

Расчет параметров лотка для дискового распределителя с симметричным способом подачи противогололедного материала

© К.П. Мандровский¹, Я.С. Садовникова²

¹Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, 125319, Российская Федерация,

²ООО «Эксперт-Центр», Москва, 115211, Российская Федерация

Процедуры анализа конструкции, расчета и обоснования параметров рабочего оборудования чрезвычайно важны для выполнения качественной и экономичной противогололедной обработки покрытий. Рассмотрены геометрические параметры дискового распределителя, предназначенного для противогололедной обработки ограниченных городских территорий. Она реализуется посредством симметричного способа подачи, при котором противогололедный материал поступает из бункера на диск с помощью лотка с кольцевой формой поперечного сечения. Установлены зависимости фактической плотности распределения материала по ширине зоны обработки от геометрических параметров лотка для различных значений высоты лопатки, плотности материала и площади зоны обработки. Определены значения внешнего и внутреннего радиусов кольцевого сечения лотка, при которых обеспечивается норма расхода противогололедного материала для требуемой площади зоны обработки и заданной высоте лопаток. Изложенный подход к расчету и обоснованию параметров лотка позволит осуществлять поиск эффективных конструктивных решений в сфере проектирования оборудования для симметричной подачи противогололедного материала на распределительный диск.

Ключевые слова: противогололедный материал, лоток, внутренний диаметр, внешний диаметр, симметричный способ подачи, дисковый распределитель, норма расхода, плотность распределения

Введение. Оценка систем распределения противогололедных материалов (ПГМ), анализ конструкции и обоснование параметров рабочего оборудования чрезвычайно важны для качественной и экономичной противогололедной обработки покрытий [1].

Большинство работ, касающихся проблемы обоснования параметров дисковых распределителей, относятся к сфере сельскохозяйственной техники [2, 3]. В исследовании [4] подробно рассматривается порядок расчета конструктивных и технологических параметров дискового аппарата для равномерного рассеивания твердых частиц (семян). Расчет базируется на принципе обеспечения неразрывности потока семян, поступающего из бункера и высеваемого дисковым аппаратом. Объемная подача частиц определяется при этом как произведение средней скорости потока распределяемого материала и площади его поперечного сечения. Значение подачи материала дисковым аппаратом рассчитывается исходя из значений плотности поперечного сечения слоя семян на диске, а также плотности и линейной

скорости движения слоя. Кроме того, изложен принцип расчета величины открытия заслонки, через которую материал поступает на диск, вращающийся с определенной частотой.

В статье [5] представлен расчет параметров процесса распределения противогололедных материалов (дальность полета частиц, ширина посыпки), при которых обеспечиваются предельные величины скорости равномерного движения частиц песка. Так, для частиц песка диаметром 4 мм определены частота вращения диска и высота его расположения над покрытием, при которых частицы движутся равномерно.

Теоретические исследования в области дорожных распределителей не столь обширны, но следует отметить ряд работ [6–8], посвященных проблеме обоснования параметров дискового оборудования.

Численные значения параметров высевной щели над распределительным диском определены в статье [7]. Принятый при расчете основной принцип заключается в том, что частное площади сечения высевной щели и ширины дорожного покрытия, по которому распределен ПГМ, должно быть величиной постоянной. Ширина высевной щели при этом прямо пропорциональна фокальному периметру параболы, описывающей форму кожуха диска, и обратно пропорциональна среднему радиусу подачи материала от оси вращения диска. Данный расчет применим для оборудования, оснащенного кожухом диска и реализующего традиционный способ подачи ПГМ на диск.

Экспериментальное исследование равномерности распределения ПГМ с учетом формы сечения потока материалов и формы высевной щели было изложено в работе [8]. Выявлено, что наиболее равномерное распределение характерно при высевной щели форме, которой изображена на рис. 1 [8]. Результаты подобного исследования доказывают, что форма и расположение щели оказывают существенное влияние на характеристики равномерности распределения ПГМ.

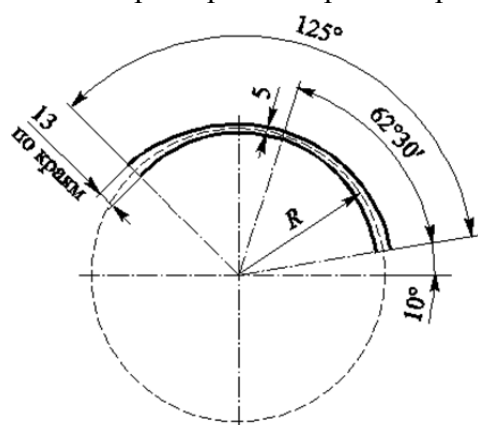


Рис. 1. Схема высевной щели

Принято оценивать эффективность работы распределителей ПГМ с помощью ряда показателей, в частности таких, как точность соблюдения заданных норм расхода материала [9–11].

Цель статьи — провести расчет и обосновать геометрические параметры лотка с учетом соблюдения требуемой нормы расхода противогололедного материала.

Выбор и определение параметров дискового оборудования. Вышеназванные работы в этой сфере ориентированы на традиционный несимметричный способ подачи, при котором высевная щель расположена не по всему диаметру диска. Авторами предложен симметричный способ подачи, при котором материал поступает из бункера на диск с помощью лотка с кольцевой формой поперечного сечения (рис. 2). Преимущества подобного способа представлены в работах [12, 13].

Необходимо оценить связь значений геометрических параметров лотка (внешнего и внутреннего радиусов лотка) с обеспечиваемой плотностью распределения ПГМ. Это позволит выработать методику калибровки распределительного оборудования для создания качественной противогололедной обработки.

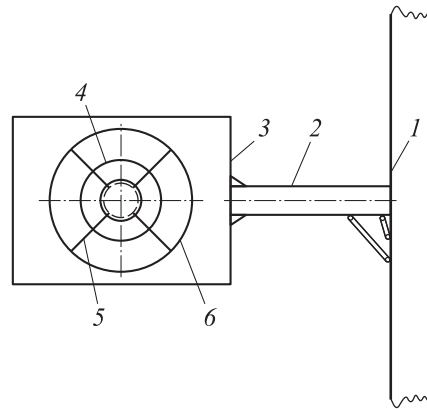


Рис. 2. Схема оборудования, реализующего симметричный способ подачи: 1 — базовая машина; 2 — выносная штанга с распределительным оборудованием; 3 — бункер; 4 — лоток с кольцевой формой поперечного сечения; 5 — лопатки диска; 6 — распределительный диск

Методы исследования. Расчет и обоснование геометрических параметров лотка основаны на условии соблюдения требуемой нормы расхода ПГМ. Фактическая плотность распределения ПГМ, которую способно обеспечить дисковое оборудование, должна соответствовать нормированной плотности распределения ПГМ. Фактическая площадь обрабатываемой полосы определяется как произведение фактической ширины полосы обработки, скорости движения машины и значения расчетного промежутка времени t . Следовательно, при выборе значений радиусов кольцевого сечения лотка следует руководствоваться необходимостью обеспечивать подачу массы ПГМ, отвечающей значению нормы расхода ПГМ.

Объем $V_{\text{ц}}$ материала на диске определяется по высоте лопаток, внешнему и внутреннему радиусам лотка:

$$V_{\text{ц}} = \pi h_{\text{л}} (r_{\text{вн}}^2 - r_{\text{вн}}^2), \text{ м}^3 \quad (1)$$

где $h_{\text{л}}$ — высота лопатки, м; $r_{\text{вн}}$ — внешний радиус лотка, м; $r_{\text{вн}}$ — внутренний радиус лотка, м.

Тогда фактическая масса ПГМ $m_{\text{ф}}$ на диске

$$m_{\text{ф}} = V_{\text{ц}} \rho_{\text{ПГМ}} = \pi h_{\text{л}} (r_{\text{вн}}^2 - r_{\text{вн}}^2), \quad (2)$$

где $\rho_{\text{ПГМ}}$ — плотность ПГМ, кг/м³.

Значение m_ϕ на диске должно быть не меньше нормированной массы m_n , определяемой из значения нормированного расхода, утвержденного согласно принятым технологиям по производству работ по зимнему содержанию дорог:

$$m_n = q_n S_1, \quad (3)$$

где q_n — норма расхода ПГМ, г/м²; S_1 — площадь полосы обработки, которую требуется обеспечить, м².

Зная скорость движения машины и требуемую ширину полосы обработки, можно получить ориентировочное значение фактической плотности распределения ПГМ:

$$q_\phi = \frac{m_\phi}{S_\phi} = \frac{\rho_{\text{ПГМ}} \left(\pi h_{\text{л}} (r_{\text{вн}}^2 - r_{\text{вн}}^2) \right)}{S_\phi}, \text{ или } q_\phi = \frac{Q}{S_\phi t} = \frac{Q}{V_m b t}, \quad (4)$$

где q_ϕ — фактическая плотность распределения ПГМ, кг/м²; S_ϕ — фактическая площадь полосы обработки, м²; Q — подача (расход) ПГМ на диск в единицу времени, кг/с; V_m — скорость движения машины, м/с; b — ширина полосы обработки, м; t — время движения машины, с.

Следует учитывать, что место подачи ПГМ не должно располагаться близко к центру диска, так как в противном случае частицы не смогут покинуть диск ввиду малого радиуса падения.

Для того чтобы оценить взаимное влияние значений внутреннего и внешнего радиусов лотка и длины лопатки на характеристики процесса распределения ПГМ, удобно применять средства компьютерного (автоматизированного) расчета по разработанной авторами математической модели [14]. Данная модель, представляющая собой дифференциальные неоднородные уравнения второго порядка, описывает движение частиц ПГМ по диску и в воздухе. Решение задачи Коши позволяет использовать разработанные модели для нахождения скоростей, ускорений и дальности отлета частиц от диска.

При расчете и обосновании геометрических параметров сечения лотка необходимо проверять, способны ли выбранные параметры обеспечить нормы расхода ПГМ, который рассчитывается как объем полого цилиндра, единомоментно находящегося на диске и затем покидающего его в единицу времени. Необходимо рассчитать объемы полых цилиндров, попадающих из кольцевого сечения лотка на диск при разной высоте лопаток диска. Для расчета объема массы ПГМ на диске требуется назначить максимальный (внешний) и минимальный (внутренний) радиусы лотковой части, радиус диска и ступицы

диска. Элементарный объем ПГМ V_{i_1} , срезаемый лопатками при вращении диска, определяется по формуле

$$V_{i_1} = \frac{\infty h_{\text{л}}(r_{\text{вш}}^2 - r_{\text{вн}}^2)}{2}, \quad (5)$$

где $\infty = 360/n$; i — число лопаток диска, $i = 1, 2, \dots, n$; $h_{\text{л}}$ — высота лопатки диска, м.

Предполагается, что толщина слоя ПГМ на диске не превышает высоту лопаток диска.

Объем V_{i_1} при движении по диску преобразуется в некоторый фактический объем ПГМ V_{i_2} , рассчитываемый следующим образом:

$$V_{i_2} = \frac{\infty h(r_{\text{д}}^2 - r_0^2)}{2}, \quad (6)$$

где $r_{\text{д}}$ — диаметр диска, м; h — толщина слоя ПГМ, попавшего на вращающийся диск, м; r_0 — диаметр ступицы диска, м.

Поскольку объем материала неизменен, т. е. $V_{i_1} = V_{i_2}$, разницу E квадратов радиусов лотковой части можно выразить так:

$$E = r_{\text{вш}}^2 - r_{\text{вн}}^2 = \frac{h(r_{\text{д}}^2 - r_0^2)}{h_{\text{л}}}. \quad (7)$$

При расчете разностей квадратов радиусов задается диапазон значений $r_{\text{вш}} = 0,09 \dots 0,16$ м и $r_{\text{вн}} = 0,03 \dots 0,09$ м. Перебор значений радиусов с шагом 0,01 м при расчете разностей квадратов приводит к получению значений, обозначенных как E .

Расчет и обоснование геометрических параметров сечения лотка. В результате расчета по формулам (1)–(7) получены варианты значений разности квадратов E , приведенные в таблице.

Значения E при варьировании значений внутреннего и внешнего радиусов лотка

$r_{\text{вш}}, \text{ м}$	E при $r_{\text{вн}}, \text{ м}$							
	0,09	0,1	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16
0,03	0,0072	0,0091	0,0112	0,0135	0,016	0,0187	0,0216	0,0247
0,04	0,0065	0,0084	0,0105	0,0128	0,0153	0,018	0,0209	0,024
0,05	0,0056	0,0075	0,0096	0,0119	0,0144	0,0171	0,02	0,0231
0,06	0,0045	0,0064	0,0085	0,0108	0,0133	0,016	0,0189	0,022
0,07	0,0032	0,0051	0,0072	0,0095	0,012	0,0147	0,0176	0,0207
0,08	0,0017	0,0036	0,0057	0,008	0,0105	0,0132	0,0161	0,0192
0,09	0	0,0019	0,004	0,0063	0,0088	0,0115	0,0144	0,0175

На базе разработанной математической модели [14] построены номограммы (рис. 3 и 4). Фактическая плотность распределения рассчитывалась для значений площадей зоны обработки, равных 5...20 м².

Расчет проводится для разных значений плотности ПГМ. По номограммам (см. рис. 3) можно определить, при каких значениях E будет обеспечена норма расхода ПГМ для требуемой площади зоны обработки и заданной высоте лопаток. Исходя из этого определяются значения внешнего и внутреннего радиусов лотка.

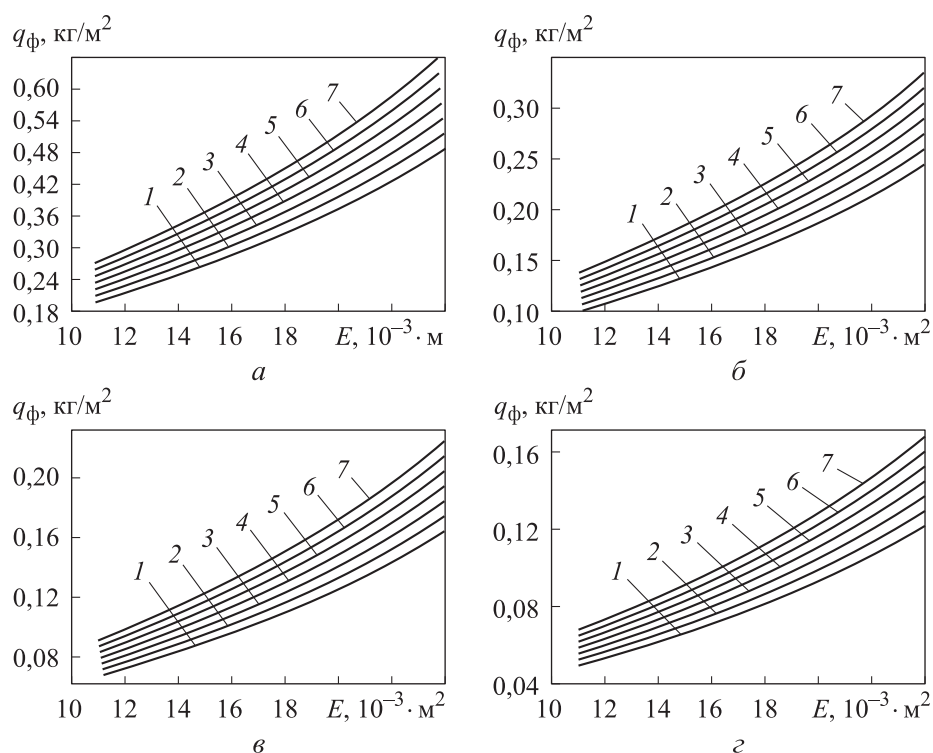


Рис. 3. Зависимость фактической плотности распределения ПГМ по ширине зоны обработки от геометрических параметров лотка при высоте лопатки 0,040 м

и $S = 5 \text{ м}^2$ (а); $S = 10 \text{ м}^2$ (б); $S = 15 \text{ м}^2$ (в); $S = 20 \text{ м}^2$ (г):

1 — $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$; 2 — $\rho = 850 \text{ кг/м}^3$; 3 — $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$; 4 — $\rho = 950 \text{ кг/м}^3$;
5 — $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$; 6 — $\rho = 1050 \text{ кг/м}^3$; 7 — $\rho = 1100 \text{ кг/м}^3$

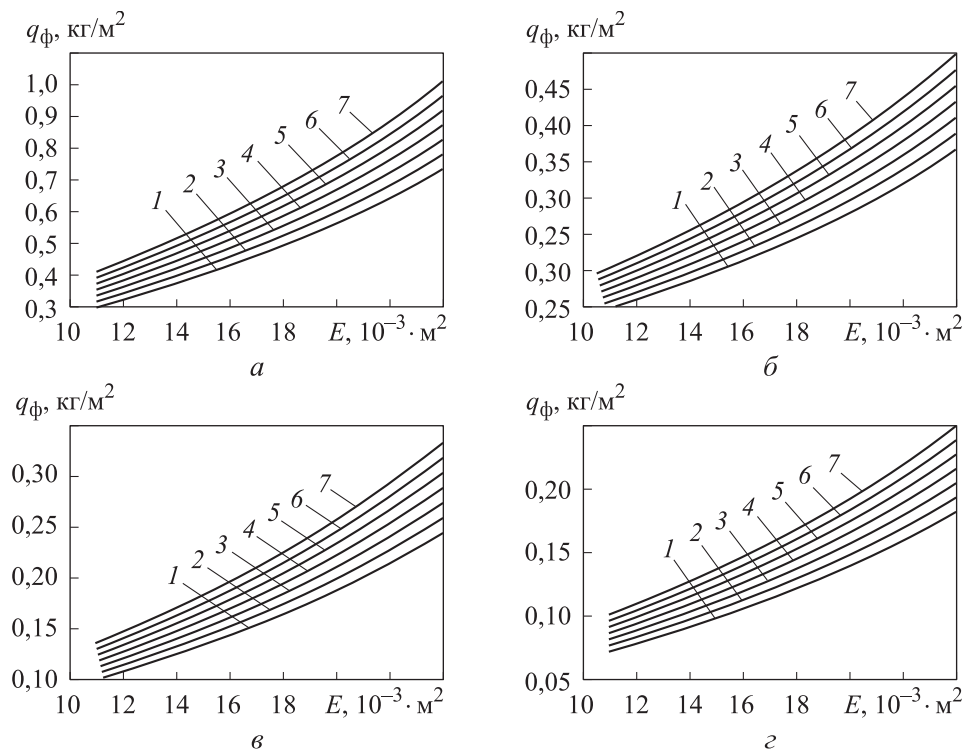


Рис. 4. Зависимость фактической плотности распределения ПГМ по ширине зоны обработки от геометрических параметров лотка при высоте лопатки 0,060 м и $S = 5 \text{ м}^2$ (а); $S = 10 \text{ м}^2$ (б); $S = 15 \text{ м}^2$ (в); $S = 20 \text{ м}^2$ (г):

1 — $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$; 2 — $\rho = 850 \text{ кг/м}^3$; 3 — $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$; 4 — $\rho = 950 \text{ кг/м}^3$;
5 — $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$; 6 — $\rho = 1050 \text{ кг/м}^3$; 7 — $\rho = 1100 \text{ кг/м}^3$

Обсуждение полученных результатов. Анализ полученных результатов, представленных на рис. 3 и 4, позволяет сделать следующие выводы. С ростом площади зоны обработки от 5 до 20 м^2 наблюдается уменьшение фактического расхода ПГМ, что справедливо для всех изучаемых значений плотности ПГМ и высоты лопатки. В частности, для высоты лопатки 0,04 м (см. рис. 3) уменьшение фактической плотности при увеличении площади обработки для неизменного параметра $E = 0,0105 \text{ м}^2$ составляет 0,219 кг/м^2 при $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$; для высоты лопатки 0,06 м изменение значения фактической плотности распределения составляет 0,329 кг/м^2 . С расширением площади зоны обработки изменение фактической плотности распределения происходит интенсивнее при увеличении высоты лопаток диска.

Рост разности квадратов внешнего и внутреннего радиусов лотка (параметр E) сопровождается увеличением фактического расхода ПГМ при всех значениях плотности ПГМ и площадей зон обработки. Например, для лопатки высотой 0,04 м (см. рис. 3) приращение фактической плотности распределения для площади зоны 5 м^2 составляет

0,578 кг/м² для плотности ПГМ $\rho = 800$ кг/м³ — 0,47046 кг/м², для $\rho = 900$ кг/м³ — 0,52926 кг/м², для плотности ПГМ $\rho = 1000$ кг/м³ — 0,58807 кг/м², для $\rho = 1100$ кг/м³ — 0,64688 кг/м². Для лопатки высотой 0,06 м (см. рис. 3) при площади зоны 5 м² для плотности ПГМ $\rho = 800$ кг/м³ приращение фактической плотности распределения составляет 0,70568 кг/м², для $\rho = 900$ кг/м³ — 0,74979 кг/м², для плотности ПГМ $\rho = 1000$ кг/м³ — 0,88210 кг/м², для $\rho = 1100$ кг/м³ — 0,97031 кг/м². Следовательно, чем больше значение высоты лопатки, тем интенсивнее приращение плотности распределения с изменением значения E .

С уменьшением площади зоны обработки приращение значения плотности распределения при изменении значения E происходит интенсивнее. С ростом площади зоны обработки от 5 до 15 м² наблюдается уменьшение фактического расхода ПГМ (см. рис. 3, 4), что подтверждается результатами исследований, в которых выявлено влияние скорости и площади зоны обработки на колебание количества распределяемой соли [15, 16]. Изменение фактической плотности распределения с ростом площади зоны обработки происходит интенсивнее при увеличении высоты лопаток диска. Рост разности квадратов внешнего и внутреннего радиусов лотка, выраженный с помощью параметра E , сопровождается увеличением фактического расхода ПГМ при всех значениях плотности ПГМ и площадей зон обработки.

Для того чтобы проверить, можно ли обеспечить требуемые нормы распределения ПГМ по покрытию с заданными конструктивными параметрами оборудования, необходимо рассчитать значения фактического расхода ПГМ, после этого откорректировать значения высоты лопаток диска, а также значения внешнего и внутреннего радиусов лотка таким образом, чтобы при заданной плотности противогололедного материала рассчитанный фактический расход ПГМ соответствовал нормированному. Полученные номограммы (см. рис. 3, 4) предназначены для подобной проверки.

Заключение. Представленные расчеты дают возможность осуществлять сбор массива данных для обоснованного выбора и определения параметров дискового оборудования, в частности, геометрических параметров лотка, что позволит разработать инструменты для выбора параметров оборудования как на этапе проектирования, так и при корректировке плотности распределения ПГМ в ходе противогололедной обработки. Это особенно актуально с учетом тенденции к активному внедрению искусственного интеллекта в сферу дорожного хозяйства. Изложенный подход к определению параметров лотка позволит проводить поиск эффективных решений в сфере проектирования оборудования для симметричной подачи ПГМ на распределительный диск.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Comparison of Material Distribution Systems for Winter Maintenance — Phase I. Final report.* Minnesota Department of Transportation, Minnesota, USA, 2014, 76 p.
- [2] Сиднева И.Е., Курдюмов В.И., Павлушин А.А. Теоретическое обоснование параметров рабочего органа разбрасывателя минеральных удобрений. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*, 2022, № 3 (59), с. 6–11.
- [3] Цыбенков Ж.Б., Ямпиров С.С., Гылыкова С.Ж., Шуханов С.Н., Кузьмин А.В. Обоснование кинематических параметров сепарирующей зернометательной машины. *Вестник БГСХА*, 2024, вып. № 1, с. 131–140.
- [4] Петров А.М., Зелева Н.В. Теоретическое обоснование конструктивных и технологических параметров дисково-ленточного высевающего аппарата. *Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии*, 2012, № 3, с. 3–9.
- [5] Кралин А.К., Макеева Д.А. Определение зависимостей основных параметров процесса распределения противогололедных материалов для обеспечения экологической безопасности. *Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика*, 2023, № 1, с. 16–29. DOI: 10.15593/2409-5125/2023.01.02
- [6] Бурдин А.А., Сахапов Р.Л., Земдыханов М.М. Исследование влияния формы поперечного сечения лопаток и диаметра разбрасывающего диска на равномерность рассеивания противогололедных материалов по поверхности дорожного покрытия. *Техника и технология транспорта*, 2019, № 1, с. 2–2.
- [7] Земдыханов М.М., Габдуллин Т.Р. Обоснование схемы и параметров центроробежного разбрасывателя песка и реагентов. *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*, 2014, № 4 (30), с. 484–489.
- [8] Лошкарев Д.С., Земдыханов М.М., Сахапов Р.Л. Исследование равномерности рассеивания противогололедных реагентов в зависимости от формы сечения потока материала. *Техника и технология транспорта*, 2018, № 2, с. 3–3.
- [9] Schneider W.H., Miller C., Holik W.A., Crow M. *Evaluation of Epoke Bulk Spreader for winter maintenance* (No. FHWA/OH-2012/24). Dept. of Transportation, Office of Statewide Planning and Research, Ohio, USA, 2013, 214 p.
- [10] Blackburn R.R., Fleege E.J., Amsler D.E. *Calibration Accuracy of Manual and Ground-Speed-Controlled Salters*. Report No. CR2005-02. Wisconsin Department of Transportation, Madison, USA, 2008, 295 p.
- [11] Oudin J., Pecquenard P. A study of rotary disk spreaders to improve winter serviceability in France. *XIth International Winter Road Congress: paper*. Sapporo, 2002. URL: https://proceedings-sapporo2002.piarc.org/en/pdf/doc_pdf/communications/VI219e.pdf (дата обращения 06.07.2025).
- [12] Садовникова Я.С., Мандровский К.П. Дисковый распределитель противогололедных материалов с симметричным способом подачи: актуальность и обоснование эффективности. *Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ)*, 2021, № 4 (67), с. 41–47.
- [13] Садовникова Я.С. Исследование симметричного способа подачи противогололедного материала на диск. *Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые, мелиоративные машины и робототехнические комплексы: сб. докладов конференции*. Москва, МИСИ-МГСУ, 2023, с. 271–274.
- [14] Садовникова Я.С., Мандровский К.П. Программный продукт как инструмент управления качеством распределения противогололедного материала спе-

- циальной техникой. *Современные аспекты развития и безаварийной эксплуатации автомобильной техники (бронетанкового вооружения и техники): сб. науч. ст. межвуз. науч.-техн. конф.* Новосибирск, Новосибирский военный ордена Жукова институт имени генерала армии И.К. Яковлева войск национальной гвардии Российской Федерации, 2024, с. 225–230.
- [15] *Salt Bounce and Scatter Study*. Project summary report. MDOT Operations Field Services Division, Lansing, Michigan, USA, 2012, 46 p.
- [16] Aggarwal A., Bhattacharjee N., Bhattacharya A., Bose R., Gupta A., Gupta D., Kapoor A., Rani E. *Sensor-Based Spreader Automation for Reducing Salt Use and Improving Safety*. Transportation Research Board Annual Meeting. Preprint. 2020, 18 p. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2010.12983>

Статья поступила в редакцию 24.11.2025

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Мандровский К.П., Садовникова Я.С. Расчет параметров лотка для дискового распределителя с симметричным способом подачи противогололедного материала. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2026, вып. 3. EDN NHXIAV

Мандровский Константин Петрович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Производство и ремонт автомобилей и дорожно-строительных машин», ФГБОУ ВО «МАДИ». e-mail: effectmash@mail.ru

Садовникова Яна Сергеевна — специалист по испытаниям, ООО «Эксперт-Центр». e-mail: jana.sadovnikova@yandex.ru

Calculation of the Parameters of the Tray for a Disk Distributor with a Symmetrical Method of Feeding Deicing Material

© K.P. Mandrovskiy¹, Ya.S. Sadovnikova²

¹Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI),
Moscow, 125319, Russian Federation

²Expert Center LLC, Moscow, 115211, Russian Federation

The procedures for analyzing the design, calculating and justifying the parameters of the working equipment are extremely important for the implementation of high-quality and economical deicing treatment of coatings. This article is devoted to the study of the geometric parameters of a disk distributor, which is designed for deicing limited urban areas. It is implemented using a symmetrical feeding method, in which the deicing material flows from the hopper to the disk using a tray with an annular cross-section shape. The purpose of the article is to calculate and substantiate the geometric parameters of the tray, taking into account compliance with the required consumption rate of deicing material. The dependences of the actual density of the material distribution over the width of the processing zone on the geometric parameters of the tray for various values of blade height, material density and the area of the processing zone are established. The values of the external and internal radii of the annular section of the tray are determined, which ensure the consumption rate of deicing material for the required area of the treatment area and the specified height of the blades. The described approach to the calculation and justification of the tray parameters will make it possible to search for effective design solutions in the field of designing equipment for the symmetrical supply of deicing material to the distribution disk.

Keywords: deicing material, tray, inner diameter, outer diameter, symmetrical feeding method, disc distributor, flow rate, distribution density

REFERENCES

- [1] *Comparison of Material Distribution Systems for Winter Maintenance — Phase I.* Final report. Minnesota Department of Transportation, Minnesota, USA, 2014, 76 p.
- [2] Sidneva I.E., Kurdyumov V.I., Pavlushin A.A. Teoreticheskoe obosnovanie parametrov rabocheho organa razbrasyvatelya mineralnykh udobreniy [Theoretical justification of the working element parameters of mineral fertilizer spreaders]. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii — Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*, 2022, no. 3 (59), pp. 6–11.
- [3] Tsybenov Zh.B., Yampilov S.S., Gylykova S.Zh., Shukhanov S.N., Kuzmin A.V. Obosnovanie kinematicheskikh parametrov separiruyushey zernometatelnoy mashiny [Justification of the kinematic parameters of the grain-separating throwing machine]. *Vestnik BGSMA — Bulletin of Bashkir State Agricultural University*, 2024, no. 1, pp. 131–140.
- [4] Petrov A.M., Zeleva N.V. Teoreticheskoe obosnovanie konstruktivnykh i tekhnologicheskikh parametrov diskovo-lentochnogo vysevyushchego apparata [Theoretical justification of design and technological parameters of the disc-belt seeding apparatus]. *Izvestiya Samarskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii — Proceedings of Samara State Agricultural Academy*, 2012, no. 3, pp. 3–9.

- [5] Kralin A.K., Makeeva D.A. Opredelenie zavisimostey osnovnykh parametrov protsessa raspredeleniya protivogololezdnnykh materialov dlya obespecheniya ekologicheskoy bezopasnosti [Determination of dependencies of key parameters in the process of anti-icing material distribution to ensure environmental safety]. *Vestnik PNIPU. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika — Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Applied Ecology. Urban Studies*, 2023, no. 1, pp. 16–29. <https://doi.org/10.15593/2409-5125/2023.01.02>
- [6] Burdin A.A., Sakhapov R.L., Zemdikhanov M.M. Issledovanie vliyaniya formy poperechnogo secheniya lopatok i diametra razbrasyvayushchego diska na ravnomernost' rasseivaniya protivogololezdnnykh materialov po poverkhnosti dorozhnogo pokrytiya [Study of the influence of cross-section shape of blades and diameter of the spreading disk on the uniformity of anti-icing material distribution on road surfaces]. *Tekhnika i tekhnologiya transporta — Transport Engineering and Technology*, 2019, no. 1, p. 2.
- [7] Zemdikhanov M.M., Gabdullin T.R. Obosnovanie skhemy i parametrov tsen-trobezhnogo razbrasyvatel'ya peska i reagentov [Justification of the scheme and parameters of centrifugal sand and reagent spreaders]. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta — Proceedings of Kazan State University of Architecture and Engineering*, 2014, no. 4 (30), pp. 484–489.
- [8] Loshkarev D.S., Zemdikhanov M.M., Sakhapov R.L. Issledovanie ravnomernosti rasseivaniya protivogololezdnnykh reagentov v zavisimosti ot formy secheniya potoka materiala [Study of uniformity of anti-icing reagent distribution depending on the cross-section shape of the material flow]. *Tekhnika i tekhnologiya transporta — Transport Engineering and Technology*, 2018, no. 2, p. 3.
- [9] Schneider W.H., Miller C., Holik W.A., Crow M. *Evaluation of Epoke Bulk Spreader for winter maintenance* (no. FHWA/OH-2012/24). Dept. of Transportation, Office of Statewide Planning and Research, Ohio, USA, 2013, 214 p.
- [10] Blackburn R.R., Fleege E.J., Amsler D.E. *Calibration Accuracy of Manual and Ground-Speed-Controlled Salters*. Report No. CR2005-02. Wisconsin Department of Transportation, Madison, USA, 2008, 295 p.
- [11] Oudin J., Pecquenard P. A study of rotary disk spreaders to improve winter serviceability in France. In: *XI International Winter Road Congress: paper*. Sapporo, 2002. Available at: https://proceedings-sapporo2002.piarc.org/en/pdf/doc_pdf/communications/VI219e.pdf (accessed July 6, 2025).
- [12] Sadovnikova Ya.S., Mandrovskiy K.P. Diskovyy raspredelitel protivogololezdnnykh materialov s simmetrichnym sposobom podachi: aktual'nost' i obosnovanie effektivnosti [Disc spreader for anti-icing materials with a symmetrical feed: relevance and efficiency justification]. *Vestnik Moskovskogo avtomobilno-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI) — Bulletin of Moscow Automobile and Road State Technical University (MADI)*, 2021, no. 4 (67), pp. 41–47.
- [13] Sadovnikova Ya.S. Issledovanie simmetrichnogo sposoba podachi protivogololezdnogo materiala na disk [Study of symmetrical method of anti-icing material feed onto the disk]. In: *Podyemno-transportnye, stroitelnye, dorozhnye, putevye, meliorativnye mashiny i robototekhnicheskie komplekсы: sb. dokladov konferentsii* [Lifting, transport, construction, road, track, reclamation machines and robotic complexes: conference proceedings]. Moscow, Moscow State University of Civil Engineering Publ., 2023, pp. 271–274.
- [14] Sadovnikova Ya.S., Mandrovskiy K.P. Programmnyy produkt kak instrument upravleniya kachestvom raspredeleniya protivogololeznogo materiala spetsialnoy tekhnikoy [Software product as a tool for managing the quality of anti-icing material distribution by specialized machinery]. In: *Sovremennye aspekty razvitiya i*

- bezavariynoy ekspluatatsii avtomobil'noy tekhniki (bronetankovogo vooruzheniya i tekhniki): sb. nauch. st. mezhvuz. nauch.-tekh. konf.* [Modern aspects of development and safe operation of automotive equipment (armored and military vehicles): collection of scientific papers of interuniversity scientific and technical conference]. Novosibirsk, Novosibirsk Zhukov Military Institute of the National Guard of the Russian Federation Publ., 2024, pp. 225–230.
- [15] *Salt Bounce and Scatter Study*. Project summary report. MDOT Operations Field Services Division, Lansing, Michigan, USA, 2012, 46 p.
- [16] Aggarwal A., Bhattacharjee N., Bhattacharya A., Bose R., Gupta A., Gupta D., Kapoor A., Rani E. *Sensor-Based Spreader Automation for Reducing Salt Use and Improving Safety*. Transportation Research Board Annual Meeting. Preprint. 2020, 18 p. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2010.12983>

Mandrovskiy K.P., Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Production and Repair of Automobiles and Road Construction Machinery, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI).
e-mail: effectmash@mail.ru

Sadovnikova Ya.S., testing specialist, Expert Center LLC.
e-mail: jana.sadovnikova@yandex.ru