

УДК 624.147

МЕТОДИКА РАСЧЕТА РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ СНЕГОУПЛОТНЯЮЩЕЙ МАШИНЫ С ИЗМЕНЯЕМОЙ СКОРОСТЬЮ ПРИЛОЖЕНИЯ ВНЕШНЕЙ НАГРУЗКИ

Шитый В.П.

*ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет»,
Тюмень, e-mail: general@tsogu.ru*

Увеличение транспортной нагрузки на временные зимние дороги из снега (ВЗДиС) невозможно без изменений требований к качеству и долговечности возведенных покрытий из снега. Следующий этап повышения качества и долговечности ВЗДиС возможен при рациональном использовании ресурсов, современных строительно-дорожных машин, соответствующих текущему уровню развития техники, базирующихся на передовых научных разработках, основанных на автоматизации строительных процессов. В этой ситуации необходимо получение новых закономерностей описывающих процесс уплотнения снега в зависимости от различных значимых факторов. Проведен анализ существующих нормативных документов и научных исследований и методик расчета строительно-дорожных машин и оборудования для строительства временных зимних дорог из снега. Предложена методика расчета рабочих параметров снегоуплотняющей машины с изменяемой скоростью приложения внешней нагрузки, получена с учетом поправочных коэффициентов для аналогичных методик уплотнения грунтов.

Ключевые слова: снег, механизация строительства дорог, уплотнение снега, временные зимние дороги из снега, технологии строительства снежоледовых дорог

CALCULATION PERFORMANCE MACHINE SNOWGROOMERS VARIABLE SPEED EXTERNAL FORCES

Shityy V.P.

*Federal State Government-financed Educational High Professional Institution
«Tyumen State Oil and Gas University», Tyumen, e-mail: general@tsogu.ru*

The increase in traffic load on the temporary winter roads of snow (VZDiS) is impossible without changes to the requirements for the quality and durability of the coatings were built out of snow. The next step in improving the quality and durability VZDiS possible for a rational use of resources, construction of modern road vehicles corresponding to the current level of technology based on advanced scientific research, based on the automation of construction processes. In this situation, the need to obtain new laws describing the snow compacting process depending on various important factors. The analysis of existing regulations and research and design procedures of road construction machinery and equipment for the construction of temporary winter roads of snow. The method of calculating the operating parameters snowgroomers machine with variable speed application of an external load, obtained taking into account the correction factors for the same soil compaction techniques.

Keywords: snow, the mechanization of the construction of roads, compaction of snow, snow temporary road, construction technology snowy roads

Разработка новых конструкций строительно-дорожных машин (СДМ) для возведения временных зимних дорог из снега (ВЗДиС) требует создания специальных рабочих органов СДМ для повышения эффективности производства работ [1, 3, 4, 5, 6, 7, 8]. Создание новых специализированных рабочих органов отстает от современных технологических требований, предъявляемых к машинам, задействованным в пооперационной технологии строительства по причине отсутствия научно обоснованных методик.

Существующая технология строительства ВЗДиС основана на методиках расчета универсальных рабочих органов СДМ, как правило, рекомендует использовать статический метод уплотнения снега, при котором требуемая величина конечной плотности достигается за счет многократного прохождения дорожными катками, при этом слой

уплотняемого снега не должен превышать 0,1–0,15 м, либо еще менее производительные волокуши или гладилки [9, 10, 11, 12].

Сложившаяся ситуация показывает как актуальность данных исследований, так и необходимость в получении новых закономерностей, описывающих процесс уплотнения снега в зависимости от различных значимых факторов.

Перспективной считается технология возведения ВЗДиС, при которой различные операции создания полотна снежоледовой дороги: наброска снега [4, 5].

В качестве специализированного уплотняющего устройства в работе рассматривается уплотняющая поверхность с направленными вертикальными колебаниями (виброплита). Проектируемая вибрационная плита и происходящий процесс уплотнения характеризуются тремя группами

параметров: конструктивными, технологическими и значимыми параметрами, влияющими на процесс уплотнения снежной массы [6, 12].

Значения параметров, учитываемых при выборе конструкции для строительства ВЗДиС обоснованы ограничением по диапозону и сведены в табл. 1.

К конструктивным (рис. 1) параметрам виброплиты относятся: геометрические размеры опорной (L_o) и наклонной (L_n) поверхности, масса (G) и ширина виброплиты (b).

Технологические параметры (рис. 1) процесса строительства характеризуются следующими величинами: длина контактной части наклонной поверхности вибро-

плиты (L_k), средняя высота снежной массы (H), осадка после вибрационного уплотнения (ΔH), угол атаки (α), приращение плотности ($\Delta\rho$), высота ВЗДиС от подстилающего грунтового основания (h), технологическая скорость (ϑ). Среди них можно выделить управляющие параметры, такие как H , α , ϑ , которые существенно влияют на состояние и характеристики возводимого полотна.

Плотность снежной массы (ρ_0), влажность снежной массы (θ), температура снежной массы (t) и конечная плотность ВЗДиС ($\rho_{кон}$) являются значимыми функциональными параметрами, известными в процессе работы и влияющими на процесс уплотнения снежной массы [2, 13, 14].

Таблица 1

Параметры, влияющие на процесс уплотнения снежной массы

Обозначение	Параметр	Значение
ρ_0	Плотность снежной массы	100...300 кг/м ³
θ	Влажность снежной массы	0...20
t	Температура снежной массы	-5...-20°С
H	Средняя высота снежной массы	0,35...0,45 (0,8) м
ΔH	Осадка после вибрационного уплотнения	
α	Угол атаки	5...35, град
$\Delta\rho$	Приращение плотности	
L_k	Длина контактной части наклонной поверхности виброплиты	2 м
L_y	Длина наклонной поверхности виброплиты	от 1,5 м
L_o	Длина опорной поверхности виброплиты	2 м
M	Вес плиты	от 100 кг
ϑ	Технологическая скорость	2...12 км/ч
$\rho_{кон}$	Конечная плотность ВЗДиС	До 650 кг/м ³
h	Высота ВЗДиС от подстилающего грунтового основания	–
b	Ширина виброплиты	не менее 2,5 м

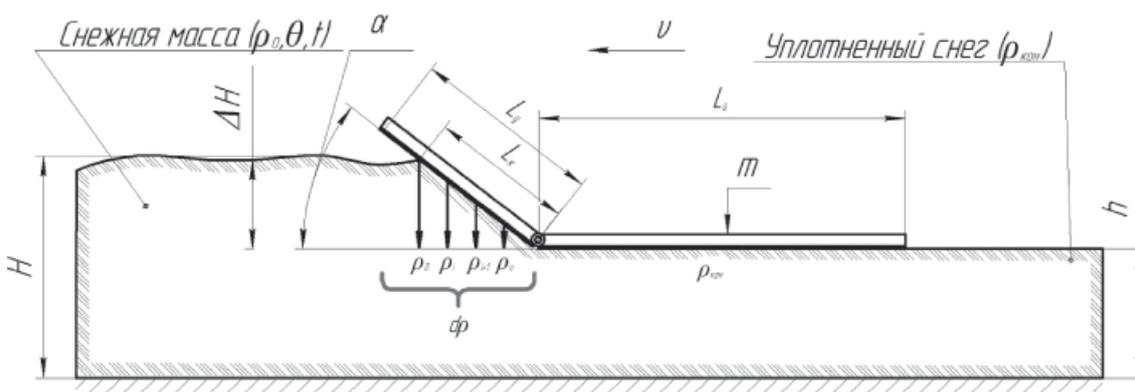


Рис. 1. Параметры, влияющие на процесс уплотнения снежной массы

Группа параметров, определяемых конструктивно, обоснована технологией возведения ВЗДиС и основными характеристиками базовой машины, а косвенные параметры этой же группы рассчитываются по существующим методикам расчета строительно-дорожных машин. При оптимальных значениях параметров достигается наибольший эффект уплотнения при меньших затратах. Значения этих параметров взаимосвязаны и зависят от свойств снега, толщины уплотняемого слоя и требуемой конечной плотности.

По причине отсутствия в настоящее время методик расчета специализированных рабочих органов СДМ и расчетных методик определения основных параметров проектируемых машин предлагается производить расчет виброплит, выполненных из двух контактных поверхностей прямоугольной формы с гладкой поверхностью и изменяемым углом атаки (рис. 1, 2), следующим образом:

4. Время приложения нагрузки определяется как

$$t = \left(L_0 + \cos \alpha \frac{H-h}{\sin \alpha} \right) / V.$$

5. Сопротивление передвижению базовой машины:

$$F_m = m_m \cdot g(f + i),$$

где m_m – масса машины, кг; f – коэффициент сопротивления передвижению, $f = 0,025 \dots 0,03$; i – наибольший продольный уклон покрытия; $i = 0,07 \dots 0,09$.

6. Сопротивление, возникающее при движении виброплиты, складывается из сил вертикальных реакций на наклонной и прямолинейной поверхностях, а также сил пассивного давления снежной массы, трения перемещения призмы волочения, трения на наклонной поверхности, трения на прямолинейной поверхности,

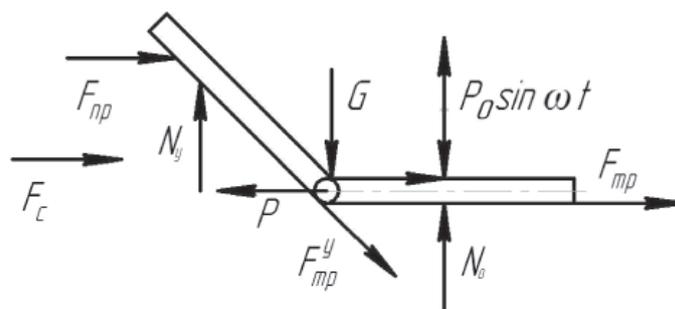


Рис. 2. Расчетная схема работы виброплиты: F_c – сила пассивного давления снежной массы; F_{np} – сила трения перемещения призмы волочения; N_y – вертикальная реакция на наклонной поверхности; P – тяговое усилие; G – вес виброплиты; F_{np}^y – сила трения на наклонной поверхности; N_o – вертикальная реакция на прямолинейной поверхности; F_{mp} – сила трения на прямолинейной поверхности; t – время воздействия

1. Минимальный размер основания виброплиты должен быть больше толщины уплотняемого слоя, т.е.

$$b \geq H.$$

Для сокращения количества проходов оптимально выбирать $b = 2, 5 \dots 3$ м в зависимости от требуемой категоричности возводимой дороги.

2. Длину опорной поверхности виброплиты целесообразно определять как

$$L_0 = 1 \dots 1,5b.$$

3. Удельное статическое давление определяется

$$P_{ст} = m/F,$$

где F – опорная площадь:

$$F = (L_k + L_0) \cdot b.$$

определяемых следующим образом (по формуле Вайсберга И.С.):

$$F_c = \frac{\gamma H^2 B}{2} \operatorname{tg}^2 \left(45x + \frac{\rho}{2} \right) + 2cHB \operatorname{tg} \left(45 + \frac{\rho}{2} \right); \quad (1)$$

$$F_{np} = Vg\rho\mu_1\mu_2,$$

где V – объем призмы волочения, м^3 ; g – плотность снега, $\text{кг}/\text{м}^3$; μ_1 – коэффициент внутреннего трения уплотняемого материала; μ_2 – коэффициент сопротивления перемещению призмы снега по снегу (табл. 2).

$$F_{тр} = \mu N_o,$$

где μ – коэффициент сопротивления перемещению виброплиты (табл. 2) при работе коэффициент сопротивления перемещению виброплиты, представленный в таблице, приведен для статического движения в случае вибрационного уплотнения он уменьшается на 20%.

Таблица 2

Коэффициенты трения снега [3, 4]

Плотность снега, кг/м ³	Снега о металл при температуре, °С			Внутреннего трения снега при температуре, °С		
	-4	-16...-30	-1...+2	+2...0	-1...6	-10
100	0,100	0,140	0,180	0,27	0,29	0,34
200	0,085	0,097	0,110	0,30	0,33	0,36
300	0,070	0,080	0,090	0,35	0,39	0,46
400	0,055	0,065	0,075	0,44	0,50	0,49
450	0,040	0,048	0,056	0,42	0,46	0,52
500	0,025	0,033	0,040	0,43	0,49	0,53
550	0,015	0,021	0,030	0,45	0,50	0,57

Сопротивление на преодоление подъема:

$$F_{\text{под}} = mg\alpha,$$

где α – подъем в рад.

7. Для предполагаемых типичных условий работы снегууплотняющей машины с применением вибрационного воздействия величины $F_{\text{под}} \rightarrow 0$ и $F_{\text{пр}} \rightarrow 0$, что позволяет ими пренебречь.

Тяговое усилие, необходимое для преодоления сопротивления при работе плиты:

$$T_c = F_{\text{тр}} + F_{\text{тр}}^y + F_{\text{пр}} + F_c.$$

Тяговое усилие машины определяется как

$$P = \frac{N}{V \cdot 270},$$

где N – мощность тяговой машины на крюке; V – скорость поступательного движения.

При этом развивающееся тяговое усилие необходимо проверить на возможность его реализации по условиям сцепления:

$$mg \cdot \varphi_{\text{сц}} > T_c,$$

где mg – сцепной вес машины; $\varphi_{\text{сц}}$ – коэффициент сцепления колес с поверхностью дороги.

Во время работы виброплита оказывает многократное приложение нагрузки, вызывающее тиксотропные изменения в снежной массе, которые уменьшают сопротивление сдвигу и способствуют перестройке структуры для оптимального уплотнения. Функциональные параметры получены в виде поправочных коэффициентов для аналогичных методик уплотнения грунтов, на основе установленных закономерностей.

Уплотнение снежной массы виброплитой с изменяемым углом «атаки», рабочий процесс которой из-за непрерывного изменения напряженного состояния в снежной массе при деформировании структуры снега требует автоматизации настроек рабочих параметров, что в свою очередь позволит исключить недостаточное или

неоднородное уплотнение, срыв контактной поверхности.

Параметрическая идентификация процесса уплотнения снега рабочим органом машины с изменяемой скоростью приложения внешней нагрузки требует проведения экспериментальных исследований в реальных условиях эксплуатации, что является значительной проблемой из-за большой трудоемкости, сезонности, стоимости и организации работ по возведению натурного участка ВЗДиС.

Одним из путей решения данной проблемы является использование методов имитационного моделирования на основе современных программных комплексов, создание математической модели, основанное на выборе реологической модели снега, и установление значимых параметров процесса уплотнения снежной массы в лабораторных условиях.

Список литературы

1. Вайсберг И.С. Выбор параметров и создание виброуплотнителей для строительства снеголедяных дорожных покрытий: дис. ... кан. техн. наук: 05.05.04. – Красноярск, 1982. – 182 с.
2. Крук А.Р., Шитый В.П., Шаруха А.В., Мерданов Ш.М. Валец дорожного катка вибрационный // Патент на изобретение № 2456401, 20.07.2012 Бюл. № 20.
3. Мадьяров Т.М., Шитый В.П., Спиричев М.Ю., Шаруха А.В. Методы и средства определения влажности снежной массы для строительства временных зимних дорог // Новые технологии – нефтегазовому региону: материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 50-летию ТИИ-ТюмГНГУ. – Тюмень, 2013. – С. 229–231.
4. Мерданов Ш.М. Механизированные комплексы для строительства временных зимних дорог. – Тюмень, 2013.
5. Мерданов Ш.М. Научные основы создания комплексов машин для строительства временных зимних дорог в районах Севера и Сибири: дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.04. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2010. – 327 с.
6. Мерданов Ш.М., Егоров А.Л., Шаруха А.В., Спиричев М.Ю. Принципы формирования механизированных комплексов для возведения зимних дорог // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6. – С. 12.
7. Мерданов Ш.М., Закирзаков Г.Г., Шитый В.П., Анфиловьев А.С. Устройство для уплотнения снега // Патент России № 2373326.2009 Бюл. № 32.

8. Мерданов Ш.М., Шаруха А.В., Шитый В.П., Виноградов Е.И., Немирович Я.Е. Устройство для уплотнения снежного полотна // Патент России № 2495977.2013 Бюл. № 29.

9. Проектирование, строительство и содержание зимних автомобильных дорог на снежном и ледяном покрове в условиях Сибири и Северо-Востока СССР. – Омск, 1987. – С. 3–4.

10. Шаруха А.В. Обоснование параметров вибрационного рабочего органа снегобрикетировочной машины: дис. канд. техн. наук: 05.05.04. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2009. – 176 с.

11. Шаруха А.В. Обоснование параметров вибрационного рабочего органа объемного типа снегобрикетировочной машины: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Тюменский государственный нефтегазовый университет. – Тюмень, 2009.

12. Шаруха А.В. Обоснование параметров вибрационного рабочего органа объемного типа снегобрикетировочной машины: дис. ... канд. техн. наук / Тюменский государственный нефтегазовый университет. – Тюмень, 2007.

13. Шитый В.П., Шаруха А.В., Мерданов Ш.М., Сысов Ю.Г. Обоснование целесообразности создания машин совмещающих технологические операции при строительстве снежоледовых дорог // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 3. – С. 145.

14. Шитый В.П., Шаруха А.В., Спиричев М.Ю., Сибатуллин Т.А. Методика определения влажности снега используемого при строительстве временных зимних дорог из снега // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6; URL: www.science-education.ru/120-16983 (дата обращения: 16.03.2015).

15. Шитый В.П., Шаруха А.В., Спиричев М.Ю., Шитый П.П. Влияние термических свойств снега на технологию строительства временных зимних дорог из снега // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6; URL: www.science-education.ru/120-17009 (дата обращения: 16.03.2015).

References

1. Vajsberg I.S. Vybór parametrov i sozdanie vibroplotnitelej dlja stroitelstva snegoledjanyh dorozhnyh pokrytij: dis. ... kan. tehn. nauk: 05.05.04. Krasnojarsk, 1982. 182 p.

2. Kruk A.R., Shityj V.P., Sharuha A.V., Merdanov Sh.M. Valec dorozhnogo katka vibracionnyj // Patent na izobrenenie no. 2456401, 20.07.2012 Bjul. no. 20.

3. Madjarov T.M., Shityj V.P., Spirichev M.Ju., Sharuha A.V. Metody i sredstva opredelenija vlazhnosti snezhnoj massy dlja stroitelstva vremennyh zimnih dorog // Novye tehnologii neftegazovomu regionu: materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh, posvjashhennoj 50-letiju ТП-ТjумGNGU. Tjumen, 2013. pp. 229–231.

4. Merdanov Sh.M. Mehanizirovannye komplekсы dlja stroitelstva vremennyh zimnih dorog. Tjumen, 2013.

5. Merdanov Sh.M. Nauchnye osnovy sozdanija kompleksov mashin dlja stroitelstva vremennyh zimnih dorog v ra-

jonah Severa i Sibiri: dis. ... d-ra tehn. nauk: 05.05.04. Tjumen: TjумGNGU, 2010. 327 p.

6. Merdanov Sh.M., Egorov A.L., Sharuha A.V., Spirichev M.Ju. Principy formirovanija mehanizirovannyh kompleksov dlja vozvedeniya zimnih dorog // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2013. no. 6. pp. 12.

7. Merdanov Sh.M., Zakirzakov G.G., Shityj V.P., Anfilofev A.S. Ustrojstvo dlja uplotnenija snega // Patent Rossii no. 2373326.2009 Bjul. no. 32.

8. Merdanov Sh.M., Sharuha A.V., Shityj V.P., Vinogradov E.I., Nemirovich Ja.E. Ustrojstvo dlja uplotnenija snezhnogo polotna // Patent Rossii no. 2495977.2013 Bjul. no. 29.

9. Proektirovanie, stroitelstvo i sodержanie zimnih avtomobilnyh dorog na snezhnom i ledjanom pokrove v uslovijah Sibiri i Severo-Vostoka SSSR. Omsk, 1987. pp. 3–4.

10. Sharuha A.V. Obosnovanie parametrov vibracionnogo rabocheho organa snegobriketirujushhej mashiny. [Tekst]: dis. kand. tehn. nauk: 05.05.04. Tjumen: TjумGNGU, 2009. 176 p.

11. Sharuha A.V. Obosnovanie parametrov vibracionnogo rabocheho organa obemnogo tipa snegobriketirujushhej mashiny: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk / Tjumenskij gosudarstvennyj neftegazovyj universitet. Tjumen, 2009.

12. Sharuha A.V. Obosnovanie parametrov vibracionnogo rabocheho organa obemnogo tipa snegobriketirujushhej mashiny: dis. ... kand. tehn. nauk / Tjumenskij gosudarstvennyj neftegazovyj universitet. Tjumen, 2007.

13. Shityj V.P., Sharuha A.V., Merdanov Sh.M., Sysov Ju.G. Obosnovanie celesoobraznosti sozdanija mashin sovmeshhajushhih tehnologicheskie operacii pri stroitelstve snegoledovyh dorog // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2014. no. 3. pp. 145.

14. Shityj V.P., Sharuha A.V., Spirichev M.Ju., Sibagatullin T.A. Metodika opredelenija vlazhnosti snega ispolzuemogo pri stroitelstve vremennyh zimnih dorog iz snega // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2014. no. 6; URL: www.science-education.ru/120-16983 (дата обращения: 16.03.2015).

15. Shityj V.P., Sharuha A.V., Spirichev M.Ju., Shityj P.P. Vlijanie termicheskih svojstv snega na tehnologiju stroitelstva vremennyh zimnih dorog iz snega // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2014. no. 6; URL: www.science-education.ru/120-17009 (дата обращения: 16.03.2015).

Рецензенты:

Захаров Н.С., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Сервис автомобилей и технологических машин», ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», г. Тюмень;

Мерданов Ш.М., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Транспортные и технологические системы», ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», г. Тюмень.