

ОЦЕНКА ДЕФОРМАЦИИ ЗОНЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЖИДКОГО ПРОТИВОГОЛОЛЕДНОГО РЕАГЕНТА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ПАРАМЕТРАХ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ

К.П. Мандровский

effectmash@mail.ru

Я.С. Садовникова

jana.sadovnikova@yandex.ru

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Российская Федерация

Аннотация

Исследовано распределение жидких противогололедных реагентов по аэродромному покрытию. Дана оценка деформации зоны обработки, способствующей образованию неравномерности распределения, при различных параметрах внешней среды (температуре воздуха, скорости и направлении ветра). Исследования базируются на разработанных математических моделях движения капель реагентов по распределительному диску и в воздушной среде. Проанализировано изменение формы зоны распыления при наличии ветра. Рассмотрена совместная деформация зон при распределении реагента двумя дисками. Выведена зависимость перекрытия двух зон и ширины необработанной зоны от скорости и направления ветра. Смоделирован процесс распределения реагента при различных температурах окружающей среды и варьируемой высоте дисков над покрытием. На основе полученных результатов дана оценка показателей качества противогололедной обработки для температурного диапазона от 0 до -15 °С. Практическая ценность полученных результатов заключается в возможности их применения при разработке оперативных способов обеспечения качества распределения жидких реагентов при меняющихся условиях внешней среды

Ключевые слова

Противогололедный реагент, капля реагента, скорость ветра, высота диска над покрытием, зона распределения, необработанная зона, ширина области перекрытия

Поступила 17.12.2018

© Автор(ы), 2019

Введение. Эксплуатируемые в настоящее время распределители жидких противогололедных реагентов (ПГР) позволяют добиться достаточно высокого качества обработки покрытий. К показателям качества относятся: равномерность распределения реагента по заданной ширине зоны обра-

ботки и норме расхода реагента; отсутствие необработанных зон покрытия. При проведении мероприятий по распределению ПГР остается нерешенной проблема поддержания показателей качества постоянными на протяжении всего процесса распределения реагента. Как правило, аэродромные распределители оснащаются несколькими рабочими органами — распределительными дисками. При совместном их функционировании неизбежно образуются области покрытия, куда реагент подается дважды, так называемые области перекрытия. Помимо этого часто наблюдается наличие необработанных ПГР зон. Подобная проблема впервые обнаружена при эксплуатации сельскохозяйственной техники [1]. Решения начали предлагаться также агротехниками [2, 3]. Основной акцент был сделан на настройку параметров распределительных устройств. Предлагались и пути совершенствования конструкции штанговых разбрасывателей [4, 5]. Неравномерность распыления реагентов аэродромными распределителями изучалась не так интенсивно. Большая часть имеющихся работ относится к распределителям твердых реагентов [6]. В работах приведены заслуживающие внимания результаты моделирования и изучения принципа действия рабочих органов и проанализировано влияние конструктивных факторов на неравномерность распределения материала [7, 8]. Ни в одной из перечисленных работ не были полно и качественно проанализированы параметры внешней (окружающей) среды в качестве возможных причин образования неравномерности. К параметрам внешней среды относятся скорость и направление ветра, а также температура воздуха.

Следовательно, необходимо с помощью математических моделей описать процесс распределения жидкого реагента аналогично тому, как это сделано в работах [9–11], определить, какие характеристики внешней среды и каким образом влияют на качество распределения ПГР. Показатели качества распределения надо оценивать методом анализа характера и степени деформации зон распределения при различных внешних условиях. Крайне важны подобные исследования, проведенные для различного расположения распределительного оборудования относительно покрытия и разных режимов его функционирования. Результаты моделирования позволят разработать конкретные способы обеспечения высоких показателей качества при меняющихся условиях внешней среды. Эти способы гарантируют снижение перерасхода реагента, т. е. повышение экономичности рабочего процесса, снижение экологического вреда, наносимого окружающей среде реагентами, и повышение эффективности процесса противогололедной обработки в целом.

Математическая модель движения капли реагента по диску. При разработке моделей принимаем следующие допущения: рассматриваем каплю сферической формы; учитываем физические свойства воздушной среды — температуру T , плотность ρ_1 , коэффициент динамической вязкости η . Вид рабочего оборудования — вращающийся распределительный диск с гидравлическими форсунками. На каждую движущуюся к диску каплю действуют силы тяжести, инерции и сопротивления движению.

Общий вид уравнений движения капли по оси z' с учетом действующих сил:

$$F_T = F_{\text{и}} + F_c,$$

где F_T , $F_{\text{и}}$ и F_c — силы тяжести, инерции и сопротивления движению капли, или

$$a_{z'} = g - \left(\frac{kV_{z'}}{m} \right),$$

где $a_{z'}$ — ускорение капли по оси z' ; m — масса капли; g — ускорение свободного падения; $V_{z'}$ — скорость движения капли по оси z' ; k — коэффициент сопротивления движению.

При движении капли ПГР по оси x' на нее будут действовать только силы инерции и сопротивления воздушной среды F_c . Уравнение движения по оси x' принимает вид

$$ma_{x'} = F_c,$$

где F_c — сила сопротивления воздушной среды.

После достижения капель диска процесс истечения заканчивается и начинается второй этап движения капли — перемещение ее по диску. Принимая во внимание сложность изучения всех возможных траекторий движения капли по диску, целесообразно рассматривать движение капли вдоль лопатки из двух начальных положений (рис. 1, точки 4 и 5). При попадании капли на диск ее положение в системе координат $x'y'z'$ характеризовалось координатой x'_0 . Для перехода к оси x , связанной с лопаткой диска и вращающейся вместе с ней, необходимо использовать данные о расположении форсунок в кожухе диска.

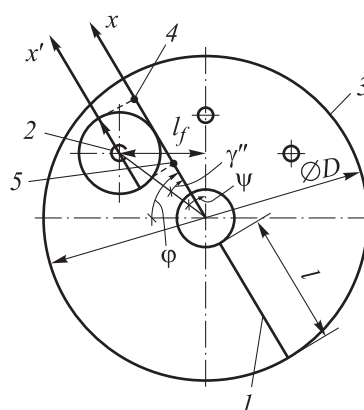


Рис. 1. Схема рабочего оборудования:

1 — лопатка диска; 2 — форсунка; 3 — диск; 4 и 5 — точки с координатами $x_{\text{н max}}$ и $x_{\text{н min}}$

Для нахождения значений $x_{н\max}$ (точка 4, см. рис. 1) и $x_{н\min}$ (точка 5, см. рис. 1) следует использовать параметры: l_f — расстояние от продольной оси диска до продольной оси форсунки; γ — угол, характеризующий положение капли в системе координат $x'y'z'$, связанной с форсункой; вспомогательные углы: $\gamma' = 90 - \psi$; $\gamma'' = \varphi - \gamma'$. В таком случае имеем

$$x_{н\max} = \left(\frac{l_f}{\cos \gamma'} + x'_0 \right) \cos \gamma'';$$

$$x_{н\min} = \left(\frac{l_f}{\cos \gamma'} - x'_0 \right) \cos \gamma''.$$

Найденные координаты $x_{н\max}$ и $x_{н\min}$ будут являться начальными условиями, необходимыми для решения уравнения движения капли вдоль лопатки диска. Найденное в результате решения уравнений истечения капли из форсунки значение скорости в проекции на ось x' также используется при решении уравнения движения капли вдоль лопатки [12]. Движение капли вдоль лопатки диска под действием внешних сил изучено в работе [6].

Математическая модель движения капли реагента в воздушной среде. В момент слета с диска и при движении капли в воздушной среде она подвергается воздействию сил инерции F_i , тяжести F_T , сопротивления воздушной среды F_c и силы Архимеда R , направленной противоположно силе тяжести [13, 14].

При рассмотрении движения капли в декартовой системе координат XYZ , где ось X направлена перпендикулярно продольной оси машины, а ось Z — параллельно продольной оси машины, уравнение движения капли в проекции на ось Y примет вид

$$ma_Y = mg - \rho_1 v_k g - kv,$$

где m — масса капли жидкого ПГР; a_Y — ускорение капли; ρ_1 — плотность воздуха; v_k — объем капли.

При учете движения машины следует принять во внимание возникновение сопротивления дополнительному воздушному потоку $V_{vm} = kV_m$, где V_m — скорость движения машины. Проецируя все силы на ось X , получаем

$$ma_X = k(V_X - V_v \cos \alpha),$$

где α — угол, характеризующий направление ветра относительно оси X .

Уравнение движения в проекции на ось Z примет вид

$$ma_Z = k(V_Z - V_v \sin \alpha - V_m).$$

Влияние скорости и направления ветра на ширину области перекрытия. Для изучения влияния параметров внешней среды на форму зоны, определяющую равномерность распределения ПГР, воспользуемся полученными уравнениями и расчетной схемой (рис. 2). На схеме показано такое расположение распределительных дисков, которое обеспечивает минимальное значение перекрытия. Следует отметить, что поддержание минимального значения b в течение всего процесса распыления является одним из условий равномерного распределения ПГР.

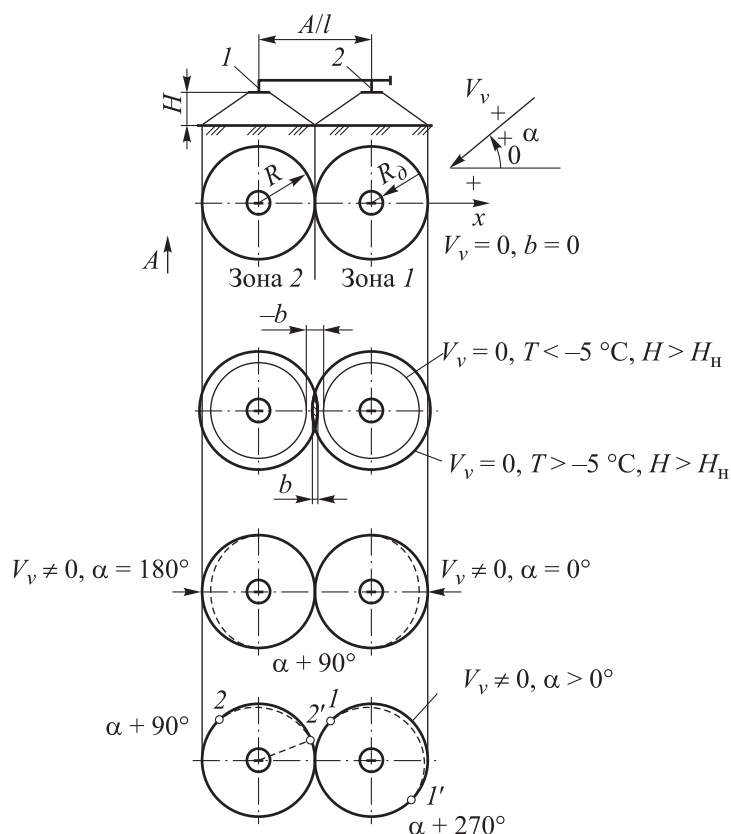


Рис. 2. Расчетная схема расположения рабочего оборудования:

$1, 2$ — распределительные диски; H — высота установки дисков над покрытием; l — расстояние между дисками; R — радиус зоны распыления; R_d — радиус диска; b — ширина области перекрытия; V_v — вектор скорости ветра; α — угол между осью X и вектором скорости ветра; T — температура окружающей среды

Изменение направления ветра будет приводить к деформации зоны обработки, находящейся с наветренной стороны (участок 1–1', см. рис. 2).

Вторая зона при этом будет деформироваться фрагментарно, так как часть ее расположена за подветренной частью первой зоны (участок 2–2', см. рис. 2). Увеличение угла α до 90° будет приводить к смещению участка 1–1' влево (против хода часовой стрелки). Координата X точки 2 при этом будет уменьшаться, точки 2' — увеличиваться, т. е. будет наблюдаться рост длины участка 2–2'. При $\alpha > 90^\circ$ будет уменьшаться длина участка 1–1'. Смещение против хода часовой стрелки будет характерно для 2–2'. Увеличение скорости ветра приведет лишь к изменению площади наветренной зоны (рис. 3). Таким образом, изменение направления и силы ветра не окажет действия на ширину области перекрытия, что справедливо для любой величины H .

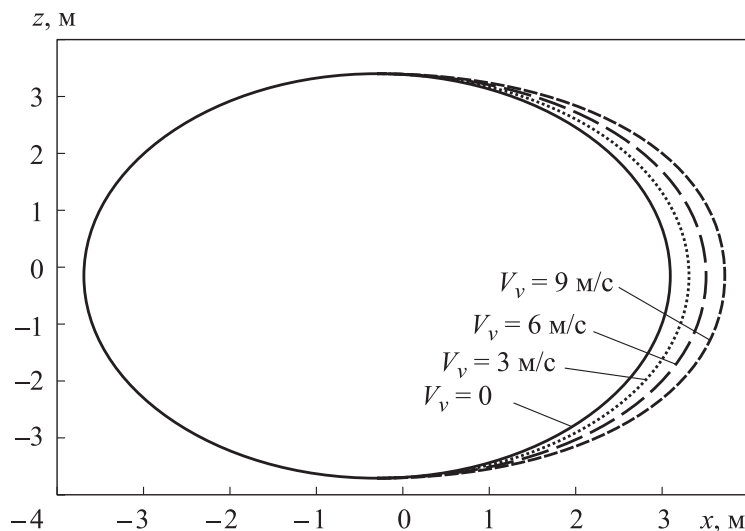


Рис. 3. Деформация зоны распределения при варьировании скорости ветра для $H = 0,4$ м и $\alpha = 0$

Влияние температуры окружающей среды на величину области перекрытия. При установке дисков на определенную высоту, расчете дальности полета капель и ориентировочной оценке перекрытия следует принимать во внимание воздействие температуры воздушной среды на процесс распределения. Выберем в качестве исходной величины $H_H = 0,4$ м для всего диапазона температур и определим, как будет меняться область перекрытия при уменьшении температуры от 0 до -15 °С (таблица). Значения плотности реагента будут приниматься в соответствии с рекомендациями по его использованию при выбранных температурах [15].

**Изменение ширины области перекрытия зон распределения
при варьировании температуры воздуха**

Высота рабочего оборудования, H , м	Температура воздуха, °С			
	0	-5	-10	-15
	Плотность воздуха, кг/м ³			
	1,293	1,318	1,342	1,369
	Плотность реагента, кг/м ³			
	1,06	1,15	1,21	1,26
0,2	-1,252	-1,112	-1,142	-1,151
0,25	-0,898	-0,850	-0,814	-0,808
0,3	-0,570	-0,544	-0,522	-0,516
0,35	-0,278	-0,268	-0,250	-0,252
0,4	0	0	0	0
0,45	0,258	0,290	0,238	0,230
0,5	0,510	0,480	0,460	0,450

Выводы. Варьирование скорости и направления ветра для всех назначаемых высот установки дисков не оказывает влияния на ширину области перекрытия, а приводит к уменьшению площади зоны распределения, расположенной с наветренной стороны.

1. Уменьшение высоты дисков над покрытием приводит к возникновению необработанных зон, ширина которых при понижении температуры воздуха от 0 до -5 °С увеличивается для $H = 0,2$ м до 1,252 и 1,112 м (что составляет 29,5 и 27,5 % диаметра зоны распределения). При этом приращение плотности реагента равно 0,09 кг/м³, плотности воздуха — 0,025 кг/м³ (см. таблицу). В диапазоне температур от -10 до -15 °С ширина необработанных зон для $H = 0,2$ м составляет 1,142 м (29,4 % диаметра зоны распыления) и 1,151 м (30 %), что объясняется одновременным повышением плотности воздуха на 0,049...0,076 кг/м³ по сравнению с начальным значением и повышением плотности реагента на 0,12...0,2 кг/м³.

2. Увеличение H до значений 0,45...0,5 м способствует образованию перекрытия, равного 0,510 м при нулевой температуре (11,9 % диаметра зоны). Дальнейшее понижение температуры незначительно уменьшает этот показатель до величины $b = 0,450$ м (11,7 %).

3. Выбор плотности реагента, превышающей на 11...19 % исходную плотность, полностью обоснован [15], поскольку позволяет добиться поддержания ширины b на уровне первоначального значения (наблюдаемого при нулевой температуре) и не допускать значительного увеличения разме-

ров необработанных областей покрытия при понижении температуры для $H < H_n$.

Заключение. Процесс образования неравномерности при нанесении жидкого реагента на покрытия до сих пор остается недостаточно изученным. Поддержание заданной ширины области перекрытия и предотвращение возникновения необработанных участков является актуальной проблемой, связанной с работой распределителей ПГР. Чтобы решить эту проблему, необходимо с помощью математического анализа определить причину отклонения от равномерности распределения реагента. Затем провести комплексное исследование всех выявленных эксплуатационных и конструктивных факторов, вызывающих появление некачественно обработанных участков покрытия.

В настоящей работе предпринята попытка с помощью математических моделей изучить характер воздействия на форму зоны распределения двух эксплуатационных параметров: ветра и температуры окружающей среды. Исследования проводились для разных установочных высот распределительных дисков. Полученные результаты моделирования являются базой для создания и функционирования системы мониторинга качества противогололедной обработки. Оснащение эксплуатируемых в настоящее время машин для распределения ПГР подобными системами [16, 17] позволит непрерывно контролировать показатели качества, обеспечивая при этом рациональное и экономное использование реагента.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Озеров В.Г., Шестаков В.М., Субботин Ю.А. и др. Способ контроля качества работы машин с дисковыми рабочими органами при внесении сыпучих материалов и устройство для его осуществления. Патент 2019948 РФ. Заявл. 20.05.1991, опубл. 12.01.1994.
- [2] Подшиваленко И.Л., Кузюр В.М. Обоснование рабочей ширины захвата штанги машины для внесения жидких органических удобрений. *Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения*, 2013, № 1, с. 18–23.
- [3] Тарасов С.Н. Обоснование необходимости совершенствования распределяющего устройства сошника для подпочвенно-разбросного посева. В: Достижения науки агропромышленному комплексу. Самара, РИЦ СГСХА, 2014, с. 297–300.
- [4] Бегун П.П., Дыба Э.В. Пути совершенствования центробежных разбрасывателей. *Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве. Мат. Междунар. науч.-техн. конф.*, 2015, т. 2, с. 36–40.
- [5] Личман Г.И., Колесникова В.А., Марченко Н.М. и др. Разработка алгоритма оценки точности систем позиционирования ГЛОНАСС/GPS при дифференцированном внесении удобрений. *Сельскохозяйственные машины и технологии*, 2017, № 2, с. 4–8.

- [6] Земдиханов М.М., Габдуллин Т.Р. Обоснование схемы и параметров центробежного разбрасывателя песка и реагентов. *Известия КГАСУ*, 2014, № 4, с. 484–489.
- [7] Емельянов Р.Т., Серватинский В.В., Прокопьев А.П. и др. Моделирование системы управления частотой вращения вала шнекового распределителя материала. *Вестник КрасГАУ*, 2016, № 5, с. 106–110.
- [8] Марсов В.И., Селезнев В.С. Применение адаптивной системы управления дозаторами непрерывного действия для экономичного распределения противогололедных материалов. *Новые материалы и технологии в машиностроении–2017. 25-я Междунар. науч.-техн. конф.*, 2011, с. 108–110.
- [9] Лежоев В.Р. Теоретические основы и практические методы зимнего содержания искусственных покрытий аэродромов гражданской авиации. Дис. ... д-ра техн. наук. Л., 1989.
- [10] Лапшин А.П., Мещеряков В.И., Борисов Ю.С. и др. Выбор способа удаления гололедных образований с искусственных покрытий аэродрома на основе математических методов. *Научный журнал КубГАУ*, 2017, № 129.
URL: <http://ej.kubagro.ru/2017/05/pdf/04.pdf>
- [11] Компьютерная обучающая и контролирующая программа «Оптимальная стратегия при выборе способа подготовки аэродрома». Зарегистрирована в НИЦ О и ИТ ВУНЦ ВВС «ВВА», регистрационный номер № 1241/1, от 20.03.2017.
- [12] Мандровский К.П., Садовникова Я.С. Уточнение характеристик движения жидкого реагента по диску при распылении форсункой. *Интерстроймех–2018. Сб. докл. XXI Междунар. науч.-техн. конф.* М., МИСИ-МГСУ, 2018, с. 110–114.
- [13] Mandrovskiy K.P., Sadovnikova Y.S. Characteristics of the droplet motion of a liquid antifreeze reagent. *Magazine of Civil Engineering*, 2018, no. 3, pp. 14–26.
DOI: 10.18720/MCE.79.2
- [14] Виноградов А.Г. Врахування аеродинамічного коефіцієнта при математичному моделюванні руху крапель води в повітрі. *Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»*. Серія Машинобудування, 2011, № 63, с. 264–267.
- [15] Руководство по эксплуатации гражданских аэродромов Российской Федерации (РЭГА РФ–94). М., Воздушный транспорт, 1996.
- [16] Хунмэй Д. Автоматизации мониторинга технологического процесса шагающего экскаватора-драглайна. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*, 2003, № 5, с. 66–69.
- [17] Мандровский К.П. Анализ систем мониторинга дорожно-строительных машин и концепция системы управления эффективностью. *Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ)*, 2016, № 1, с. 26–33.

Мандровский Константин Петрович — канд. техн. наук, доцент кафедры «Дорожно-строительные машины» Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ) (Российская Федерация, 125319, Москва, Ленинградский пр-т, д. 64).

Садовникова Яна Сергеевна — инженер кафедры «Дорожно-строительные машины» Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ) (Российская Федерация, 125319, Москва, Ленинградский пр-т, д. 64).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Мандровский К.П., Садовникова Я.С. Оценка деформации зоны распределения жидкого противогололедного реагента при различных параметрах внешней среды. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2019, № 6, с. 65–76.

DOI: 10.18698/0236-3941-2019-6-65-76

ASSESSMENT OF THE LIQUID DEICING REAGENT DISTRIBUTION ZONE DEFORMATION AT DIFFERENT PARAMETERS OF THE ENVIRONMENT

K.P. Mandrovskiy
Ya.S. Sadovnikova

effectmash@mail.ru
jana.sadovnikova@yandex.ru

**Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI),
Moscow, Russian Federation**

Abstract

The article considers distribution of liquid deicing reagents over aerodrome pavement. The deformation of the treatment zone contributing to the formation of unevenness of distribution under different environmental parameters (air temperature, wind speed and direction) is estimated. The research is based on the developed mathematical models of the reagent droplet movements over the distribution disk and in the air. The dependence of overlapping the two zones and the width of the untreated zone on the wind speed and direction is derived. The process of reagent distribution at different ambient temperatures and varying height of disks above the pavement is simulated. Estimation of quality indicators of anti-icing treatment for the temperature range from 0 to $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ is given on the basis of the obtained results. The practical value of the obtained results lies in the possibility of their application in the development of operational methods to ensure the quality of distribution of liquid chemicals under changing environmental conditions

Keywords

Deicing reagent, deicing chemical drop, wind speed, disc height above the pavement, distribution zone, untreated zone, width of the area overlapping

Received 17.12.2018
© Author(s), 2019

REFERENCES

- [1] Ozerov V.G., Shestakov V.M., Subbotin Yu.A., et al. Sposob kontrolya kachestva raboty mashin s diskovymi rabochimi organami pri vnesenii sypuchikh materialov i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya [A way to control work quality of machines with disk working bodies when introducing bulk materials and a device for its implementation]. Patent 2019948 RF. Appl. 20.05.1991, publ. 12.01.1994 (in Russ.).
- [2] Podshivalenko I.L., Kuzyur V.M. Justification working width rod machines for application of liquid organic fertilizer. *Konstruirovaniye, ispol'zovaniye i nadezhnost' mashin sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya*, 2013, no. 1, pp. 18–23 (in Russ.).
- [3] Tarasov S.N. Obosnovaniye neobkhodimosti sovershenstvovaniya raspredelyayushchego ustroystva soshnika dlya podpochvenno-razbrosnogo poseva V: Dostizheniya nauki agropromyshlennomu kompleksu [Substantiation of improvement need for opener coupler for sub-soil spreading. In: Scientific achievements of the agro-industrial complex]. Samara, RITs SGSKhA Publ., 2014, pp. 297–300 (in Russ.).
- [4] Begun P.P., Dyba E.V. [Ways to improve centrifugal spreaders]. *Nauchno-tekhnicheskiiy progress v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve. Mat. Mezhdunar. nauch.-tekh. konf.* [Scientific and technical progress in agricultural production. Proc. Int. Sc.-Tech. Conf.], 2015, vol. 2, pp. 36–40 (in Russ.).
- [5] Lichman G.I., Kolesnikova V.A., Marchenko N.M., et al. Algorithm development for assessment of accuracy positioning systems GLONASS/GPS with differentiated application of fertilizers. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii* [Agricultural Machinery and Technologies], 2017, no. 2, pp. 4–8 (in Russ.).
- [6] Zemdikhanov M.M., Gabdullin T.R. Justification of the scheme and the parameters spinner reagents and sand. *Izvestiya KGASU* [News of the KSUAE], 2014, no. 4, pp. 484–489 (in Russ.).
- [7] Emel'yanov R.T., Servatinskiy V.V., Prokop'yev A.P., et al. Simulation of a control system of frequency of rotation of the auger dispenser of a material. *Vestnik KrasGAU* [The Bulletin of KrasGAU], 2016, no. 5, pp. 106–110 (in Russ.).
- [8] Marsov V.I., Seleznev V.S. [Application of adaptive control system for continuous flow dispensers with purpose of anti-ice materials economy distribution]. *Novye materialy i tekhnologii v mashinostroyenii–2017. 25-ya Mezhdunar. nauch.-tekh. konf.* [New materials in machine engineering–2017. 25th Int. Sc.-Tech. Conf.], 2011, pp. 108–110 (in Russ.).
- [9] Lezhoev V.R. Teoreticheskie osnovy i prakticheskie metody zimnego sodержaniya iskusstvennykh pokrytiy aerodromov grazhdanskoy aviatsii. Dis. d-ra tekhn. nauk [Theoretical foundations and practical methods for winter maintenance of artificial coatings on civil aviation airfields. Dr. Sc. (Eng.) Diss.]. Leningrad, 1989 (in Russ.).
- [10] Lapshin A.P., Meshcheryakov V.I., Borisov Yu.S., et al. The choice of ice removal methods from artificial aerodrome pavements on the basis of mathematical methods. *Nauchnyy zhurnal KubGAU* [Scientific Journal of KubSAU], 2017, no. 129 (in Russ.). Available at: <http://ej.kubagro.ru/2017/05/pdf/04.pdf>

- [11] Komp'yuternaya obuchayushchaya i kontroliruyushchaya programma "Optimal'naya strategiya pri vybore sposoba podgotovki aerodroma". Zaregistrovanna v NITs O i IT VUNTs VVS "VVA", registratsionnyy nomer 1241/1, ot 20.03.2017 [Computer training and monitoring software "Optimal strategy in choosing the method of aerodrome preparation". Registered in NITs O i IT VUNTs VVS "VVA", registration number 1241/1 of 20.03.2017] (in Russ.).
- [12] Mandrovskiy K.P., Sadovnikova Ya.S. [Refining motion characteristics of the liquid reagent on the disk sprayed by a nozzle]. *Interstroyemekh-2018. Sb. dokl. XXI Mezhdunar. nauch.-tekh. konf.* [Interstroyemekh-2018. Proc. XXI Int. Sc.-Tech. Conf.]. Moscow, MISI-MGSU Publ., 2018, pp. 110–114.
- [13] Mandrovskiy K.P., Sadovnikova Ya.S. Characteristics of the droplet motion of a liquid antifreeze reagent. *Magazine of Civil Engineering*, 2018, no. 3, pp. 14–26.
- [14] Vinogradov A.G. Taking into account aerodynamic coefficient in mathematical modelling of water drops motion in the air. *Visnik Natsional'nogo tekhnichnogo universitetu Ukraini "Kiiivs'kiy politekhnichniy institut". Seriya Mashinobuduvannya*, 2011, no. 63, pp. 264–267 (in Russ.).
- [15] Rukovodstvo po ekspluatatsii grazhdanskikh aerodromov Rossiyskoy Federatsii (REGA RF-94) [Operation manual for civil aerodromes exploitation of the Russian Federation (REGA RF-94)]. Moscow, Vozdushnyy transport, 1996.
- [16] Khunmey D. Automatized monitoring of technological process of excavator-dragline. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka* [Proceedings of Higher Schools. Geology and Exploration], 2003, no. 5, pp. 66–69 (in Russ.).
- [17] Mandrovskiy K.P. The analysis of monitoring systems in road construction machinery and concept of efficiency of management system. *Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI)*, 2016, no. 1, pp. 26–33 (in Russ.).

Mandrovskiy K.P. — Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Road-Building Machines, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI) (Leningradskiy prospekt 64, Moscow, 125319 Russian Federation).

Sadovnikova Ya.S. — Engineer, Department of Road-Building Machines, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI) (Leningradskiy prospekt 64, Moscow, 125319, Russian Federation).

Please cite this article in English as:

Mandrovskiy K.P., Sadovnikova Ya.S. Assessment of the liquid deicing reagent distribution zone deformation at different parameters of the environment. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Mechanical Engineering*, 2019, no. 6, pp. 65–76 (in Russ.). DOI: 10.18698/0236-3941-2019-6-65-76