

УДК 625.76

Пенчук В.А., Клен А.Н., Диденко А.В.¹

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПЕСКОРАЗБРАСЫВАТЕЛЯ НА ПРОЦЕССЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОТИВОГОЛОЛЕДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

АННОТАЦИЯ. В работе рассматривают закономерности распределения противогололедных материалов метательным диском. Впервые рассматривается влияние на параметры процесса распределения частиц сыпучего материала (высота и дальность полета) угла наклона метательного диска. Показано, что такой наклон реально возможен, когда пескоразбрасывающая машина движется по дороге, которая имеет продольный или поперечный уклон.

Актуальность работы. В настоящее время наиболее распространенным способом борьбы с гололедом является технология с применением пескоразбрасывателей – транспортных средств или навесного оборудования для автомобилей или самоходных машин, выполняющих функцию доставки и распределения песка, пескосольной смеси или твердых антигололедных реагентов на проезжей части дорог.

Метательный диск в традиционной конструкции пескоразбрасывателя находится на высоте 0,4...0,6 м параллельно поверхности горизонтальной дороги. В этом случае частицы сыпучего материала, слетая с диска, имеют вектор скорости, который не позволяет им подняться выше уровня метательного диска. Однако на практике нередки случаи, когда диск пескоразбрасывателя оказывается расположенным не параллельно поверхности дороги, а под некоторым углом к ней (рис. 1). Это может произойти, например, по причине относительно больших уклонов проезжей части как в продольном, так и поперечном профиле, а также из-за наезда автомашины-пескоразбрасывателя одной стороной на препятствие, например, горку неубранного снега. Таким образом, возникает необходимость в изучении возможной траектории разлета частиц сыпучего материала для случая, когда метательный диск пескоразбрасывателя имеет определенный угол наклона по отношению к горизонтальной поверхности.

Анализ публикаций. Процессам движения частиц антигололедного сыпучего материала вдоль вращающегося диска, слета с него и полета до поверхности дороги, а также скольжению по поверхности дороги посвящено много работ [1 - 5].

Цель работы – определить влияние угла наклона диска пескоразбрасывателя на процессы распределения частиц противогололедного сыпучего материала по поверхности дороги.

Основной материал. Частица сыпучего материала слетает с метательного диска со скоростью v , вектор которой направлен под углом α к горизонтали (рис. 2).

Уравнения движения частицы с учетом принятой системы координат запишутся в виде:

$$\begin{cases} m\ddot{x} = -c\rho S\dot{x}^2, \\ m\ddot{y} = -mg. \end{cases} \quad (1)$$

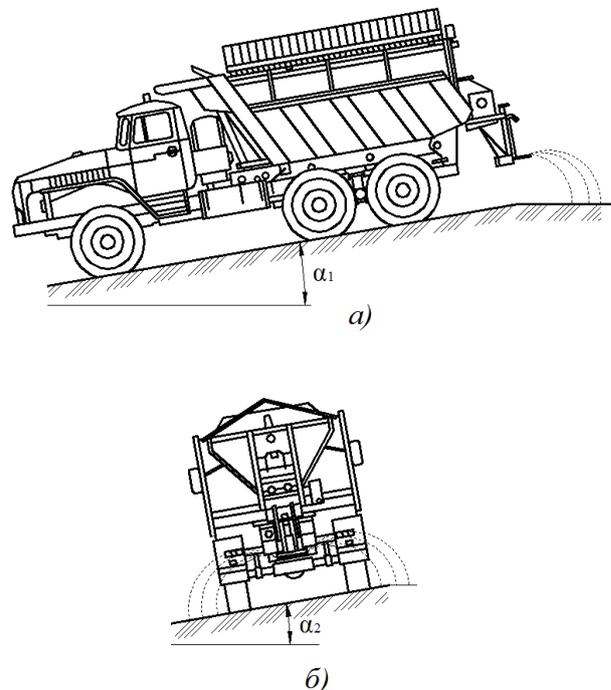


Рис. 1. Возможные положения пескоразбрасывателя.

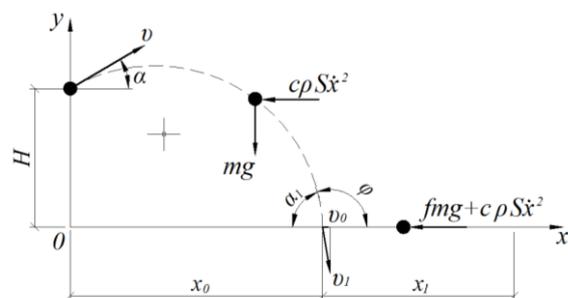


Рис. 2. Схема движения частицы сыпучего материала с момента слета с вращающегося диска до остановки в точке x_1 насыпаемой поверхности.

Начальные условия движения частицы на этом этапе можно представить в виде:

$$x|_{t=0} = 0, \dot{x}|_{t=0} = v \cos \alpha, y|_{t=0} = H, \dot{y}|_{t=0} = v \sin \alpha \quad (2)$$

В соотношениях (1), (2) приняты следующие обозначения: m – масса частицы сыпучего материала, кг; ρ – плотность воздушной среды, кг/м³; S – площадь поперечного сечения частицы, м²; c – коэффициент лобового сопротивления; v – скорость слета частицы с диска, м/с; H – высота слета частицы над поверхностью дороги, м; g – ускорение свободного падения, м/с².

Решение уравнений (1) с учетом начальных условий (2) будет иметь вид:

$$x = \frac{m}{c\rho S} \ln \left(1 + \frac{c\rho S v \cdot \cos \alpha}{m} t \right), \quad (3)$$

$$y = H + vt \sin \alpha - \frac{gt^2}{2}. \quad (4)$$

Частица сыпучего материала соприкасается с поверхностью дороги, когда $y = 0$, тогда время полета частицы составит:

$$t_0 = \frac{v \cdot \sin \alpha}{g} + \sqrt{\left(\frac{v \cdot \sin \alpha}{g} \right)^2 + \frac{2H}{g}}. \quad (5)$$

Из соотношений (3), (4) и (5) можно представить вертикальную координату частицы как:

$$y(x) = H - \frac{g}{2} \left(\frac{m}{c\rho S v \cdot \cos \alpha} \right)^2 \cdot \left(e^{\frac{c\rho S}{m} x} - 1 \right)^2 + \frac{m \cdot tg \alpha}{c\rho S} \left(e^{\frac{c\rho S}{m} x} - 1 \right). \quad (6)$$

Если в момент касания с поверхностью дороги горизонтальная составляющая скорости частицы не равна нулю, то в дальнейшем она может продолжить движение, скользя по поверхности дороги. Из соотношения (6) можно определить угол α_1 , угол встречи частицы с посыпаемой поверхностью. Значение производной функции $y(x)$ по переменной x , при значении $x = x_0$, составит:

$$\frac{dy}{dx} = tg \varphi = \frac{mg \cdot e^{\frac{c\rho S}{m} x_0}}{c\rho S v^2 \cdot \cos^2 \alpha} \left(1 - e^{\frac{c\rho S}{m} x_0} \right) + e^{\frac{c\rho S}{m} x_0} \cdot tg \alpha, \quad (7)$$

После достановок и преобразований получим

$$\alpha_1 = \pi - \varphi. \quad (8)$$

С учетом зависимости (3) величина скорости частицы сыпучего материала в момент касания посыпаемой поверхности:

$$\dot{x} = \frac{v \cdot \cos \alpha}{1 + \frac{c\rho S v \cdot \cos \alpha}{m} t_0}. \quad (9)$$

Соответственно начальная скорость скольжения частицы сыпучего материала будет равна:

$$v_0 = \dot{x} \cos \alpha_1 = \frac{v \cdot \cos \alpha}{1 + \frac{c\rho S v \cdot \cos \alpha}{m} t_0} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + tg^2 \varphi}}. \quad (10)$$

Уравнение движения частицы сыпучего материала во время скольжения по поверхности дороги имеет вид:

$$m\ddot{x} = -c\rho S(\dot{x})^2 - fmg \quad (11)$$

при начальных условиях движения на этой стадии

$$x|_{t=0} = 0, \dot{x}|_{t=0} = v_0, \quad (12)$$

где f – коэффициент трения скольжения.

Решение уравнения (11) с учетом начальных условий (12) позволяет определить максимальную дальность скольжения частицы:

$$x_1 = \frac{m}{2c\rho S} \ln \left(1 + \frac{v_0^2 c\rho S}{mfg} \right). \quad (13)$$

Максимальная дальность распределения частиц сыпучего материала с момента слета с диска будет равна

$$x = x_0 + x_1. \quad (14)$$

Численный анализ дальности распределения частиц сыпучего материала с учетом возможного наклона металлического диска при исходных параметрах: $m = 1,95 \cdot 10^{-6}$ кг; размер частиц до 2 мм; $\rho = 1,32$ кг/м³; $S = 10^{-6}$ м²; $c = 0,3$; $v = 8$ м/с; $H = 0,4$ м, представлен на рис. 3, а основные характеристики процесса движения в табл. 1

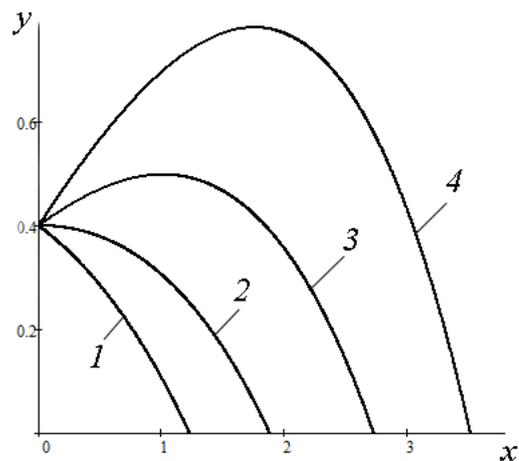


Рис. 3. Траектория полета частиц сыпучего материала в зависимости от угла наклона α металлического диска к горизонту: где 1; 2; 3; 4 – соответственно $\alpha = -10^\circ; 0^\circ; 10^\circ; 20^\circ$.

На рис. 3 построена траектория полета частиц сыпучего материала в зависимости от угла наклона α метательного диска к горизонтали.

Табл. 1

Характеристики движения частиц сыпучего материала в зависимости от угла наклона α метательного диска к горизонтали

№ п/п	Угол наклона α метательного диска к горизонтали	$\alpha = -10^\circ$	$\alpha = 0^\circ$	$\alpha = 10^\circ$	$\alpha = 20^\circ$
1	Время полета частицы t_0 , с	0,18	0,29	0,46	0,68
2	Дальность полета частицы в горизонтальном направлении x_0 , м	1,23	1,88	2,72	3,50
3	Угол α_1 встречи частицы с посыпаемой поверхностью, град.	27	27,1	34,6	46,7
4	Начальная скорость скольжения частицы: v_0 , м/с	5,47	4,86	3,73	2,53
5	Дальность скольжения частиц x_1 , м	3,47	3,05	2,2	1,25
6	Общая дальность распространения частиц $x = x_0 + x_1$, м	4,7	4,93	4,92	4,75

Выводы

1. Угол наклона α метательного диска пескоразбрасывателя к горизонтали не оказывает значительное влияние на дальность распределения частиц сыпучего материала, однако существенно меняет характер движения частиц.

2. В процессе посыпки дорог необходимо учитывать тот факт, что при уклоне пескоразбрасывателя

на угол $\alpha > 20^\circ$ в поперечной или продольной плоскости высота разлета частиц сыпучего материала в 2 и более раза превышает высоту установки метательного диска над поверхностью дороги, что может оказать негативное воздействие на объекты (припаркованные рядом автомобили, пешеходы, здания и т.д.), расположенные в зоне распределения частиц.

Литература

1. Хархута Н.Я. Дорожные машины / Н.Я. Хархута, М.И. Капустин, В.П. Семенов, И.М. Эвентов, Ю.А. Бромберг, Ю.М. Васильев, М.П. Костельов. – М., Машиностроение, 1968. – 416 с.
2. Пенчук В.А. Закономерности распределения противогололедных материалов метательным диском / В.А. Пенчук, Э.С. Савенко, И.В. Грицук // Вестник ДонГАСА, вып. 2004 - 5(47). Технология, организация и геодезическое обеспечение строительства. – Макеевка: ДонГАСА, 2004. – С. 82 - 87.
3. Пенчук В.А. Совершенствование процесса распределения противогололедных материалов по поверхности дороги вращательным дисковым органом / В.А. Пенчук, В.Н. Гусаков, А.В. Диденко // Вестник ДонНАСА, вып. 2005 - 7(55). Технология, организация и геодезическое обеспечение строительства. – Макеевка: ДонНАСА, 2005. – С. 82 - 85.
4. Пенчук В.А. К вопросу об эффективности распределения противогололедных материалов метательным диском / В.А. Пенчук, В.Н. Гусаков, А.В. Диденко // Инновации в науке – инновации в образовании: материалы Международной научно-технической конференции "Интерстроймех - 2013", 1-2 октября 2013 г. – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2013. – С. 274-277.
5. Аржанухина С.П. Совершенствование технологии применения противогололедных материалов при зимнем содержании автомобильных дорог. Автореферат кандидатской диссертации. Саратов. 2009. – 21 с.