

УДК 621.01

СОЗДАНИЕ 3D МОДЕЛИ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА УПЛОТНЕНИЕ СНЕЖНОЙ МАССЫ В ЗАМКНУТОМ ОБЪЕМЕ

Костырченко В.А., Мадьяров Т.М., Егоров А.Л., Сидоров В.И.

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, e-mail: matveevaad@tyuiu.ru

В статье рассмотрена проблема уборки снежной массы с автомобильных дорог и придомовых территорий в Тюменской области. Рассмотрены способы уплотнения, выявлены достоинства и недостатки. Разработана установка для уплотнения снежной массы в замкнутом объеме с применением вибро-вакуумного уплотнения снежной массы. Создана 3D модель и проведены расчеты в программном обеспечении Solidworks 2016. В ходе исследования сформулирована основная рабочая гипотеза: повышение эффективности уплотнения снежной массы за счет комбинированного воздействия вибро-вакуумного уплотнения в замкнутом объеме, для утилизации снега с придомовых территорий и дорог в г. Тюмени, с целью снижения себестоимости и сроков утилизации снежной массы. Произведен выбор факторов, влияющих на конечную плотность снежной массы, методом экспертных оценок.

Ключевые слова: уплотнение, снежная масса, уборка придомовых территорий, утилизация снежной массы

CREATE 3D MODELS OF THE LABORATORY SETUP, AND IDENTIFY FACTORS AFFECT COMPACTION OF THE SNOW MASS IN A CONFINED SPACE

Kostyrchenko V.A., Madyarov T.M., Egorov A.L., Sidorov V.I.

Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Industrial University of Tyumen», Tyumen, e-mail: matveevaad@tyuiu.ru

The article considers the problem of cleaning the snow mass with roads and houses adjoining areas in the Tyumen region. The methods of sealing, identified strengths and weaknesses. A unit for compacting the snow mass in a confined space with vibro-vacuum seal the snow mass. Create a 3D model and calculations in the software Solidworks 2016. In the study, the main working hypothesis is formulated: improving the efficiency of the snow mass seal due to the combined effects of vibro-vacuum seal in a confined space, for disposing of snow from roads and houses adjoining areas in the city of Tyumen. in order to reduce the cost and timing of utilization of the snow mass. Produced variety of factors affecting the final density of the snowpack by expert estimates.

Keywords: seal, snow mass, cleaning houses adjoining areas, disposal of the snow mass

Природно-климатические условия Тюменской области характеризуются большим количеством выпадения осадков в зимний период. Поэтому одной из важнейших задач городского хозяйства является уборка снега с городских магистралей в зимний период. С ноября по март снег является для города огромной проблемой. Он мешает нормальному движению автомобилей и пешеходов, увеличивает количество дорожно-транспортных происшествий и травмоопасность.

Современные транспортные нагрузки на дороге даже в сельской местности требуют постоянного ухода за дорожным полотном в зимний период. Если же рассматривать крупные города, то зимнюю уборку магистралей смело можно сравнить с ликвидацией последствий стихийного бедствия. Сильный снегопад и гололедные явления способны привести город к состоянию коллапса, когда заторы образуются на всех дорогах и даже специальный транспорт не в состоянии проехать к месту назначения [10].

Отличие зимней уборки городских магистралей от уборки дорог за пределами

города заключается в ограниченном количестве мест для складирования снега. Современная мощная дорожная техника способна сдвинуть снег к лотковой части дороги и отбросить его на необходимое расстояние за обочину. Однако на городской магистрали сразу за лотковой частью идет тротуар для прохода пешеходов, а за ним – дома. Поэтому снег с городских магистралей необходимо вывозить, а это – процесс дорогостоящий.

Сезонные работы, когда происходит уборка и вывоз снега, могут проводиться вручную или с помощью техники в зависимости от территории (большая магистраль или тротуар). В условиях плотной застройки городов коммунальными службами и специальными организациями осуществляется не только уборка снега, но и его вывоз.

Кроме того, перевозка снега автотранспортом приводит к дополнительной экологической нагрузке на воздушную среду города за счет загрязнения ее выхлопными газами. А также, при таянии снежной мас-

сы, весь шлак и химикаты остаются на полигонах, тем самым загрязняя окружающую среду. Поэтому в процессе складирования снега на полигонах есть огромный минус в виде экологического загрязнения.

Уборка и вывоз снега в Тюмени регулируется специальными инструкциями жилищно-коммунального хозяйства города. Сбором снежного покрова и льда занимаются городские службы и специализированные компании. Обязанность убирать прилегающие территории возложена на коммерческие и промышленные компании, а вывоз снега с этих территорий осуществляют частные компании [8].

Сбор снега проводится механизированным или ручным способом. Дворы обычно убирают вручную, а для сбора снега на больших территориях применяют специальную технику. Современный вывоз снега подразумевает минимальное использование ручного труда – слишком большие объемы приходится обрабатывать и вывозить. Собранный снег экскаватором-погрузчиком загружают в самосвалы.

В течение зимнего сезона с тюменских дорог собирают огромное количество снега. Необходимо найти место для всего этого объема. Причем стоит учесть, что городской снег, смешанный с песком и химическими реагентами – это вовсе не тот чистый и белый снег, который можно сбросить в любом месте, не опасаясь негативного воздействия на экологию.

Целью исследования является изучение процесса уплотнения снежной массы в замкнутом объеме с применением процесса вибро-вакуумирования для уборки снега с придомовых территорий и дорог Тюменской области.

Задачи исследования:

- провести анализ публикационной активности и диссертационных работ по теме исследования;

- разработать и обосновать конструкцию экспериментальной установки для уплотнения снежной массы с применением процесса вибро-вакуумирования;

- исследовать влияние параметров вибро-вакуума и режимов уплотнения на интенсивность процесса уплотнения снежной массы;

- разработать обобщенную математическую модель «Вибро-вакуумное уплотнение – снежная масса».

Рассмотрим способы уплотнения снежной массы.

1. Статическое уплотнение [1–3].

Статическое уплотнение обеспечивается укаткой. Уплотняющее действие катков зависит от максимальных контактных да-

лений, распределения давлений по площади контакта, размеров поверхности контакта, скорости укатки и числа проходов. Максимальные контактные давления оказывают основное влияние на прочность материала. Увеличение минимального размера пятна контакта приводит к увеличению толщины уплотняемого слоя.

Увеличение длины контакта рабочего органа с материалом и уменьшение скорости передвижения приводит к увеличению времени нагружения уплотняемого материала. Это положительно сказывается на качестве уплотнения материалов, особенно с вязкими свойствами.

Среди различных типов статических катков наиболее универсальными и эффективными показали себя катки на пневматических шинах, поэтому имеет смысл подробно рассмотреть процесс укатки именно этими катками.

2. Вибрационное уплотнение.

При уплотнении грунтов вибрированием масса вибратора за счёт подведённой к возбудителю колебаний энергии вводится в состояние колебательных движений. Вслед за вибровозбудителем уже за счёт кинетической энергии последнего, вводятся в состояние колебательных движений, также и расположенные в зоне его действия частицы грунта. При отсутствии ударных импульсов со стороны вибратора частицы грунта оказываются только под воздействием инерционных сил. Последние пропорциональны массам этих частиц. Ввиду того, что массы этих частиц неодинаковы, различаются также и возникающие силы инерции. В результате разности в силах инерции в местах контактов частиц возникают напряжения сдвига. До известных пределов эти напряжения уравниваются силами сцепления или прочностью связующих водно-коллоидных плёнок. После превышения этих пределов возникают взаимоперемещения этих частиц. Напряжения сдвига пропорциональны инерционным силам, поэтому они определяются не только разностью масс соседних частиц, но и теми ускорениями, которые развиваются при колебательных движениях.

Наибольшие перемещения частиц относительно друг друга наблюдаются в несвязных грунтах, в которых действуют только силы трения. В связных материалах к силам трения добавляются силы сцепления, которые не могут в значительной мере быть преодолены инерционными силами при вибрации, поэтому в связных материалах вибрация вызывает в большей мере упругие деформации.

Основными параметрами колебаний частиц являются амплитуда, частота, скорость, ускорение.

3. Трамбование.

Для уплотнения трамбованием применяют падающие плиты на экскаваторах и трамбующие машины.

Трамбование основано на последовательных ударах плиты по материалу. Уплотнение происходит за счёт кинетической энергии падающего груза, которая расходуется на необратимые перемещения частиц материала и выжимание плёнок жидкой фазы из зон контактов между минеральными частицами, а также упругое сжатие материала.

На уплотнение оказывают наибольшее влияние импульс силы, время удара, скорость падающего груза.

Удельный импульс является основной характеристикой процесса трамбования.

Трамбование характеризуется малой продолжительностью воздействия напряжений и значительной глубиной распространения напряжённо-деформированного состояния. Трамбующие машины способны уплотнять снег слоями больших толщин. Поэтому плиты применяются, как правило, когда ввиду большой толщины слоя другие машины оказываются непригодными.

4. Вакуумирование.

Вакуумное уплотнение позволяет значительно уменьшить или исключить потребность в пригрузочной насыпи и обеспечить соблюдение строгих требований к величинам осадок сооружений. Благодаря отсутствию насыпи и связанных с ней вопросов устойчивости грунта под насыпью, эта технология прекрасно подходит для консолидации снежной массы.

Основными преимуществами технологии вакуумного уплотнения являются [4–6]:

- значительное сокращение периода консолидации по сравнению со временем статического уплотнения;

- уменьшение риска сдвиговых деформаций снежной массы.

После проведенного патентного анализа были учтены достоинства и недостатки методик, применяемых в устройствах и машинах для уплотнения снежной массы, которые позволили сконструировать лабораторную установку для вибро-вакуумного уплотнения снежной массы.

Экспериментальная установка для вибро-вакуумного уплотнения (рис. 1) представляет собой камеру, установленную на станине виброплощадки, на которой площадочный вибратор типа ИВ-98Е. В уплотняющей камере установлен пневмоцилиндр для создания давления выходного звена на уплотняемую снежную массу.

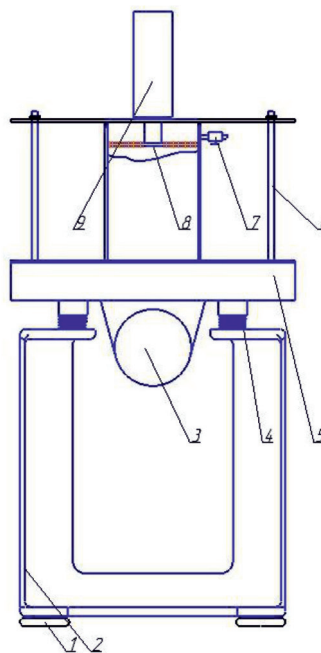


Рис. 1. Экспериментальная установка, где 1 – antivибрационные проставки, 2 – станина, 3 – вибратор ИВ-8Е, 4 – демфирующее устройство, 5 – платформа, 6 – шпилька, 7 – вентиль, 8 – уплотняющая платформа, 9 – пневмоцилиндр

В камере установлен вентиль для подключения вакуумного насоса с целью вакуумирования снежной массы. Результатом работы установки является уплотненный комбинированным воздействием брикет снежной массы, который повысит эффективность процесса уборки улиц и придомовых территорий.

Расчет экспериментальной установки в программном обеспечении Solidworks 16

В ходе исследования сформулирована следующая основная рабочая гипотеза: повышение эффективности уплотнения снежной массы за счет комбинированного воздействия вибро-вакуумного уплотнения в замкнутом объеме, для утилизации снега с придомовых территорий и дорог в г. Тюмени с целью снижения себестоимости и сроков утилизации снежной массы [9].

Планирование эксперимента заключается в выборе и обосновании факторов, влияющих на процесс уплотнения снежной массы, при выборе необходимо проанализировать материалы в научных работах ученых. При отборе факторов необходимо учитывать значимость каждого из них. Для выбора и обоснования факторов, влияющих на уплотнение снежной массы при строительстве временных зимних дорог, была

сформирована анкета для опроса экспертов: Н.Н. Карнаухов, Ш.М. Мерданов, А.А. Серебренников, Г.Г. Закирзаков, А.В. Шаруха, А.Л. Егоров, В.В. Конев, А.В. Яркин. Восемь экспертов оценивали влияние шести факторов на уплотнение снежной массы по 14-балльной системе, причем каждый эксперт имел возможность оценить качество трех факторов, а каждый параметр оценивали 4 эксперта [5].

Каждый эксперт оценивает одно и то же число объектов; каждый объект проверяется одинаковым числом экспертов; каждую пару объектов один эксперт должен сравнивать одно и то же число раз. Все эти требования выполняются при использовании

сбалансированного неполноблочного плана со следующими параметрами: $b = 8$; $v = 6$; $q = 3$; $r = 4$; $N = vr = bq = 24$.

Целью экспертной оценки являлось определение факторов наилучшего воздействия на уплотнение снежной массы (фактор большего влияния оценивается большим числом баллов) и установление значимых различий между разными параметрами. Неполноблочный план и результаты экспертной оценки y_{ij} приведены в таблице.

По результатам экспертной оценки выделены для дальнейшего исследования следующие факторы: количество проходов установки n , ед.; масса установки – m , кг; частота колебаний вибратора – ν Гц;

Неполноблочный план и результаты экспертной оценки

№ п/п	Наименование параметра	Един. измерения	Эксперты								Итого (Ti)
			B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	
1	Толщина уплотняемого снежного слоя	h (м)		14		12		5		8	39
2	Природно-климатические условия (температура воздуха, влажность, атмосферное давление)	Ток.с (0С); W (%); P (мм. рт. ст.).	10		10	10		7			37
3	Частота вибрационного уплотняющего воздействия	n (Гц), A (мм)	14		11	14	6				45
4	Вакуумное воздействие	У мм. рт. ст			12		8	9	8		37
5	Масса (нагрузка на снежную массу)	m (кг)	14	10					11	12	47
6	Скорость статического уплотнения	V (м/ч)		14			11		9	8	42
Результаты оценок экспертов (B)			38	38	33	36	25	21	28	28	247
B2			1444	1444	1089	1296	625	441	784	784	7907

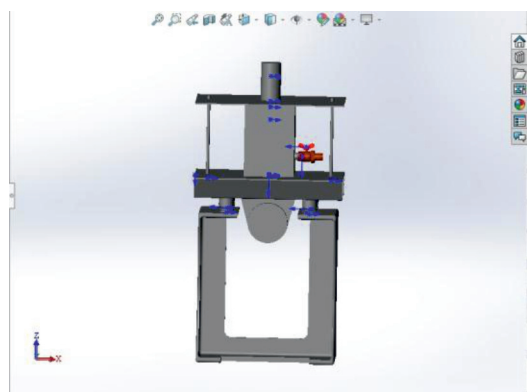


Рис. 2. 3D модель в программном обеспечении Solidworks 2016

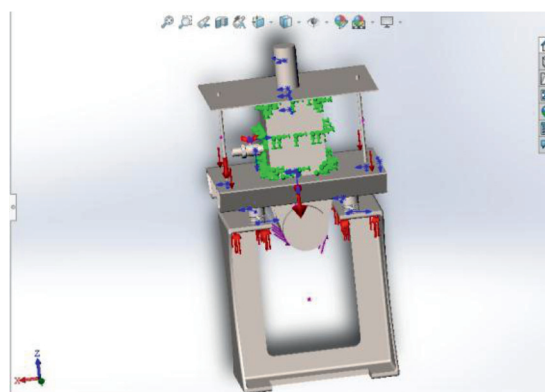


Рис. 3. 3D модель с примененными слоями и модуляцией материала, внешних факторов (сеткой) для проведения расчетов в программном обеспечении Solidworks 2016

Материалы, которые приведены в статье, являются основополагающими для проведения натурного эксперимента по выявлению зависимости уплотнения снежной массы от вибро-вакуумного уплотнения в замкнутом объеме [7]. После проведения экспериментальных исследований планируется сформировать обобщенную математическую модель «Вибро-вакуумное уплотнение – снежная масса».

Список литературы

1. Егоров А.Л. Обоснование рабочих параметров снегоборочной машины с уплотняющим рабочим органом: Автореферат Дис. ...на соискание степени канд. техн. наук: 05.05.04. – Тюмень, 2004.
2. Егоров А.Л., Мерданов М.Ш., Черняков Е.Н., Чернякова О.О. Экспериментальные исследования уплотнения снега // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6.; URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=10503>.
3. Карнаухов Н.Н., Мерданов Ш.М., Костырченко В.А., Мадьяров Т.М. Уплотняющая машина с дополнительным рабочим органом // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 9–2. – С. 236–239.
4. Колунина В.А., Костырченко В.А., Мадьяров Т.М. Приоритеты развития наземных транспортно-технологических комплексов в освоении континентального шельфа // В сборнике: Наземные транспортно-технологические комплексы и средства Материалы Международной научно-технической конференции. – 2015. – С. 147–149.
5. Костырченко В.А., Мадьяров Т.М., Мерданов Ш.М., Плохов А.А. Выбор и обоснование факторов методом неполноблочных планов (экспертные оценки) // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 5–2. – С. 257–261.
6. Костырченко В.А., Мадьяров Т.М., Мерданов Ш.М. Основные аспекты развития транспортной инфраструктуры крайнего севера // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 3–1. – С. 31–36.
7. Мадьяров Т.М., Мерданов Ш.М., Плохов А.А., Костырченко В.А. Предпосылки для проектирования лабораторной установки вибро-вакуумного уплотнения снежной массы // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 5–2. – С. 266–269.
8. Мерданов Ш.М., Пирогов С.П., Костырченко В.А., Мадьяров Т.М. Машина для растепления снежной массы // Инженерный вестник Дона. – 2014. – Т. 29. № 2. – С. 100.
9. Слезов М.А., Мадьяров Т.М., Костырченко В.А. Актуальность развития транспортной инфраструктуры в районах крайнего севера // В сборнике: Проблемы функционирования систем транспорта Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных: в 2 томах. Ответственный редактор В.И. Бауэр. – 2015. – С. 183–185.
10. Спиричев М.Ю., Мадьяров Т.М., Костырченко В.А., Шитый В.П. Повышение энергоэффективности

уборки придомовых территорий за счет использования снегоплавильных пунктов // В сборнике: Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе Материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых учёных и специалистов, посвященной 50-летию создания Тюменского индустриального института. Ответственный редактор А.Л. Портнягин. – 2013. – С. 178–181.

References

1. Egorov A.L. Obosnovanie rabochnih parametrov snegoborochnoj mashiny s uplotnjajushhim rabochim organom: Avtoreferat Dis. ...na soiskanie stepeni kand. tehn. nauk: 05.05.04. Tjumen, 2004.
2. Egorov A.L., Merdanov M.Sh., Chernjakov E.N., Chernjakova O.O. Jeksperimentalnye issledovanija uplotnenija snega // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2013. no. 6.; URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=10503>.
3. Karnauhov N.N., Merdanov Sh.M., Kostyrchenko V.A., Madjarov T.M. Uplotnjajushhaja mashina s dopolnitelnym rabochim organom // Fundamentalnye issledovanija. 2015. no. 9–2. pp. 236–239.
4. Kolunina V.A., Kostyrchenko V.A., Madjarov T.M. Prioritety razvitija nazemnyh transportno-tehnologicheskikh kompleksov v osvoenii kontinentalnogo shelfa // V sbornike: Nazemnye transportno-tehnologicheskie komplekсы i sredstva Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii. 2015. pp. 147–149.
5. Kostyrchenko V.A., Madjarov T.M., Merdanov Sh.M., Plohov A.A. Vybory i obosnovanie faktorov metodom nepolnoblочnyh planov (jeksperitnye ocenki) // Sovremennye naukoemkie tehnologii. 2016. no. 5–2. pp. 257–261.
6. Kostyrchenko V.A., Madjarov T.M., Merdanov Sh.M. Osnovnye aspekty razvitija transportnoj infrastruktury krajnego severa // Fundamentalnye issledovanija. 2016. no. 3–1. pp. 31–36.
7. Madjarov T.M., Merdanov Sh.M., Plohov A.A., Kostyrchenko V.A. Predposylki dlja proektirovanija laboratornoj ustanovki vibro-vakuumnogo uplotnenija snezhnoj massy // Sovremennye naukoemkie tehnologii. 2016. no. 5–2. pp. 266–269.
8. Merdanov Sh.M., Pirogov S.P., Kostyrchenko V.A., Madjarov T.M. Mashina dlja rastepelenija snezhnoj massy // Inzhenernyj vestnik Dona. 2014. T. 29. no. 2. pp. 100.
9. Slezov M.A., Madjarov T.M., Kostyrchenko V.A. Aktualnost razvitija transportnoj infrastruktury v rajonah krajnego severa // V sbornike: Problemy funkcionirovanija sistem transporta Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchjonyh: v 2 tomah. Otvetstvennyj redaktor V.I. Baujer. 2015. pp. 183–185.
10. Spirichev M.Ju., Madjarov T.M., Kostyrchenko V.A., Shityj V.P. Povyshenie jenergojefektivnosti uborki pridomovyh territorij za schet ispolzovanija snegoplavilnyh punktov // V sbornike: Jenergosberezhenie i innovacionnye tehnologii v toplivno-jenergeticheskom komplekse Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii studentov, aspirantov, molodyh uchjonyh i specialistov, posvjashhennoj 50-letiju sozdanija Tjumenskogo industrialnogo instituta. Otvetstvennyj redaktor A.L. Portnjagin. 2013. pp. 178–181.