отметить, что при расположении упряжного шарнира позади режущей кромки, все силы будут стремиться придать ускорение режущей кромки рабочего органа вниз. При этом высота действия суммарной силы сопротивления останется прежней (или даже сместится вниз за счёт возрастания силы трения отвала об очищаемую поверхность), расстояния между упряжным шарниром и центром масс отвала и его режущей кромкой уменьшатся пропорционально друг другу. Тем самым, в результате заглубления отвала силы, стремящиеся к его заглублению, только увеличатся (см. уравнение 5), что только ускорит его заглубление, которое будет продолжаться до того момента, пока сила сопротивления движению не превысит силу тяги снегоуборочной машины, что вынудит её остановиться. Следует признать, что применение упряжного шарнира позади режущей кромки рабочего органа можно допустить, если перемещение отвала вниз ограничено подстилающей поверхностью, внедрение в которую рабочему органу невозможно и максимальная величина силы сопротивления перемещения рабочего органа меньше силы тяги, развиваемой транспортным средством. Максимальная величина силы сопротивления перемещению отвала в данном случае может быть получена из уравнения, частично полученного с использованием результатов работы [5]:

$$F_{\Sigma MAX}^X = K_{Ж}((h_c + A)^{0,47})B(1 + 0,1v_{PO}) \left[\sqrt{\alpha_P} \left(\frac{0,35}{\sin^2 \alpha_P} + \frac{0,35}{\cos \alpha_P} \right) + fG_{PO} \frac{l_2}{l_3} \frac{z_{ПОМАХ}''}{g} \right], \quad (9)$$

где B – ширина отвала, а α_P – действительный угол резания, равный сумме конструктивного угла резания α_K и угла наклона отвала α_1 . Исходя из того, что минимальное усилие резания достигается при угле резания, равно 45° (0,8 рад) [5], то уравнение 9 может быть переписано в виде:

$$F_{\Sigma MAX}^X = K_{Ж}((h_c + A)^{0,47})B(1 + 0,1v_{PO}) \left[\sqrt{0,8 + \alpha_1} \left(\frac{0,35}{\sin^2(0,8 + \alpha_1)} + \frac{0,35}{\cos(0,8 + \alpha_1)} \right) + fG_{PO} \frac{l_2}{l_3} \frac{z_{ПОМАХ}''}{g} \right]. \quad (10)$$

Тогда минимально возможное усилие на рабочем органе может быть найдено из уравнения:

$$F_{\Sigma MIN}^X = K_{Ж}((h_c - A - Z_{PO})^{0,47})B(1 + 0,1v_{PO}). \quad (11)$$

Уравнение изменения усилия на рабочем органе тогда может быть аппроксимировано выражением:

$$F = F_{\Sigma C}^X + A_F \cos\left(\frac{v_{PO}}{l} t\right), \quad (12)$$

где A_F – амплитуда колебания усилия на рабочем органе, а $F_{\Sigma C}^X$ – среднее значение усилия на рабочем органе, которые могут быть найдены из следующих уравнений:

$$F_{\Sigma C}^X = 0,5(F_{\Sigma MAX}^X + F_{\Sigma MIN}^X); \quad \text{и} \quad A_F = 0,5(F_{\Sigma MAX}^X - F_{\Sigma MIN}^X). \quad (13)$$

В случае, если усилие прижатия рабочего органа происходит не под действием его массы, а прижимается к очищаемой поверхности гидравлически (отличительной особенностью тако-

го прижатия является наличие сопротивления перемещению от скорости изменения положения), то уравнение 8 примет вид:

$$z''_{PO} = \left(\frac{l_2}{l_3} \cos\left(\sin\left(\frac{v_{PO}}{l} t\right)\right) - 1 \right) g \pm \frac{F_D(h_c + A_1 \cos\left(\frac{v_{PO}}{l} t\right)) - z_{PO} + A \cos\left(\frac{v_{PO}}{l} t\right)^{0,47} + G_{CM} \frac{dv}{dt}}{G_{PO} + \left(\left(\frac{G_{PO}}{g} \operatorname{tg}(\beta_0 + 2 \operatorname{arctg} \frac{z_{PO}}{l_2}) \frac{l_5}{l_2} \frac{d^2 z_{PO}}{dt^2} + G_{PO} \left(\frac{\pi d}{8} \frac{9v_{ш}}{p_K} + 0,44 \sqrt{R_a} \sqrt{\frac{p_K}{HB}} + \frac{\tau_0}{p_K} + \Omega \right) + 0,25 P_1 D^2 \pi \right) \cos(\beta_0 + 2 \operatorname{arctg} \frac{z_{PO}}{l_2}) \right) \frac{l_5 \sin(\beta_0 + 2 \operatorname{arctg} \frac{z_{PO}}{l_2})}{l_2}}{\times \operatorname{tg}\left(-A \left(\frac{v_{PO}}{l}\right) \sin\left(\frac{v_{PO}}{l} t\right)\right) \frac{l_1}{l_3 \cos \alpha_1}}. \quad (14)$$

Решение данного уравнения и сравнение полученных результатов показано на рис. 4.

Анализ полученных зависимостей позволил установить, что максимально возможный уровень колебаний усилий между максимальным и минимальным усилием возможно получить при удалении слоя снега, толщина которого не превышает высоту максимального перемещения рабочего органа от очищаемой поверхности Z_{PO} , определяемую из выражения 5. С ростом высоты снежного покрова уровень колебаний рабочего органа снижается. Рабочий орган с гидравлическим прижатием, отличительной особенностью которого является наличие сопротивления перемещению от скорости изменения положения, обеспечивает значительно более качественную очистку поверхности дороги, чем рабочий орган, использующий в качестве прижатия только свой вес.

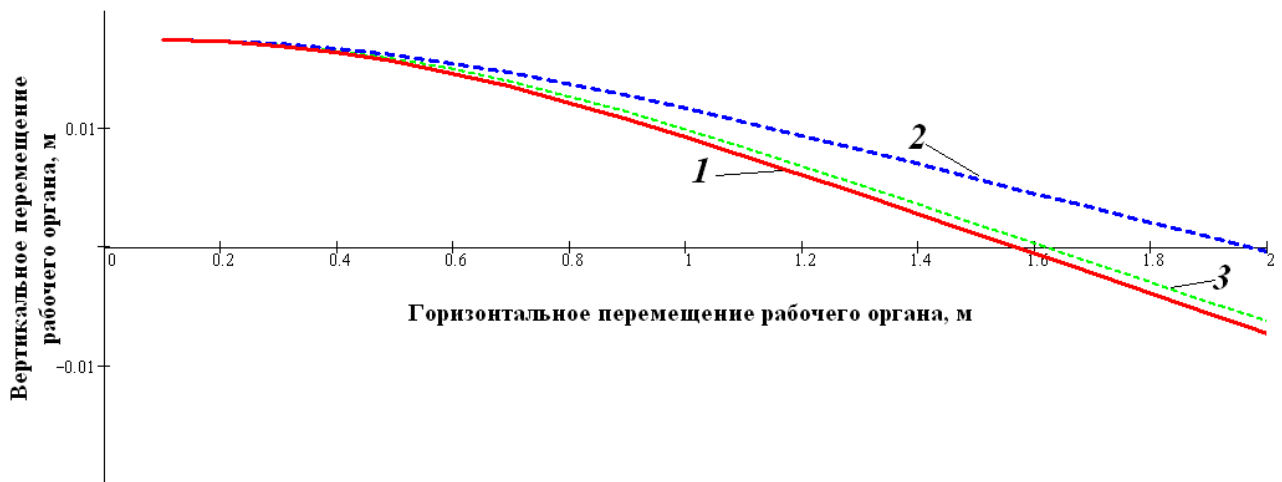


Рис. 4. Влияние усилия прижатия рабочего органа гидравлической системой на качество очистки дороги;

1 – очищаемая поверхность; 2 – траектория движения рабочего органа без гидравлического прижатия; 3 – траектория движения рабочего органа с гидравлическим прижатием

Библиографический список

1. **Молев, Ю.И.** Обеспечение дорожной безопасности автомобильного транспорта в зимний период: дисс. ... д-ра тех. наук: 05.22.10. – Владимир, 2007. – 402 с.
2. **Маленков, С.Ю.** Выбор рациональных параметров рабочего органа интенсификационного действия для удаления свежесвыпавшего снега: дисс. ... канд. тех. наук: 05.05.03. – Н. Новгород, 2003. – 238 с.
3. **Беляков, В.В.** Обобщающая математическая модель разрушения слоистой среды / В.В. Беляков

- [и др.] // Известия академии инженерных наук им. А.М. Прохорова. «Транспортно-технологические машины и комплексы» – Москва – Нижний Новгород: 2006. Т. 16. С. 33–39.
4. **Куклина, И.Г.** Повышение точности расчёта движения плужного отвала по очищаемой поверхности / И.Г. Куклина, Ю.В. Кошелев, И.А. Тютнев // Строительные и дорожные машины. – М., 2011. № 9.
 5. **Пуртов, А.Р.** Выбор конструктивных параметров рабочего органа для удаления снежных накатов и льда с бетонных покрытий: дисс. ... канд. тех. наук 05.05.04. – Н. Новгород, 2002. – 191 с.
 6. **Рихтер, Г.Д.** Снег и его использование / Г.Д. Рихтер. – М.: Знание, 1960. – 754 с.

*Дата поступления
в редакцию 30.11.2013*

Yu.V. Koshelev, L.S. Levshunov, Yu.I. Molev

EFFORT ON WORKING BODY AND THE SNOWPLOW AND ITS INFLUENCE ON QUALITY OF REMOVAL OF SNOW FROM THE CLEARED SURFACE

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Purpose: to develop to questions of modeling of movement of an edge of a dump on a cleared surface of the road under the influence of force of the draft developed by basic car, the weight of a dump and resistance force from snow.

Design/methodology/approach: All process of removal of snow can be divided into two rather independent processes. Interaction of working body with snow and ice and interaction of working body with an asphalt concrete surface.

Findings: such parameters of a suspension bracket of the plow worker of body and its operating modes at which the most effective removal of snow and ice educations from surfaces of roads is reached at unconditional observance of integrity of road clothes are determined.

Research limitations/simplifications: results of numerous researches unambiguously specify that the most difficult from the point of view of destruction are the condensed snow, having durability at a temperature of 0⁰ C to 0,86 MPa and adhesion size to a concrete surface to 1 MPa. All other formations of friable snow (svezhevypavshy, ekskavatsionno - destroyed, metelevy) possess considerably smaller resistance to mechanical destruction.

Originality/value: The working body with the hydraulic pressing, which distinctive feature is existence of resistance to movement from the speed of change of situation provides considerably better cleaning of a surface of the road, than the working body using as pressing only weight.

Key words: road, snow, plow dump, efforts, quality of cleaning.