УДК 69.057.7

© И. И. Воронцов, д-р техн. наук, профессор
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: vorontsov.52@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2018-15-3-153-160

© I. I. Vorontsov, Dr. Sci. Tech., Professor
(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)
E-mail: vorontsov.52@mail.ru

МНОГООПЕРАЦИОННОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ СРЕДСТВО ДЛЯ РАЗБРАСЫВАНИЯ ПЕСКОСОЛЯНОЙ СМЕСИ ПО ПОВЕРХНОСТИ СНЕЖНО-ЛЕДЯНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ТРОТУАРОВ И АВТОДОРОГ

MULTI-OPERATIONAL TECHNICAL APPLIANCE FOR SPREADING SAND-SALT MIXTURE ONTO THE SURFACE OF SNOW-ICE FORMATION ON SIDEWALKS AND HIGHWAYS

Рассмотрено обеспечение безопасности дорожного движения в зимний период посредством равномерного распределения пескосоляной смеси по поверхности снежно-ледяного образования автодорог и тротуаров. Представлен краткий обзор существующих технических средств внесения противогололедных материалов. Разработана конструкция многооперационного технического средства, обеспечивающего его эксплуатацию по двум технологиям: 1) равномерное распределение сыпучих материалов в кузове в процессе погрузки, транспортировка к месту назначения, дозирование соли, смешивание песка и соли с одновременным равномерным разбрасыванием пескосоляной смеси по поверхности снежно-ледяного покрытия автодорог и тротуаров; 2) равномерное распределение сыпучих материалов в кузове в процессе погрузки, транспортировка к месту назначения и выгрузка, как на месте, так и в движении. Экспериментально установлены зависимости факторов, влияющих на неравномерность разбрасывания пескосоляной смеси. Основные параметры рабочего режима многооперационного технического средства оптимизированы с помощью численного анализа регрессионных моделей и математической обработки.

Ключевые слова: автодорога, тротуар, снежно-ледяное образование, многооперационное техническое средство, пескосоляная смесь, неравномерность разбрасывания, результаты экспериментальных исследований, численный анализ регрессионных моделей.

The issues associated with ensuring the safety of road traffic in winter by means of processing and uniform spreading of sand and salt mixture over the surface of snow and ice formation on roads and sidewalks are considered. A brief overview of the existing technical appliances which allow improving the safety of vehicles on the roads and pedestrians on the sidewalks is presented with consideration of introducing anti-ice materials. The design of a multi-operational technical appliance has been developed which envisaged using two technologies. The machine operation provides the following: 1) uniform spreading of loose materials on the surface during loading, transportation to the destination, dosage of salt, mixing of sand and salt with simultaneous uniform dispersion of sand and salt mixture over the surface of snow and ice formation on roads and sidewalks; 2) uniform distribution of bulk materials in the machine body during loading, transportation to the destination and unloading, both in situ and in motion. Experimental studies have established the dependency of the factors affecting the uneven dispersion of the sand and salt mixture with a multi-operative technical appliance. Numerical analysis of regression models and mathematical processing allowed optimizing the main parameters of the operating mode of the multi-operative technical appliance.

Keywords: highway, sidewalk, snow and ice formation, multi-operational technical appliance, sand and salt mixture, uneven spreading, results of experimental studies, numerical analysis of regression models.

Введение

Обработка противогололедными материалами автодорог и тротуаров относится к наиболее важным мероприятиям зимнего содержания до-

рог с твердым покрытием. Применение противогололедных материалов устраняет скользкость и снежно-ледяное образование, приводящие к снижению коэффициента сцепления колес ав-

томобилей с поверхностью покрытий автодорог, а пешеходов — с поверхностью тротуаров в зимних условиях, увеличивающие вероятность возникновения дорожно-транспортных происшествий, снижающие скорость движения автомобилей и приводящие к увеличению количества несчастных случаев среди пешеходов [1–8]. Анализ и исследование действующих машин для очистки дорожных покрытий и тротуаров от уплотненного снега и льда [9], рабочих органов для очистки дорожных покрытий от льда [10], устройств для распределения сыпучих материалов [11], транспортно-технологического средства для распределения пескосоляной смеси [12–14] позволили выявить низкое качество очистки автодорог и тротуаров от снежно-ледяного образования из-за неравномерного распределения пескосоляной смеси. Также имеющиеся в городских и коммунальных хозяйствах технические средства для приготовления и обработки пескосоляными смесями служат только для обработки автодорог, для которой необходим большой шлейф машин и обслуживающий персонал, а для обработки тротуаров они не приспособлены из-за их габаритов [15–22].

Целью работы является разработка многооперационного технического средства, выполняющего технологический процесс приготовления и обработки пескосоляной смесью от снежно-ледяного образования тротуаров и автодорог и обеспечивающего эксплуатацию по двум технологиям: 1) равномерное распределение сыпучих материалов в кузове в процессе погрузки, транспортировка к месту назначения, дозирование соли, смешивание песка и соли с одновременным равномерным разбрасыванием пескосоляной смеси по поверхности снежно-ледяного покрытия автодорог и тротуаров; 2) равномерное распределение сыпучих материалов в кузове в процессе погрузки, транспортировка к месту назначения и выгрузка, как на месте, так и в движении.

Теоретические исследования

Известны различные способы борьбы с зимней скользкостью и снежно-ледяными образованиями. Один из них — обработка пескосоляными смесями, характеризующимися их плавящей способностью. Пескосоляная смесь — это смесь песка с хлоридами натрия, кальция или магния. Обычно эта смесь состоит из 92–97 % песка и

3–8 % поваренной соли (NaCl), норма посыпания для борьбы со снегом — $250\text{--}300\text{ г/м}^2$, кристаллы должны быть минимум 7–8 мм в размере. Для большей эффективности в случае сильных морозов песок смешивают с хлоридом кальция CaCl_2 или хлоридом магния MgCl_2 .

Исследования действующих машин для очистки дорожных покрытий и тротуаров от уплотненного снега и льда, рабочих органов для очистки дорожных покрытий ото льда, устройств для распределения сыпучих материалов, транспортно-технологических средств для распределения пескосоляной смеси позволили выявить следующие недостатки технологического процесса: неравномерное распределение пескосоляной смеси по поверхности снежно-ледяного образования автодорог и тротуаров, вследствие чего снижается качество их очистки.

Каждое из вышеперечисленных технических средств выполняет лишь одну операцию: смешивание компонентов (песок, соль); погрузку пескосоляной смеси в автотранспортное средство; разбрасывание пескосоляной смеси по поверхности снежно-ледяного образования автодорог. Так, для приготовления пескосоляной смеси в городских службах и коммунальных хозяйствах имеются стационарные смесители, для погрузки пескосоляной смеси — ковшовые погрузчики, для разбрасывания по поверхности снежно-ледяного образования автодорог — соответствующие транспортные средства. Таким образом, необходимо уже три единицы средств механизации по обработке поверхности снежно-ледяного образования автодорог, которые обеспечили бы полный цикл данного технологического процесса, а это требует большой шлейф машин с обслуживающим персоналом и соответствующие вложения. Однако обрабатывать тротуары от снежно-ледяного образования такими техническими средствами из-за их больших габаритов не представляется возможным.

На основании анализа литературных источников и существующих технических средств выявлено, что малогабаритные многооперационные технические средства по очистке тротуаров от снежно-ледяного образования отсутствуют. Следовательно, очевидна необходимость в создании многооперационных технических средств

для обработки тротуаров и автодорог от снежно-ледяного образования.

Объект исследования

Многооперационное техническое средство (рис. 1, 2) обеспечивает его эксплуатацию по двум технологиям: 1) равномерное распределение сыпучих материалов в кузове в процессе погрузки, транспортировку к месту назначения, дозирование соли, смешивание песка и соли с одновременным равномерным разбрасыванием пескосоляной смеси по поверхности снежно-ледяного образования тротуаров и автодорог; 2) равномерное распределение сыпучих материалов в кузове в процессе погрузки, транспортировку к месту назначения и выгрузку, как на месте, так и в движении; позволяет значительно повысить эксплуатационные возможности и качество очистки тротуаров и автодорог от снежно-ледяного образования.

Методика и результаты исследований

Результаты численного анализа и математической обработки. Оптимизация основных параметров многооперационного технического средства. В качестве параметра, с помощью которого оценивался объект исследований (многооперационное техническое средство), приняли неравномерность разбрасывания v_B пескосоляной смеси. В процессе эксперимента был принят трехуровневый план Бокса — Бенкина второго

Рис. 1. Многооперационное техническое средство (вид сбоку): 1 — платформа; 2 — выгрузной транспортер; 3, 4 — передний и боковые борта; 5 — битеры; 6 — боковые ограничители разброса сыпучих материалов; 7 — шасси; 8 — метатель; 9 — гидроцилиндр; 10 — гидромотор; 11 — борт-надставка; 12 — козырек; 13 — рукоятка; 14, 16 — вал; 15 — редуктор; 18 — дозатор; 19 — направляющие рукава; 20 — граблина-выравниватель

Рис. 2. Многооперационное техническое средство (вид А с рис. 1): 8 — метатель; 9 — гидроцилиндр; 11 — борт-надставка; 12 — козырек; 13 — рукоятка; 14, 16 — вал; 15 — редуктор; 17 — фиксатор

порядка. Результаты эксперимента обработаны с использованием инструмента «Регрессия» пакета «Анализ данных» MS Excel (табл. 1).

Уравнение линейной регрессии — зависимости неравномерности разбрасывания v_B пескосоляной смеси от количества оборотов битера n , угла установки лопасти на битере α и скорости движения многооперационного технического средства v получено в квадратичной форме.

По результатам вычислений составим уравнение множественной регрессии вида:

$$v_B = b_0 + b_1 n + b_2 \alpha + b_3 t + b_4 n^2 + b_5 n \alpha + b_6 \alpha^2 + b_7 \alpha^2 + b_8 \alpha t + b_9 t^2;$$

$$v_B = 7,3165 + 0,138n - 0,3456\alpha - 1,9086t - 0,00003n^2 - 0,00157n\alpha - 0,23287nt + 0,003255\alpha^2 + 0,27\alpha t - 15,0347t^2. \quad (1)$$

По данным таблицы дисперсионного анализа $F = 3,25$.

Вероятность случайно получить такое значение составляет 0,134, что превышает допустимый уровень значимости 5 %; об этом свидетельствует величина R -значения из таблицы дисперсионного анализа. Следовательно, полученное значение не случайно, оно сформировалось под влиянием существенных факторов, т. е. подтверждается статистическая значимость всего уравнения и показателя тесноты связи R^2 . Значения скорректированного и нескорректированного линейных коэффициентов множественной детерминации приведены в таблице регрессионной статистики. Нескорректированный коэффициент множественной детерминации $R^2 = 0,880$ оценивает долю вариации результата за счет

Таблица 1

Вывод итогов статистики

Регрессионная статистика									
Множественный R					0,937867				
R-квадрат					0,879595				
Нормированный R-квадрат					0,608683				
Стандартная ошибка					0,121647				
Наблюдения					14				
Дисперсионный анализ									
	df	SS		MS	F		Значимость F		
Регрессия	9	0,432416		0,048046	3,246795333		0,134421		
Остаток	4	0,059192		0,014798					
Итого	13	0,491608							
		Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-значение	Нижние 95 %	Верхние 95 %	Нижние 99,0 %	Верхние 99,0 %
	Y-пересечение	7,316486	6,289878	1,163216	0,309403185	-10,147	24,77999	-21,643	36,27568
n	Переменная X 1	0,138057	0,059028	2,338834	0,079479713	-0,02583	0,301946	-0,1337	0,409829
α	Переменная X 2	-0,34563	0,282234	-1,22462	0,287906257	-1,12924	0,437978	-1,6451	0,953804
t	Переменная X 3	-1,90861	13,0198	-0,14659	0,890544774	-38,0574	34,24016	-61,853	58,03581
n²	Переменная X 4	2,93E-05	0,000957	0,030631	0,977031054	-0,00263	0,002687	-0,0044	0,004436
na	Переменная X 5	-0,00157	0,000956	-1,6392	0,176514687	-0,00422	0,001087	-0,006	0,002834
nt	Переменная X 6	-0,23287	0,079646	-2,92382	0,043078716	-0,454	-0,01174	-0,5996	0,133827
α²	Переменная X 7	0,003255	0,003101	1,049523	0,353162209	-0,00536	0,011866	-0,011	0,017534
αt	Переменная X 8	0,27	0,143363	1,883336	0,132768488	-0,12804	0,668039	-0,3901	0,930055
t²	Переменная X 9	-15,0347	21,53756	-0,69807	0,523585287	-74,8326	44,76312	-114,2	84,12623

представленных в уравнении факторов в общей вариации результата. Здесь эта доля составляет 88,0 % и указывает на высокую степень обусловленности результата вариацией факторов, иными словами — на тесную связь факторов с результатами. Скорректированный коэффициент множественной детерминации $R^2 = 0,609$ [23].

Графически зависимость неравномерности разбрасывания v_b пескосоляной смеси многооперационным техническим средством от количества оборотов бitera n , угла установки лопасти на битере α и скорости движения многооперационного технического средства v , полученная в квадратичной форме, представлена на рис. 3–5 и в табл. 2.

Выводы

1. Способом борьбы со снежно-ледяными образованиями автодорог и тротуаров является способ обработки пескосоляными смесями, которые характеризуются их плавящей способностью. В сильные морозы более эффективна смесь

песка с хлоридом кальция CaCl_2 или хлоридом магния MgCl_2 .

2. Создано многооперационное техническое средство, которое обеспечивает его эксплуатацию по двум технологиям: 1) равномерное распределение сыпучих материалов в кузове в процессе погрузки, транспортировка к месту назначения, дозирование соли, смешивание песка и соли с одновременным равномерным разбрасыванием пескосоляной смеси по поверхности снежно-ледяного покрытия автодорог и тротуаров; 2) равномерное распределение сыпучих материалов в кузове в процессе погрузки, транспортировка к месту назначения и выгрузка, как на месте, так и в движении, что позволяет значительно повысить эксплуатационные возможности и качество очистки тротуаров и автодорог от снежно-ледяного образования.

3. Получена зависимость неравномерности разбрасывания пескосоляной смеси многофункциональным техническим средством от влияния факторов: количества оборотов бitera; угла

а) $v_n = 6,3334 + 0,0915 \cdot x - 0,2916 \cdot y + 2,9321 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 - 0,0016 \cdot x \cdot y + 0,0033 \cdot y^2$

а) $v_n = 5,8039 + 0,0775 \cdot x - 0,2754 \cdot y + 2,9321 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 - 0,0016 \cdot x \cdot y + 0,0033 \cdot y^2$

б) $v_n = 6,3334 + 0,0915 \cdot x - 0,2916 \cdot y + 2,9321 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 - 0,0016 \cdot x \cdot y + 0,0033 \cdot y^2$

б) $v_n = 5,8039 + 0,0775 \cdot x - 0,2754 \cdot y + 2,9321 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 - 0,0016 \cdot x \cdot y + 0,0033 \cdot y^2$

Рис. 3. Зависимость неравномерности разбрасывания v_n пескосольной смеси от количества оборотов бitera n , угла установки лопасти на битере α при скорости движения многооперационного технического средства $v = 0,2$ м/с

Рис. 4. Зависимость неравномерности разбрасывания v_n пескосольной смеси от количества оборотов бitera n , угла установки лопасти на битере α при скорости движения многооперационного технологического средства $v = 0,26$ м/с

а) $v_n = 5,1662 + 0,0635 \cdot x - 0,2592 \cdot y + 2,9321 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 - 0,0016 \cdot x \cdot y + 0,0033 \cdot y^2$

б) $v_n = 5,1662 + 0,0635 \cdot x - 0,2592 \cdot y + 2,9321 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 - 0,0016 \cdot x \cdot y + 0,0033 \cdot y^2$

Рис. 5. Зависимость неравномерности разбрасывания v_n пескосольной смеси от количества оборотов бitera n , угла установки лопасти на битере α при скорости движения многооперационного технического средства $v = 0,32$ м/с

Таблица 2

Зависимость минимальной и максимальной неравномерности разбрасывания пескосоляной смеси v_B от скорости движения многооперационного технического средства

Скорость движения многооперационного технического средства v , м/с	Неравномерность разбрасывания пескосоляной смеси v_B , %	Количество оборотов бitera n , об./мин	Угол установки лопасти на битере α , град
0,2	$v_{B \min} (9; 47) = 0,05$	9	47,5
	$v_{B \max} (27; 40) = 0,68$	27	40
0,26	$v_{B \min} (9; 44,5) = 0,07$	9	44,5
	$v_{B \max} (9; 50) = 0,16$	9	50
0,32	$v_{B \min} (10; 42) = 0,0003$	10	42
	$v_{B \max} (9; 50) = 0,21$	9	50

установки лопасти на битере; скорости движения многофункционального технического средства.

4. Выявлено влияние скорости движения многофункционального технического средства на неравномерность разбрасывания пескосоляной смеси по поверхности снежно-ледяного образования тротуаров и автодорог.

Библиографический список

1. Бобков В. Ф. Дорожные условия и безопасность движения: учебник для вузов. М.: Транспорт, 1993.
2. Чеботаев А. А. Специализированные транспортные средства. Выбор и эффективность применения. М.: Транспорт, 1998. 159 с.
3. Транспорт в России. 2002: стат. сб. М.: Госкомстат России, 2002. 93 с.
4. Веюков Е. В., Салихов М. Г. Технологии производства и применения антигололедных щебеночно-мастичных асфальтобетонов для покрытий лесовозных дорог // Фундаментальные исследования. 2012. № 11-4. С. 917–921.
5. Беляев В. М. Организация автомобильных перевозок и безопасность движения. М.: МАДИ, 2014. 204 с.
6. Пеншин Н. В. Организация транспортных услуг и безопасность транспортного процесса. Тамбов: ТГТУ, 2014. 476 с.
7. Касаткин Ф. П., Коновалов С. И., Касаткина Э. Ф. Организация перевозочных услуг и безопасность транспортного процесса. М.: Академический проект, 2005. 346 с.
8. Прокофьев М. В. Конструкция и эксплуатация автотранспортных средств. М.: АСМАП, 2000. 76 с.
9. А. с. 896158 СССР, кл. E01H 5/12. Машина для очистки дорожных покрытий и тротуаров от уплотненного снега и льда / Ю. Б. Рейзнер, А. Е. Мерман, В. Ю. Рейзнер; заявл. 21.02.1980; опубл. 07.01.1982.
10. А. с. 1025781 СССР, кл. A61D 11/00. Рабочий орган для очистки дорожных покрытий от льда / Л. И. Зауралов, В. П. Жаворонко, В. Н. Левченко; заявл. 24.03.1982; опубл. 30.06.1983.
11. А. с. 19053 Российская Федерация, E01C 19/20. Устройство для распределения сыпучих материалов / В. И. Сергеев, Н. В. Шевякова; заявл. 29.07.2003; опубл. 10.02.2005.
12. Патент 2053659 Российская Федерация, кл. A 01 K 5/02, A 01 D 90/06. Транспортно-технологическое средство / Н. Ф. Скурятин, И. И. Воронцов, С. А. Булавин; Белгородский сельскохозяйственный институт. Заявл. 22.07.1993; опубл. 10.02.1996.
13. Патент 2120727, Российская Федерация, кл. A 01 K 5/02. Лопасть-нож смесителя / И. И. Воронцов, В. А. Сидельников, А. В. Масленников, Н. И. Жигалов, Н. А. Жаворонко; Белгородская государственная сельскохозяйственная академия. Заявл. 05.05.1996; опубл. 27.10.1998.
14. Патент 2181937, Российская Федерация, кл. A 01 K 5/02. Лопасть-нож смесителя / И. И. Воронцов, В. М. Горлов, Ю. Н. Бойко, А. А. Лаптев, В. А. Сидельников, С. И. Воронцов; Белгородская государственная сельскохозяйственная академия. Заявл. 09.11.2000; опубл. 10.05.2002.
15. Воронцов И. И. Разработка универсального транспортно-технологического средства для самозагрузки и перемещения грузов. Междунар. науч.-техн. конф. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. 196 с.
16. Воронцов И. И. Транспортные и погрузочно-разгрузочные средства. СПб.: Изд-во СПбГЭУ, 2015. 91 с.

17. Воронцов И. И., Воронцов С. И. Энергосберегающие технологические механизированные средства сервисного обслуживания фирм и коллективных фермерских хозяйств. СПб.: СПбГУСЭ, 2012. 159 с.

18. Воронцов И. И. Обоснование энергосберегающих технологических механизированных средств сервисного обслуживания фирм и коллективных фермерских хозяйств. СПб.: СПбГТУ, 2015. 140 с.

19. Воронцов И. И., Воронцов С. И. Разработка универсального транспортно-технологического средства для самозагрузки и перемещения грузов, приготовления и раздачи кормовых смесей // Технико-технологические проблемы сервиса. 2012. № 3 (21). С. 26–29.

20. Шестопалов К. К. Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование. М.: Академия, 2008. 320 с.

21. Ключин Ю. Ф. Транспортные и погрузочно-разгрузочные средства. М.: Академия, 2011. 336 с.

22. Дементьев А. И., Юдаев Н. В. Основы безопасности выполнения подъемно-транспортных работ. М.: Дашков и Ко, 2010. 177 с.

23. Воронцов И. И. Результаты экспериментальных исследований смесителя-раздатчика кормов и их анализ // Проблемы экономики и управления в торговле и промышленности. 2014. № 1. С. 71–84.

References

1. Bobkov V. F. *Dorozhnye usloviya i bezopasnost' dvizheniya* [Road conditions and traffic safety]. Moscow, Transport Publ., 1993.

2. Chebotaev A. A. *Spetsializirovannye transportnye sredstva. vybor i ehffektivnost' primeneniya* [Specialized vehicles. Selection and application efficiency]. Coll. of works "Transport in Russia". Moscow, Transport Publ., 1998, 159 p.

3. *Transport v Rossii* [Transport in Russia]. Statistic coll. of works. Moscow, Goskomstat Rossii Publ., 2002, 93 p.

4. Veyukov E. V., Salikhov M. G. *Tekhnologii proizvodstva I primeneniya antigoleednykh shchebenochno-mastichnykh asfal'tobetonov dlya pokrytiy lesovoznykh dorog* [Technology of production and application of anti-icing stone-mastic asphalt coating of logging roads]. *Fundamental'nye issledovaniya – Fundamental study*, 2012, no. 11(4), pp. 917–921.

5. Belyaev V. M. *Organizatsiya avtomobil'nykh perevozok i bezopasnost' dvizheniya* [Organization of road transport and traffic safety. Teaching manual]. Moscow, MADI Publ., 2014, 204 p.

6. Pen'shin N. V. *Organizatsiya transportnykh uslug i bezopasnost' transportnogo protsessa* [Organization of transport services and transport vehicle safety].

Tekhnologiya transportnykh protsessov [Technology of transport processes]. Tambov, FGBOU VPOTGTU Publ., 2014, 476 p.

7. Kasatkin F. P., Konovalov S. I., Kasatkina E. F. *Organizatsiya uslug i bezopasnost' transportnogo protsessa* [Organization of transportation services and transport process safety]. 2-nd edition. Moscow, Akademicheskii Proekt Publ., 2005, 346 p.

8. Prokof'ev M.V. *Konstruktsiya i ehkspluatatsiya avtotransportnykh sredstv* [Construction and operation of vehicles]. Moscow, ASMAP Publ., 2000, 76 p.

9. Reyznern Yu. B., Merman A. E., Reyznern V. Yu. A.S. SSSR no. 896158, kl. E01N5/12. *Mashina dlya ochistki dorozhnykh pokrytiy i trotuarov ot uplotnennogo snega i l'da* [A.S. SSSR no. 896158, kl. E01N5/12. Machine for cleaning road surfaces and sidewalks from compacted snow and ice]. Publ. 1982.

10. Zauralov L. I., Zhavoronko V. P., Levchenko V. N. A. S. SSSR no. 1025781, kl. A61D 11/00. *Rabochiy organ dlya ochistki dorozhnykh pokrytiy ot l'da* [A. S. SSSR no. 1025781, kl. A61D 11/00. Working body for cleaning road surfaces from ice]. Publ. 1983.

11. Sergeev V. I., Shevyakova N. V. A. S. RU 19053, E01C19/20. *Ustroystvo dlya raspredeleniya sypuchikh materialov* [S. RU 19053, E01C19/20. Appliance for distribution of bulk materials]. Publ. 2005.

12. Skuryatin N. F., Vorontsov I. I., Bulavin S. A. *Transportno-tekhnologicheskoe sredstvo* [Transport and technological appliance]. Patent RF no. 2053659, 1996.

13. Vorontsov I. I., et al. *Lopast'-nozhsmesitelya* [Blade-knife mixer]. Patent RF, no. 2120727, 1998.

14. Vorontsov I. I., et al. *Lopast'-nozhsmesitelya* [Blade-knife mixer]. Patent RF, no. 2181937, 2000.

15. Vorontsov I. I. *Razrabotka universal'nogo transportno-tekhnologicheskogo sredstva dlya samozagruzki i peremeshcheniya грузов* [Development of universal transport and technological vehicle for self-loading and cargo transportation]. *Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf.* [International. sci.- tech. conf.]. St. Petersburg, Polytechnic University Publ., 2014, 196 p.

16. Vorontsov I. I. *Transportnye i pogruzochno-razgruzochnye sredstva* [Transport loading unloading vehicles]. St. Petersburg, SPbGEU Publ., 2015, 91 p.

17. Vorontsov I. I. *Ehnergoberegayushchie tekhnologicheskie mekhanizirovannye sredstva servisnogo obsluzhivaniya firm i kollektivnykh fermerskikh khozyaystv* [Energy saving technological mechanized means of service of firms and collective farms]. St. Petersburg, SPbGEU Publ., 2012, 159 p.

18. Vorontsov I. I. *Obosnanie eovhnergoberegayushchikh tekhnologicheskikh mekhanizirovannykh sredstv servisnogo obsluzhivaniya firm i kollektivnykh fermerskikh khozyaystv* [Justification of energy-saving technological mechanized means of service of firms and

collective farms]. St. Petersburg, SPbGEU Publ., 2015, 140 p.

19. Vorontsov I. I., Vorontsov S. I. *Razrabotka universal'nogo transportno-tekhnologicheskogo sredstva dlya samozagruzki i peremeshcheniya грузов, prigotovleniya i razdachi kormovykh smesey* [Development of a universal transport and technological means for loading and transportation of cargoes, preparation and distribution of feed mixtures]. St. Petersburg, *Tekhniko-tekhnologicheskie problemy servisa – Technical and technological problems of service*, 2012, no. 3(21), pp. 26–29.

20. Shestopalov K. K. *Pod'emno-transportnye, stroitel'nye i dorozhnye mashiny i oborudovanie* [Lifting and transport, construction and road machinery and equipment]. 3-rd. edition. Moscow, Akademiya Publ., 2008, 320 p.

21. Klyushin Yu. F. *Transportnye i pogruzochno-razgruzochnye sredstva* [Transport and loading and unloading vehicles]. Ed. by Klyushin Yu. F. Moscow, Akademiya Publ., 2011, 336 p.

22. Dement'ev A.I., Yudaev N. V. *Osnovy bezopasnosti vypolneniya pod'emno-transportiruyushchikh rabot* [Basics of the safe implementation of lifting-transport works]. Moscow, Dashkovi K. Publ., 2010, 177 p.

23. Vorontsov I. I. *Rezul'taty ehksperimental'nykh issledovaniy smesitelya-razdatchika kormov i ikh analiz* [Results of experimental studies of feed mixer-distributor and their analysis]. *Problemy ehkonomiki i upravleniya v torgovle i promyshlennosti – Problems of economy and management in trade and industry*, 2014, no. 1, pp. 71–84.