

В. А. ПЕНЧУК, докт.техн.наук, **В. Н. ГУСАКОВ**, канд. техн. наук,
А. Н. КЛЕН, канд. техн. наук, **А. В. ДИДЕНКО**, инж.

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДАЛЬНОСТИ ПОЛЕТА РАЗЛИЧНЫХ ЧАСТИЦ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА ПРИ ОБРАБОТКЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДОРОГ ПЕСКОРАЗБРАСЫВАТЕЛЕМ

Актуальность проблемы. В зимний период эксплуатации на поверхности автомобильных дорог образуется ледяная корка, которая резко снижает сцепление колес автомобиля с поверхностью дороги. Для борьбы с гололедом наиболее часто посыпают поверхность автодороги песком или иным сыпучим противогололедным материалом. При использовании данного способа борьбы со скольжением важной проблемой является подбор рациональных параметров пескоразбрасывателя и характеристик сыпучего материала, позволяющих эффективно осуществлять посыпку поверхности дорог в разнообразных условиях.

Анализ публикаций. Основы расчета процесса обработки поверхностей дорог пескоразбрасывателем, заложенные в работе [1], получили свое дальнейшее развитие в работах [2, 3, 4].

Процесс обработки поверхностей дорог пескоразбрасывателем можно представить тремя стадиями: движения частиц сыпучего материала вдоль вращающегося диска, слета их с диска и полета до поверхности дороги, скольжения частиц вдоль посыпаемой поверхности.

Формирование цели. Цель работы – установить влияние массово-геометрических характеристик частиц на процесс распределения сыпучего материала по поверхности дороги и сформулировать практические рекомендации по применению материалов с частицами различных размеров и массы.

Основная часть. Частицы сыпучего материала слетают с вращающегося диска в горизонтальной плоскости со скоростью v . В горизонтальной плоскости на летящую частицу действует сила сопротивления воздушной среды, пропорциональная квадрату скорости движения частицы, а в вертикальной плоскости – сила тяжести и сила сопротивления воздушной среды, которой в нашем случае можно пренебречь из-за малой высоты над поверхностью дороги вращающегося диска.

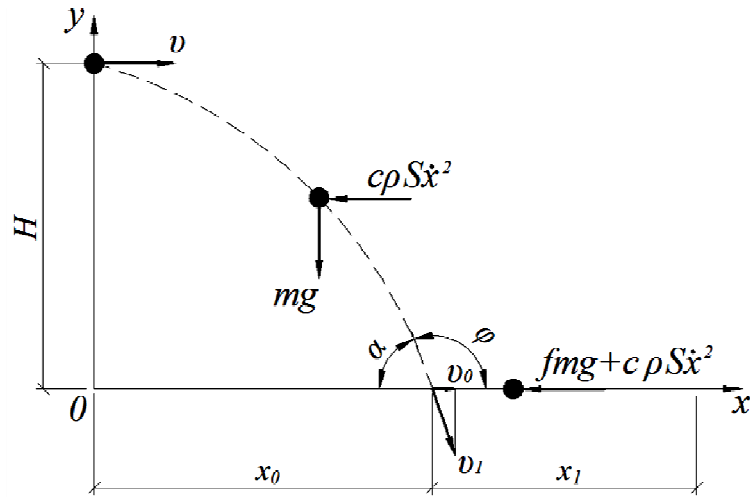


Рис. 1. Схема движения частицы сыпучего материала с момента слета с вращающегося диска до остановки в точке x_1 на посыпаемой поверхности.

Исходя из расчетной схемы (рис. 1), уравнения движения частицы сыпучего материала будут иметь вид:

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

Начальными условиями движения частицы материала при слете с диска будут:

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

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; g – ускорение свободного падения, м/с².

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

$$x = \frac{m}{c\rho S} \ln\left(1 + \frac{c\rho S v t}{m}\right), \quad y = H - \frac{gt^2}{2}. \quad (3)$$

Частица сыпучего материала коснется посыпаемой поверхности в момент времени $t = \sqrt{2H/g}$. Следовательно, дальность полета частицы в горизонтальном направлении определится выражением:

$$x_0 = \frac{m}{c\rho S} \ln\left(1 + \frac{c\rho S v}{m} \sqrt{\frac{2H}{g}}\right). \quad (4)$$

Из соотношений (3) можно определить траекторию полета частицы в воздухе:

$$y = H - \frac{g}{2} \left(\frac{m}{c\rho S v} \right)^2 \cdot \left(e^{\frac{c\rho S}{m} x} - 1 \right)^2. \quad (5)$$

Если в момент касания с поверхностью дороги горизонтальная составляющая скорости частицы не равна нулю, то в дальнейшем она начнет скользить по поверхности дороги. Из соотношения (5) определим угол α встречи частицы с посыпаемой поверхностью, для этого вычислим значение производной функции $y(x)$ по переменной x при значении $x = x_0$:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\sqrt{2Hg}}{v} \left(1 + \frac{c\rho S v}{m} \sqrt{\frac{2H}{g}} \right) = \operatorname{tg} \varphi, \quad (6)$$

откуда

$$\varphi = \operatorname{arctg} \left[\frac{\sqrt{2Hg}}{v} \left(1 + \frac{c\rho S v}{m} \sqrt{\frac{2H}{g}} \right) \right], \quad (7)$$

$$\alpha = \pi - \varphi.$$

Величину скорости частицы сыпучего материала в момент касания посыпаемой поверхности определим из соотношений (3):

$$\dot{x} = \frac{v}{1 + \frac{c\rho S v}{m} \sqrt{\frac{2H}{g}}}. \quad (8)$$

С учетом этого соотношения начальная скорость скольжения частицы сыпучего материала будет иметь вид:

$$v_0 = \dot{x} \cos \alpha = \frac{v}{1 + \frac{c\rho S v}{m} \sqrt{\frac{2H}{g}}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{2Hg}{v^2} \left(1 + \frac{c\rho S v}{m} \sqrt{\frac{2H}{g}} \right)^2}}. \quad (9)$$

Уравнение движения частиц сыпучего материала во время скольжения по посыпаемой поверхности будет иметь вид:

$$m\ddot{x} = -c\rho S(\dot{x})^2 - fmg \quad (10)$$

при начальных условиях движения на этой стадии:

$$x|_{t=0} = 0, \quad \dot{x}|_{t=0} = v_0, \quad (11)$$

где f – коэффициент трения скольжения.

Решение уравнения (10) будет иметь вид:

$$x = \frac{m}{c\rho S} \ln \left[\frac{\cos \left(\operatorname{arctg} \left(v_0 \sqrt{\frac{c\rho S}{mfg}} \right) - \sqrt{\frac{fgc\rho S}{m}} t \right)}{\cos \left(\operatorname{arctg} \left(v_0 \sqrt{\frac{c\rho S}{mfg}} \right) \right)} \right]. \quad (12)$$

Из соотношения (12) определим скорость скольжения частиц по посыпаемой поверхности:

$$\dot{x} = \sqrt{\frac{mfg}{c\rho S}} \cdot \cos \left[\operatorname{arctg} \left(v_0 \sqrt{\frac{c\rho S}{mfg}} \right) \right] \cdot \operatorname{tg} \left[\operatorname{arctg} \left(v_0 \sqrt{\frac{c\rho S}{mfg}} \right) - \sqrt{\frac{fgc\rho S}{m}} t \right]. \quad (13)$$

Процесс скольжения частиц посыпаемого материала прекратится тогда, когда скорость, определяемая формулой (13), будет равна нулю. Это произойдет когда:

$$t_1 = \sqrt{\frac{m}{fgc\rho S}} \operatorname{arctg} \left(v_0 \sqrt{\frac{c\rho S}{mfg}} \right). \quad (14)$$

Найденное значение времени t_1 подставим в соотношение (12), тогда после преобразований получим:

$$x_1 = \frac{m}{2c\rho S} \ln \left(1 + \frac{v_0^2 c\rho S}{mfg} \right). \quad (15)$$

Значение x_1 определяет дальность распространения процесса скольжения. Общая дальность распространения сыпучего материала с момента слета с диска будет равна сумме $x = x_0 + x_1$, слагаемые которой определяются формулами (4) и (15) соответственно. Для численного анализа полученных формул примем характеристики частиц, указанные в табл. 1. В табл. 2 приведены иные характеристики, необходимые для расчета.

Таблица 1.

Характеристики частиц сыпучего материала (форма частиц – куб)

| Материал | Плотность материала, кг/м ³ | Номер частицы (рис. 2-4) | Линейный размер частиц, м · 10 ⁻³ | Площадь поперечного сечения, м ² · 10 ⁻⁶ | Масса частицы, кг · 10 ⁻⁶ |
|----------------|--|--------------------------|--|--|--------------------------------------|
| Шлак | 1300 | 1 | 1 | 1 | 1,3 |
| | | 2 | 2 | 4 | 10,4 |
| | | 3 | 3 | 9 | 35,1 |
| Песок (мокрый) | 1950 | 1 | 0,5 | 0,25 | 0,24 |
| | | 2 | 1 | 1 | 1,95 |
| | | 3 | 2 | 4 | 15,6 |
| Гранит | 2600 | 1 | 1 | 1 | 2,6 |
| | | 2 | 2 | 4 | 20,8 |
| | | 3 | 3 | 9 | 70,2 |

Таблица 2.

Характеристики процесса, принятые для численного анализа

| № п/п | Название параметра | Обозначение | Единица измерения | Значение |
|-------|--|-------------|-------------------|----------|
| 1 | Плотность воздушной среды (при $t = -5^{\circ}\text{C}$) | ρ | кг/м ³ | 1,32 |
| 2 | Коэффициент лобового сопротивления | c | — | 0,3 |
| 3 | Высота слета частиц над поверхностью земли | H | м | 0,4 |
| 4 | Скорость слета частиц с диска | v | м/с | 8 |
| 5 | Коэффициент трения скольжения частиц материала по посыпаемой поверхности | f | — | 0,2 |

Таблица 3.

Результаты расчета дальности полета частиц сыпучего материала различного размера

| Материал | Номер частицы (рис. 2-4) | Линейный размер частиц, м · 10 ⁻³ | Дальность полета с момента слета с диска до поверхности земли x_0 , М | Дальность скольжения по поверхности земли x_1 , м | Общая дальность полета $x = x_0 + x_1$, м |
|----------------|--------------------------|--|---|---|--|
| Шлак | 1 | 1 | 1,74 | 0,52 | 2,26 |
| | 2 | 2 | 1,96 | 1,82 | 3,78 |
| | 3 | 3 | 2,06 | 3,01 | 5,07 |
| Песок (мокрый) | 1 | 0,5 | 1,62 | 0,26 | 1,88 |
| | 2 | 1 | 1,88 | 1,16 | 3,04 |
| | 3 | 2 | 2,06 | 3,01 | 5,07 |
| Гранит | 1 | 1 | 1,96 | 1,82 | 3,78 |
| | 2 | 2 | 2,11 | 4,02 | 6,13 |
| | 3 | 3 | 2,16 | 5,59 | 7,75 |

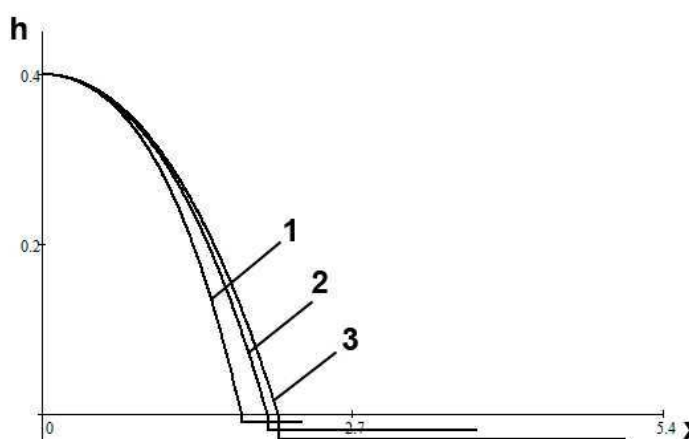


Рис. 2. Дальность распределения частиц шлака размером: 1 - 1 мм; 2 - 2 мм; 3 - 3 мм.

На рисунках 2-4 построены графики дальности распределения различных частиц сыпучего материала, полученные на основе зависимостей (5), (15). В таблице 3 представлены результаты расчета дальности полета частиц сыпучего материала различного размера и материала, полученные на основе формул (4), (15).

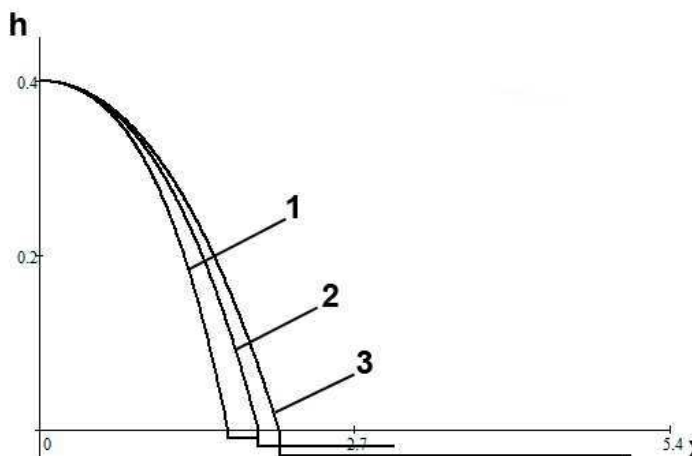


Рис. 3. Дальность распределения частиц песка размером: 1 - 0,5 мм; 2 - 1 мм; 3 - 2 мм.

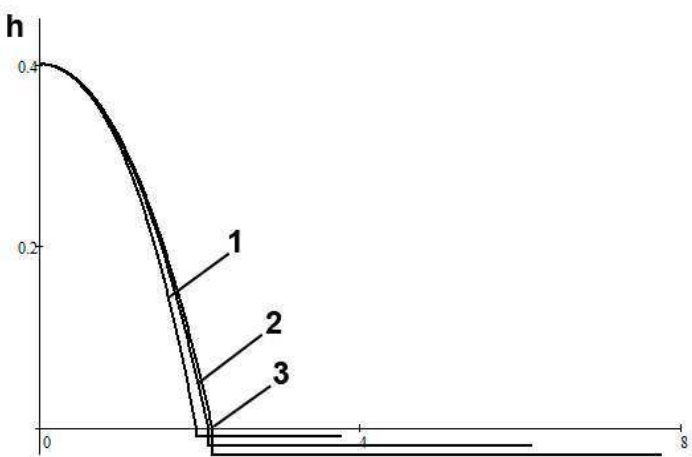


Рис. 4. Дальность распределения частиц гранита размером: 1 - 1 мм; 2 - 2 мм; 3 - 3 мм.

Выводы. 1. Масса и размеры не оказывают значительного влияния на дальность полета частиц сыпучего материала до соприкосновения их с поверхностью дороги, но значительно увеличивают расстояние скольжения частиц по посыпаемой поверхности.

2. При необходимости посыпки крайней правой полосы городских автодорог, занятой припаркованными автомобилями, следует использовать технологию распределения сыпучего материала с ударом о поверхность и скольжением по ней, при этом целесообразно использовать материалы частицами большей массы.

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 ДонГАСА, 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.

УДК 534.1+621.019

В. С. ЛОВЕЙКИН, докт. техн. наук, Ю. В. Човнюк, канд. техн. наук

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

**ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЯ НАДЁЖНОСТИ ПРОЧНОСТНЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ
(КРАНОВ)/ВИБРОИЗОЛИРОВАННЫХ ФУНДАМЕНТОВ ПОД МАШИНЫ ПРИ
АППРОКСИМАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИХ ПРЕДЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК
ЗАКОНОМ ВЕЙБУЛЛА**

Постановка задачи. Обзор литературы. При выборе номенклатуры и оценке показателей надёжности промышленных машин (ПМ) пользуются системой критериев, позволяющих получить характеристику, отражающую основные свойства надёжности машин, проявляющиеся при эксплуатации, и влияние этих свойств на степень выполнения функций, возлагаемых на машину. ГОСТы содержат обширную номенклатуру показателей надёжности, однако для оценки уровня надёжности не все показатели имеют одинаковое значение, поэтому, по мнению авторов настоящей работы, следует пользоваться определённой номенклатурой показателей надёжности для определения норм надёжности, включаемых в нормативно-техническую документацию, характеризующих безотказность, ремонтпригодность, долговечность. Для ПМ, металлоконструкций кранов, применяемых в строительстве, вибрационных машин различного предназначения и др., когда определяющим фактором оценки последствий отказа является вынужденный простой, рекомендуются показатели: гамма-процентный ресурс (в часах или других единицах наработки); средний ресурс (в часах или других единицах наработки); срок службы (в годах); коэффициент готовности; при наличии отказа и вынужденного простоя дополнительно определяется