

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2018, №6, Том 10 / 2018, No 6, Vol 10 <https://esj.today/issue-6-2018.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/13SAVN618.pdf>

Статья поступила в редакцию 25.10.2018; опубликована 14.12.2018

Ссылка для цитирования этой статьи:

Алешков Д.С., Суковин М.В. Модель формирования снежных валов при работе фрезерно-роторного снегоочистителя // Вестник Евразийской науки, 2018 №6, <https://esj.today/PDF/13SAVN618.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Aleshkov D.S., Sukovin M.V. (2018). The model of the formation of snow piles at work milling and rotary snowblower. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 6(10). Available at: <https://esj.today/PDF/13SAVN618.pdf> (in Russian)

УДК 625.76

ГРНТИ 55.01.77

Алешков Денис Сергеевич

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет», Омск, Россия
Доцент кафедры «Техносферная и экологическая безопасность»
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: denisaleshkov@mail.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=257853

Суковин Михаил Владимирович

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет», Омск, Россия
Доцент кафедры «Техносферная и экологическая безопасность»
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: sukovin_8@mail.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=822659

Модель формирования снежных валов при работе фрезерно-роторного снегоочистителя

Аннотация. Процесс удаления снежного покрова приводит к перераспределению снежной массы, которая в свою очередь вызывает образование снежных валов и влияет на последующую производительность работы снегоочистителя. Целью данной работы является выявление зависимостей изменения роста толщины снежного покрова, вызванного отбросом снежной массы, при удалении снега с очищаемой поверхности фрезерно-роторным снегоочистителем при его многократных проходах. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: определялись параметры технологического процесса работы фрезерно-роторного снегоочистителя, влияющие на перераспределение удаляемого снежного покрова; была составлена расчетная схема формирования снежного вала и изменения его толщины в зависимости от числа проходов; осуществлялось математическое моделирование определения толщины снежного вала в зависимости от числа проходов фрезерно-роторного снегоочистителя. В статье представлена расчетная схема перераспределения удаляемого снежного покрова и вывод уравнений изменения толщины снежного покрова при работе фрезерно-роторного снегоочистителя при отбросе снежной массы в сторону в зависимости от параметров фрезерно-роторного снегоочистителя, параметров технологического процесса и количества проходов, выполненных фрезерно-роторным снегоочистителем в процессе очистки. В результате расчетов было установлено, что толщина снежного покрова в поперечной плоскости имеет нелинейную зависимость от количества проходов фрезерно-роторного

снегоочистителя и чем больше разброс и дальность отброса снега, тем медленнее растёт толщина снежного покрова и соответственно снегоочиститель одной типоразмерной группы сможет очистить большую поверхность. Полученные зависимости позволяют осуществлять выбор типоразмерной группы фрезерно-роторных снегоочистителей в зависимости от очищаемой площади.

Ключевые слова: фрезерно-роторный снегоочиститель; дальность отброса; снежная масса; метательный аппарат; снежный вал; толщина снежного покрова; процесс очистки

Введение

В работах [1, 2] представлены результаты исследований динамики изменения интенсивности и суммы снежного и ледяного покровов. Так в работе [1] представлены результаты исследований изменений интенсивности и массы осадков холодного периода за 1950-2006 гг. на территории России и влияние этих изменений на условные расходы на уборку снега с городских магистралей.

В [1] отмечается общая тенденция к увеличению количества снега на территории России, при этом число слабых снегопадов в 1989-2006 гг. по сравнению с 1950-1980 гг. значительно уменьшилось на большей части страны, а количество снегопадов средней интенсивности (от 2 до 5 мм/сут.) в 1989-2006 гг. по сравнению с 1950-1980 гг. значительно увеличилось в восточной части Русской равнины, в северо-восточной части Западной Сибири, на западе и юге Якутии, а также в районе Барабинской низменности.

Картина распределения изменений числа снегопадов интенсивностью более 5 мм/сут. в 1989-2006 гг. по сравнению с 1950-1980 гг. практически аналогична изменению количества осадкохолодного периода, также наблюдаются статистически значимые максимумы роста на востоке Восточно-Европейской равнины, в Западной Сибири и в районе Анадыря, а очаги сокращения – на остальной части севера Восточной Сибири.

В Москве и Ханты-Мансийске наблюдается рост условных расходов на уборку магистралей от снега, связанный с интенсивным развитием этих городов. В Санкт-Петербурге и Петропавловске-Камчатском условные расходы на уборку снега сокращаются (без учёта зим 2009-2011 гг.). В этих городах существенную роль в изменении данного экономического показателя сыграл метеорологический фактор. В Санкт-Петербурге в 1980-х годах он преобладал над социально-экономическим фактором роста населения города. В Пскове наблюдалась тенденция роста расходов на уборку снега до конца 1980-х годов и их дальнейшая стабилизация, что связано с сокращением численности населения, прекращением роста протяжённости магистралей и слабыми изменениями в числе снегопадов.

Первоочередной задачей при снегопаде является оперативное удаление снежного покрова с поверхностей дорожных покрытий, что предотвратит его уплотнение с последующим появлением снежно-ледяного образования [3].

В работе [4] выявлены две принципиальные схемы взаимодействия элементов снегоуборочной и другой техники: последовательную и параллельную. В настоящее время при проведении уборки городских территорий используют комбинированную схему взаимодействия элементов, включающую как последовательное, так и параллельное взаимодействие.

Для определения рационального состава техники, задействованного в уборке городских территорий, согласно [4] необходимо произвести дифференциацию технологии уборки по выполняемым операциям, что позволит учесть не только время на технологические операции, но и затраты на их проведение. Приведена математическая модель, по определению

оптимального состава, которая является моделью задачи линейного программирования [5], где целевая функция зависит от: расстояния, пройденные каждым снегоочистителем за время уборки, км; технической скорости соответствующего типа снегоочистителей; ширины рабочего органа соответствующего типа снегоочистителей; площади убираемой территории и затрат, зависящих от времени эксплуатации, выраженных в денежном эквиваленте для соответствующего типа снегоочистителей.

В работах [6] даны рекомендации¹ по проведению снегоочистных работ. В работе² представлена зависимость по определению количества машин для уборки снега. В [6] представлены зависимости по определению «оптимальной массы» снегоуборочной машины для уборки определенной территории в конкретные сроки для конкретных климатических условий с последующим определением оптимального количества техники из условия максимальной производительности и минимального времени проведения снегоочистных работ.

В работе [7], выполнен подбор машин для содержания дорог по показателю эффективности, производительности и качеству.

Однако при этом не уделяется достаточного внимания вопросу удаления снежного покрова с очищаемой территории без дальнейшей его утилизации. В таком случае наблюдается образование снежного вала на обочине, который в дальнейшем может служить источником формирования снежных наносов [8]. Физико-механические характеристики снега изменяются в таких условиях, что приводит к изменению нагрузок, возникающих при дальнейшем взаимодействии рабочих органов машин и механизмов со снегом [9]. В работе [10], представлена двумерная численная модель движения и формирования снежных наносов в окрестностях преграды с учетом фрикционных характеристик снежной массы и скорости ветра.

Одним из критериев эффективности фрезерно-роторного снегоочистителя (далее ФРС) является дальность отброса снежной массы, зависимости определения которой представлены в [11, 12, 13].

По данным [11, 12, 13] дальность отброса снежной массы существенно зависит от класса ФРС, так для ФРС с мощностью двигателя до 10 кВт составляет от 5 до 10 м, а для снегоочистителей с мощностью двигателя более 100 кВт уже достигает порядка 50 м.

В работе [13] указывалось на необходимость учета и такого показателя, как ширина разброса снежной массы, которые оказывают непосредственное влияние на образование снежных валов вдоль края убираемой поверхности, что непосредственно влияет на скорость уборки и производительность ФРС.

Геометрия очищаемой поверхности и организация окружающего пространства во многом определяют технологический процесс работы ФРС (см. рисунок 1). Кроме этого, при уборке достаточно больших открытых пространств, распределение отброшенной снежной массы определяет пределы эффективной работы снегоочистителя [14]. Соответственно, представляет определенный интерес выявление зависимости толщины формируемого снежного покрова при отбросе снежной массы от дальности ее отброса и разброса отброшенной снежной массы.

¹ Автомобильные дороги и мосты; противогололедные материалы для борьбы с зимней скользкостью на автомобильных дорогах и городских улицах: обзорн. информ. / Информавтодор. – М., 2006. – Вып. №4.

² Методические рекомендации по защите и очистке автомобильных дорог от снега. – М.: Росавтодор, 2008.

Основная часть

При работе ФРС снежная масса отбрасывается в сторону, может осуществляться и погрузка в транспортное средство. Непосредственно отброс в сторону представляется в ряде случаев наиболее целесообразным. При этом, наблюдается разброс снежной массы (см. рисунок 1), что приводит к изменению толщины снежного покрова. Соответственно, это оказывает влияние на дальнейшую производительность работы ФРС.

Рассмотрим механизм формирования снежного вала в продольном и поперечном направлениях относительно очищаемой полосы, для этого принимаем следующие допущения:

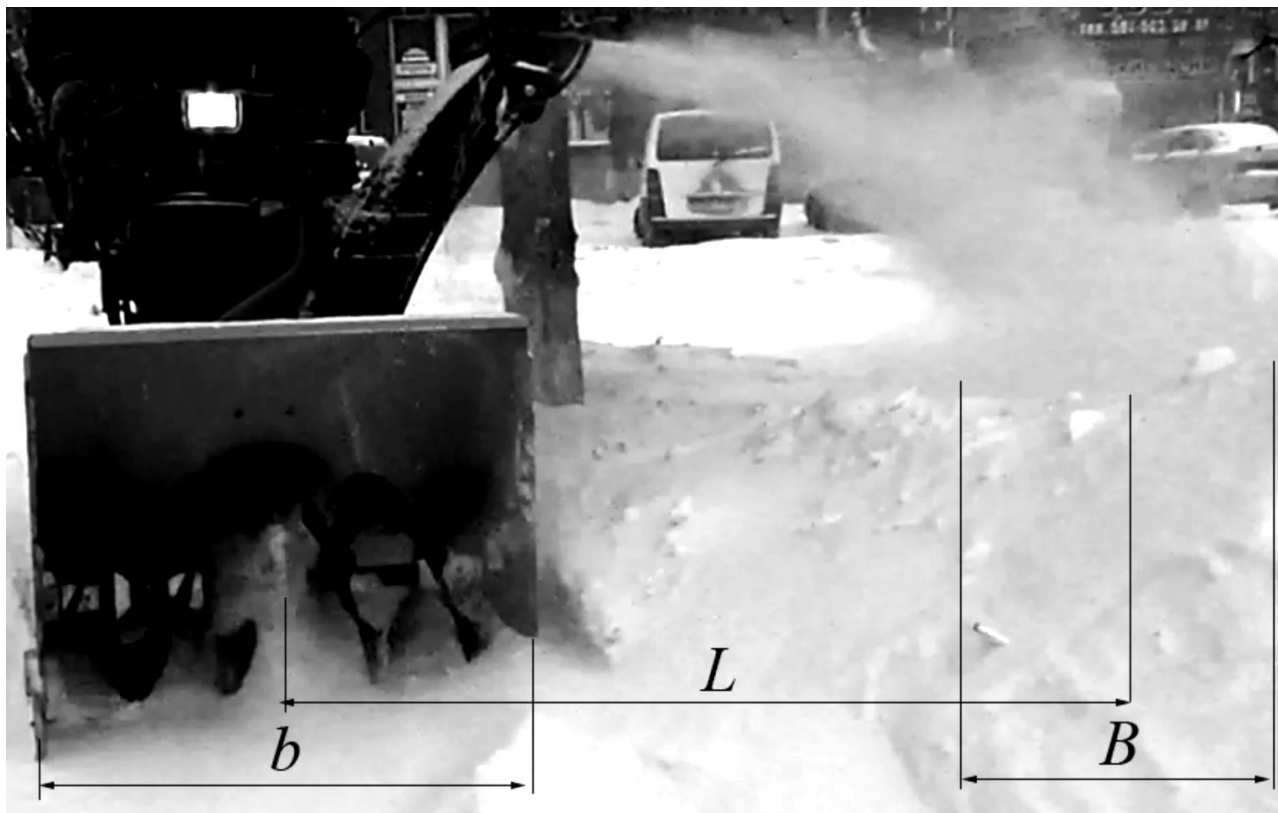


Рисунок 1. Общий вид процесса отброса снежной массы фрезерно-роторным снегоочистителем (составлено автором)

- снежная масса распределяется равномерно по всей ширине и длине пятна разброса транспортируемой снежной массы B_{Π} ;
- поступательная скорость ФРС постоянна и равна $V_{пер}$;
- угловая скорость вращения ротора MA так же постоянна и равна ω_p ;
- межлопастное пространство ротора MA полностью заполнено снежной массой.
- толщина снежного покрова h постоянна на всей площади, подлежащей очистке;
- размеры пятна разброса, дальность отброса L , остаются постоянными в течении всего уборочного процесса;
- отброс снежной массы осуществляется в одну сторону.

Исходя из принятых допущений следует, что толщина снежного вала в продольном направлении постоянна по всей его ширине при одном проходе ФРС.

Рассмотрим формирование снежного вала в поперечном направлении, с учетом принятых допущений, расчетная схема процесса очистки и формирования снежного вала представлена на рисунке 2.

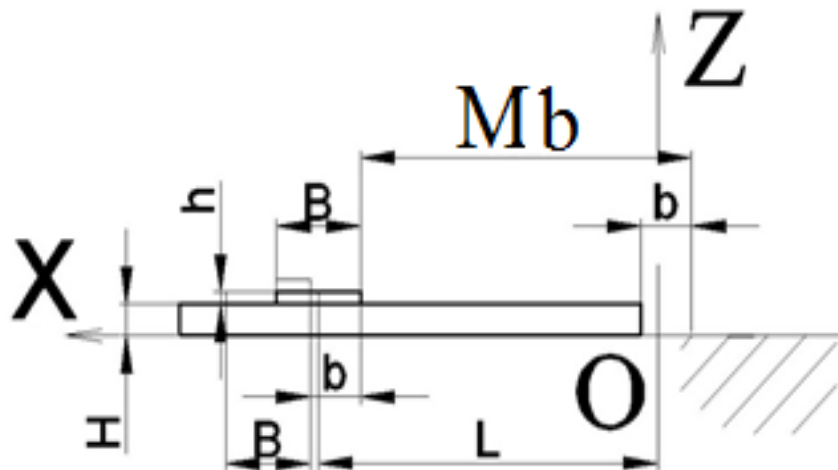


Рисунок 2. Расчетная схема отброса снежной массы в поперечной плоскости (составлено автором)

Координата начала формирования первого снежного вала равна:

$$x_0 = L + B.$$

При этом количество проходов M до отброшенного снега составит:

$$M = \frac{L}{b}.$$

При первом проходе толщина снежного покрова на расстоянии более x_0 увеличится на величину:

$$H_1 = \frac{b}{B} h,$$

где b – ширина полосы захвата питателя ФРС, h – начальная толщина снежного покрова.

Необходимо отметить, что отношение B/b , определяет количество проходов, содержащих ширину разброса отбрасываемого снега N , а общая ширина очищенной площади от снега находится из выражения:

$$a = b \cdot n$$

где n – общее количество проходов совершенных ФРС.

При следующем проходе отброшенная снежная масса образует следующий слой, поверх предыдущего, но со смещением равным ширине полосы захвата ФРС (см. рисунок 2). Таким образом, наибольшее увеличение высоты снежного покрова будет наблюдаться на участке пересечения областей разброса отброшенной снежной массы.

При достижении снегоочистителем границы первого слоя снежного вала толщина перебрасываемого снега уже не будет являться постоянной величиной, т. к. снегоочиститель приступит к переброске только что сформированного снежного вала.

Таким образом, рост толщины снежного вала описывается рекуррентными соотношениями и для первого снежного вала имеют вид:

- при $0 < k \leq N$:

$$(k-1) \cdot b < x < B, H = k \cdot h \cdot \frac{b}{B} + h,$$

$$B + (i-1) \cdot b < x < B + ib, H = q \cdot h \cdot (k-1) \frac{b}{B} + q \cdot h$$

где $i = 1, \dots, k-1$.

$$\begin{cases} q = 0, \text{ при } k = 1 \\ q = 1, \text{ при } 1 < k \leq N, \end{cases}$$

- при $N < k \leq M$:

$$B + (i-1) \cdot b < x < B + ib, H = h \cdot (N-j) \frac{b}{B} + h,$$

где $i = k-N, \dots, k-1$; $j = 0, \dots, N-1$.

Выражения, описывающие формирование второго снежного вала за счет переброса уже сформированного первого вала, могут иметь следующий вид:

- при $1 < k \leq N$:

$$(k-1)b \leq x < B; H = h + \sum_j^k \left(\frac{bh}{B} j + h \right) \frac{b}{B},$$

где $j = 1, \dots, k$.

$$(i-1)b + B \leq x < ib + B; H = h + q \sum_j^k \left(\frac{bh}{B} j + h \right) \frac{b}{B},$$

где $i = 1, \dots, k-1$; $j = 2, \dots, k$.

$$\begin{cases} q = 0, \text{ при } k = 1 \\ q = 1, \text{ при } 1 < k \leq N, \end{cases}$$

- при $N < k \leq M$ (здесь высота снежной призмы остается постоянной):

$$(j-1)b + B \leq x < jb + B; H = h + \sum_f^N \left(\frac{bh}{B} f + h \right) \frac{b}{B} + q(M-N-1) \left(\frac{bh}{B} N + h \right) \frac{b}{B},$$

где $j = k-N, \dots, k-1$; $f = 1, \dots, N$.

$$\begin{cases} q = 0, \text{ при } j = N \\ q = 1, \text{ при } j = k-N, \dots, k-2, \end{cases}$$

Дальнейшие аналитические зависимости становятся существенно громоздкими и сложными в практическом использовании, поэтому целесообразнее осуществлять расчет на ЭВМ. Алгоритм расчета толщины снежного вала при любом количестве проходов ФРС представлен на рисунке 3.

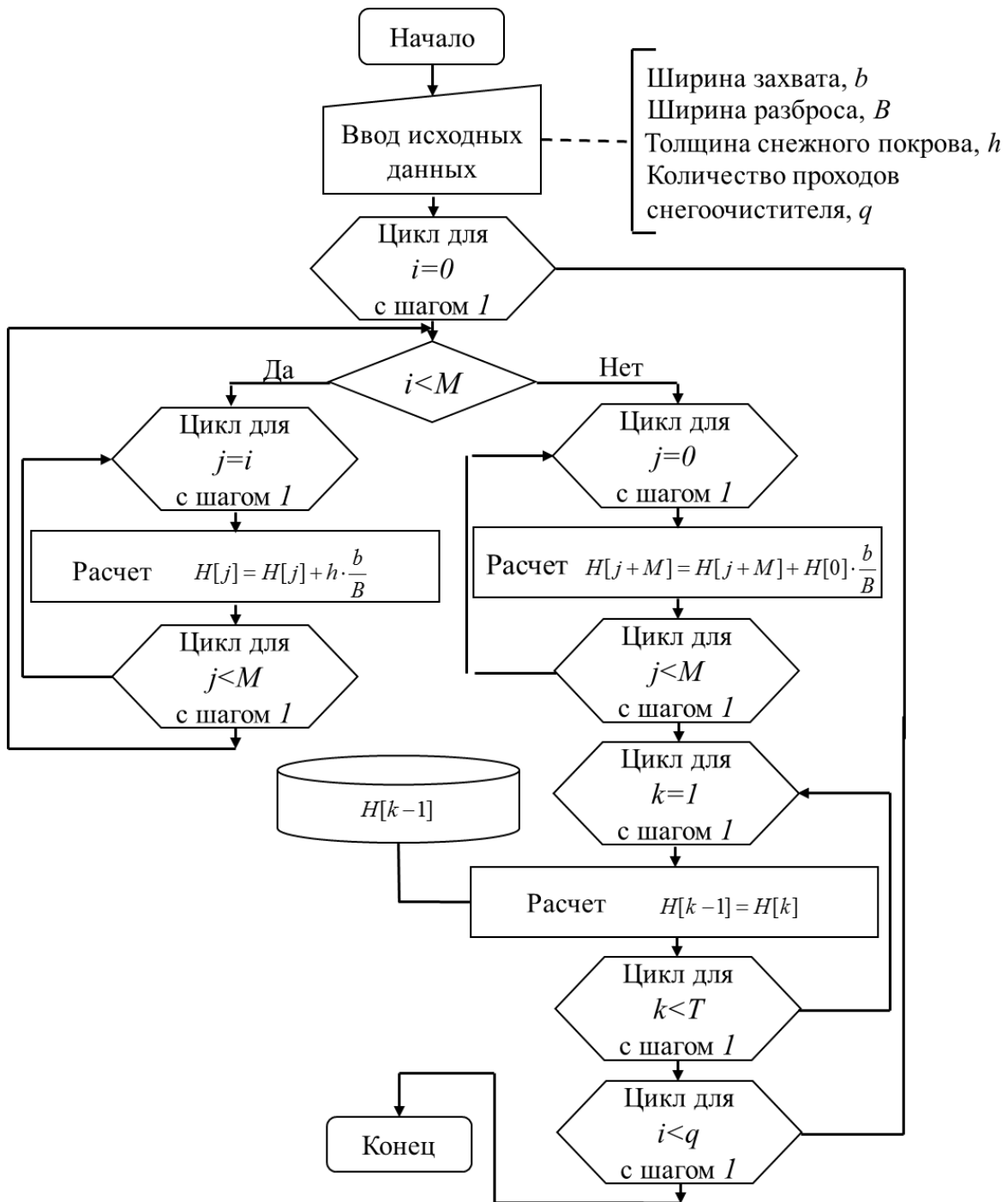


Рисунок 3. Алгоритм определения толщины снежного вала (составлено автором)

Алгоритм был реализован на ЭВМ в среде Microsoft Visual Studio на языке программирования C#.

Результаты

Были проведены исследования изменения ширины и максимальной толщины снежного вала в зависимости от количества проходов. Учитывая тот факт, что в настоящее время на территории селитебной застройки в качестве снегоочистителей достаточно больших открытых площадок (территории парковок, площади непосредственно прилегающие к зданиям и сооружениям) используются ФРС малой мощности, рассмотрим процесс формирования

снежных валов при проведении снегоочистных работ машинами такого класса. Принимаем ширину очищаемой территории 30 м. При дальности отброса 7 м и ширине разброса 1,5 м, при ширине захвата питателя ФРС 0,6 м количество проходов ФРС для очистки составит 50. График изменения толщины снежного вала в зависимости от количества проходов представлен на рисунке 4. На рисунках 4 и 5 представлено изменение ширины и высоты снежного покрова в зависимости от количества проходов ФРС при ширине разброса снежной массы 1,6 и 7 м соответственно.

Из рисунка 6 следует, что увеличение дальности отброса приводит к снижению скорости роста толщины снежного вала, при этом из выражения (1) следует, чем меньше отношение ширины захвата к ширине разброса, тем медленнее растет толщина снежного вала, или при увеличении ширины захвата питателя ФРС, необходимо стремиться с увеличению ширины разброса снежного потока, который формируется в метательном аппарате ФРС.

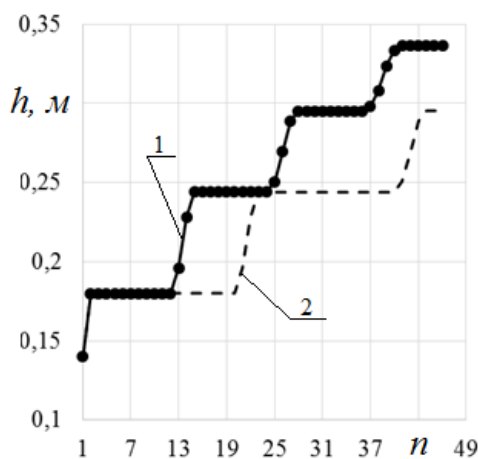


Рисунок 4. Изменение максимальной толщины снежного вала в зависимости от количества проходов ФРС, при ширине разброса 1,5 м, начальной толщине снежного покрова 0,1 м и 1 – при дальности отброса 7 м; 2 – при дальности отброса 12 м (составлено автором)

На рисунке 6 представлен профиль формируемого снежного вала при заданных выше исходных данных.

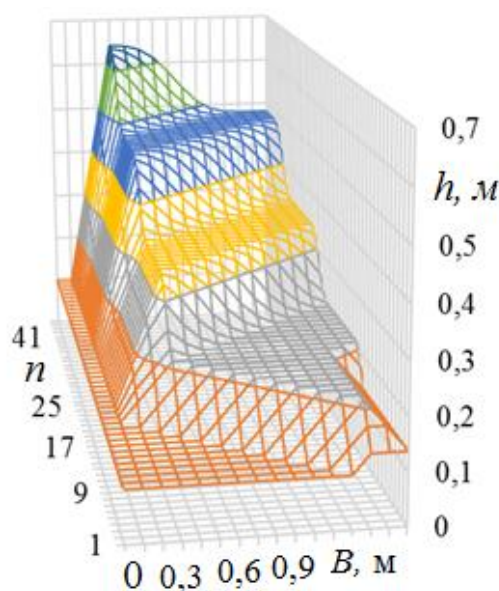


Рисунок 5. Изменение размеров снежного вала в зависимости от количества проходов ФРС, при ширине разброса 1,6 м (составлено автором)

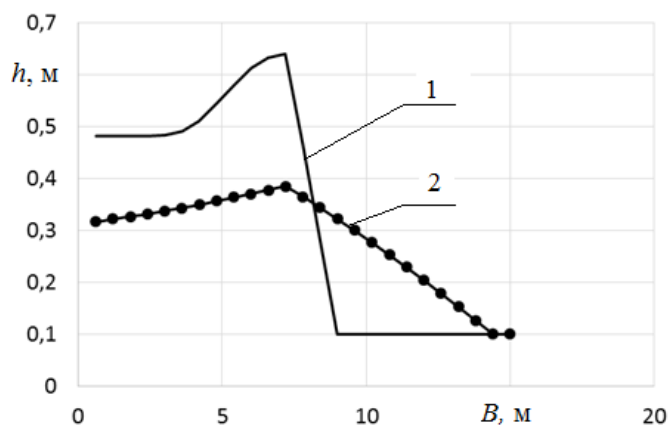


Рисунок 6. Профиль снежного вала при количестве проходов 45:
1 – ширине разброса 1,6; 2 – ширине разброса 7 м (составлено автором)

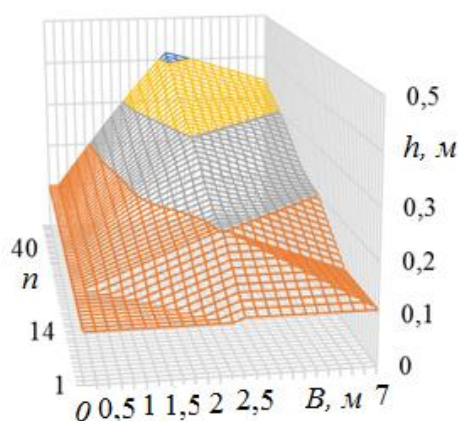


Рисунок 7. Изменение размеров снежного вала в зависимости от количества проходов ФРС, при ширине разброса 7 м (составлено автором)

График изменения толщины снежного вала в зависимости от ширины разброса представлен на рисунке 7. В свою очередь, график изменения максимальной толщины снежного вала в зависимости от ширины пятна разброса представлен на рисунке 8.

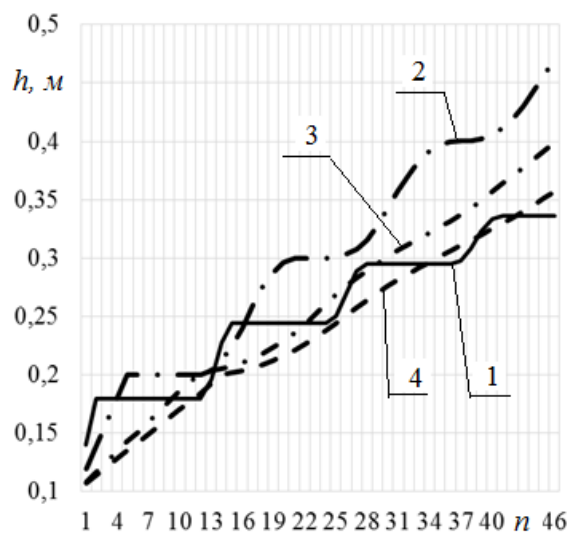


Рисунок 8. График изменения максимальной толщины снежного вала в зависимости от количества проходов ФРС при дальности отброса 7 м, толщине снежного покрова 0,1 м и: 1 – ширине пятна разброса 1,5 м; 2 – 3 м; 3 – 7 м; 4 – 8, 5 м, соответственно (составлено автором)

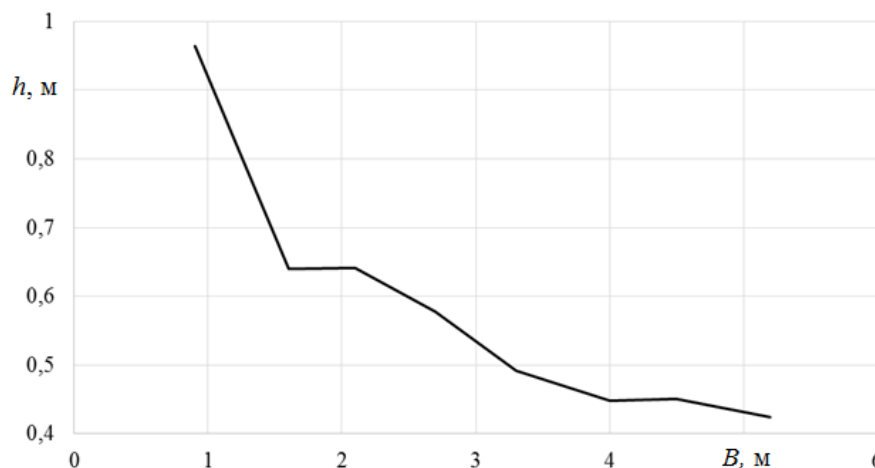


Рисунок 9. График изменения максимальной толщины снежного вала от ширины разброса снежной массы при количестве проходов ФРС 46, при дальности отброса 7 м, толщине снежного покрова 0,1 м (составлено автором)

Из рисунка 9 следует, что характер увеличения максимальной толщины снежного вала является нелинейным. Что, в итоге, приводит к необходимости использования ФРС другой типоразмерной группы: снегоочистителя большей мощности и большего диаметра фрезы, иначе процесс очистки значительно замедлится.

Так же из графиков следует:

- чем больше разброс и дальше отброс, тем медленнее растет толщина снежного покрова;
- толщина снежного вала имеет максимум, который зависит от ширины разброса в зависимости от дальности разброса.

Выводы

Толщина снежного покрова нелинейно зависит от количества проходов ФРС. Чем больше разброс и больше дальность отброса снега, тем медленнее растет толщина снежного покрова и соответственно большую площадь можно будет очистить ФРС одной типоразмерной группы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борзенкова А.В., Шмакин А.Б. Изменения толщины снежного покрова и суточной интенсивности снегопадов, влияющие на расходы по уборке магистралей в российских городах. Лед и снег. 2012. №2 (118). С. 59-70.
2. Male, D.H., 1980, The Seasonal Snowcover. Dynamics of Snow and Ice Masses.
3. Егоров А.Л., Федотов В.В., Федотова Е.А. Обоснование рабочих параметров снегоуборочной машины с уплотняющим рабочим органом. Современные проблемы науки и образования. 2013. № 1. С. 103.
4. Твердохлебов В.А. Определение рационального состава транспортно-технологического комплекса, задействованного в снегоуборочных работах. ИНТЕЛЛЕКТ. ИННОВАЦИИ. ИНВЕСТИЦИИ. 2016. №6. С. 120-124.

5. Федосеев, А.Н. Экономико-математические методы и прикладные модели: учеб. пособие / В.В. Федосеев, А.Н. Гармаш, Д.М. Дайнитбегов и др.; под ред. В.В. Федосеева. – Москва: ЮНИТИ, 1999. – 391 с.
6. Трофимова И.Ф. Определение оптимального количества плужных снегоочистителей для механизированной очистки городских магистралей и аэродромов от свежеснегавпавшего снега. Вестник Московского автомобильно-дорожного университета (МАДИ). 2011. №1. С. 91-94.
7. Шульшедов В.А. Инновационные механизмы логистики в сфере экологического содержания города. В сборнике: Актуальные вопросы инновационного развития транспортного комплекса Материалы 5-ой Международной научно-практической интернет-конференции. под общей редакцией А.Н. Новикова. 2016. С. 181-188.
8. Korchagin P.A., Teterina I.A., Rahuba L.F. Improvement of human operator vibroprotection system in the utility machine // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – Vol. 944, no. 1. – Ст. 012059. – DOI: 10.1088/1742-6596/944/1/012059.
9. Крашенинников М.С. Математическая модель роторно-винтового движителя // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». – Т. 8, № 4 (2016) <http://naukovedenie.ru/PDF/50TVN416.pdf> (доступ свободный). Загл. сэкрана. Яз. рус., англ.
10. Sundsbo P.A. and Hansen E.W.N., 1996, Numerical modelling and simulation of snow-drift around fences. Proceeding for the 3rd International Conference of snow engineering. Sendai. Japan.
11. Иванов А.И., Мишин В.А. Снегоочистители отбрасывающего действия. – М.: Машиностроение, 1981. – 159 с.
12. В.И. Баловнев Машины для содержания и ремонта городских и автомобильных дорог: Учебное пособие для вузов по дисциплине «Дорожные машины» для специальностей 170900, 230100, 150600 и 291800 / В.И. Баловнев, М.А. Беляев и др.; Под общ. ред. В.И. Баловнева. – 2-е изд., дополн. и перераб. – Москва – Омск: ОАО «Омский дом печати», 2005. – 768 с.
13. Шалман Д.А. Снегоочистители. – Л.: Машиностроение, 1973. – 215 с.
14. Aleshkov D., Sukovin M. Aerodynamic characteristics of the milling and rotary snowblower feeder in the loading gate area // International review of mechanical engineering (IREME). 2017. Vol. 11, no. 9. P. 701-708.

Aleshkov Denis Sergeevich

The Siberian state automobile and highway university, Omsk, Russia
E-mail: denisaleshkov@mail.ru

Sukovin Mikhail Vladimirovich

The Siberian state automobile and highway university, Omsk, Russia
E-mail: sukovin_8@mail.ru

The model of the formation of snow piles at work milling and rotary snowblower

Abstract. The process of removing the snow cover leads to a redistribution of the snow mass, which in turn causes the formation of snow piles and affects on the productivity of the snowplow. The purpose of this work is to identify the dependencies of the growth of snow pile thickness caused by the throwing of the snow mass when snow is removed from the cleaning surface by a milling and rotary snowblower at its multiple passes. To achieve this goal, the following tasks were accomplished: the parameters of the technological process of the milling and rotary snowblower were determined, which affect on the redistribution of the snow cover; the design scheme of formation of a snow pile and change of its thickness depending on the number of passes was compiled; Mathematical modeling of the determination of the thickness of the snow pile was carried out depending on the number of passes of the milling and rotary snowblower. The paper presents a design scheme of the redistribution of the snow mass to be removed and equations of the growth of the snow pile thickness when the snow mass is thrown aside depending on the parameters of the milling and rotary snowblower, on the parameters of the technological process and the number of passes made by the milling and rotary snowblower in the process cleaning. In the result of the calculations, it was found that the thickness of the snow pile in the transverse plane has a nonlinear dependence on the number of passes of the milling and rotary snowblower and than the greater the scatter and the throwing distance, that the thickness of the snow pile grows more slowly and, accordingly, the milling and rotary snowblower of one standard group will be able to clean the large surface. The dependences obtained allow one to select a standard size group of milling and rotary snowblowers in relation to be cleaned area.

Keywords: milling and rotary snowblower; throwing distance; snow mass; thrower; snow pile; thickness of the snow; process of cleaning