

Зиновий Стоцко, Прии Колра, Виктор Марен

Львовский политехнический институт

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАПЫЛЕНИЯ ВЕЩЕСТВА

Streszczenie. Matematyczny model procesu nanoszenia powłoki za pomocą ruchomej głowicy natryskowej i ruchomego, pokrywanego podłoża umożliwia obliczanie rozkładu masy powłoki w dowolnym punkcie powierzchni i dobieranie optymalnych parametrów procesu, zapewniających odpowiednią jakość powłoki.

Резюме. Математическое моделирование процесса напыления вещества при относительных перемещениях распылителя и напыляемой поверхности позволяет рассчитать распределение массы вещества в любой точке поверхности и выбрать оптимальные режимы напыления, обеспечивающие необходимое качество покрытия.

Summary. Mathematical modelling of the process of substance spraying with the relative movement of the sprayer and the surface being sprayed allows us to calculate distribution of the substance mass in any point of the surface and to choose the best ways of spraying that provide the necessary quantity of covering.

Напыление вещества на основе используется во многих технологических процессах, к примеру: нанесение лакокрасочных покрытий на изделия, получение эмиссионных и изоляционных покрытий на деталях электронных приборов. При этом во многих случаях предъявляются высокие требования к точности покрытия по толщине, равномерности распределения массы покрытия и др. Существуют разные методы обеспечения этих требований: использование соответствующих конструкций распылителя, перемещение изделия либо распылителя в процессе напыления вещества. Оптимальные режимы напыления, обеспечивающие необходимое качество покрытия, могут быть получены путем математического моделирования процесса напыления вещества из распылителя.

Допустим, что вещество напыляется на плоскость  $XOY$  (см. рис. 1.) из распылителя, который находится на некотором расстоянии от плоскости. Попадание частички вещества в прямоугольную область  $D$ , ограниченную, как показано на рисунке, абсциссами  $x_1$  и  $x_2$  и ординатами  $y_1$  и  $y_2$ , может быть интерпретировано как попадание случайной точки  $(X, Y)$  в данный прямоугольник, что описывается определенной функцией распределения и плотностью распределения системы двух случайных величин -  $f(x, y)$ . Функция  $f(x, y)$  представляет собой плотность распределения массы вещества.

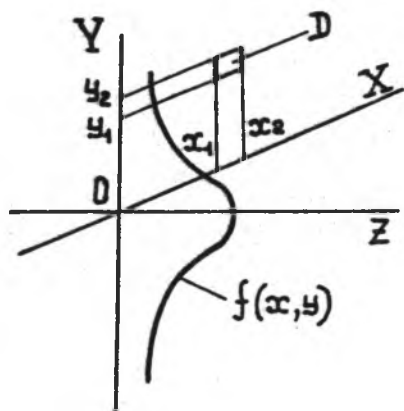


Рис. 1. Szkic do wyznaczenia masy powłokowej

Рис. 1. К определению массы напыляемого вещества

Fig. 1. To the definition of the mass of the substance spraying

Масса вещества, напыленного за время  $\Delta t$  на область  $D$ , равна

$$M(D) = M(\Delta t) P((X, Y) \in D), \quad (1)$$

где:  $M(\Delta t)$  - масса вещества, распыленного распылителем за время  $\Delta t$ "

$P((X, Y) \in D)$  - вероятность попадания случайной величины в область  $D$ .

$$P((X,Y) \in D) = \int_{x_1}^{x_2} \int_{y_1}^{y_2} f(x,y) dx dy \quad (2)$$

$$M(\Delta t) = Q \Delta t, \quad (3)$$

где:  $Q$  - производительность распылителя.

Введем понятие поток массы вещества  $m$  - количество массы вещества, оседаемого на единице площади за единицу времени. В нашем случае

$$m = \frac{QP((X,Y) \in D)}{(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)}. \quad (4)$$

При  $m = \text{const}$ , что имеет место при неизменной производительности распылителя, неподвижных распылителя и области  $D$ , масса вещества напыленного на площадь  $S$  за время  $t$ , равна

$$M_B = mSt. \quad (5)$$

При относительном перемещении области  $D$  либо распылителя друг относительно друга поток массы  $m$  будет величиной переменной, т.е.  $m \neq \text{const}$ . В этом случае масса вещества, напыленного на площадь  $S$  за время  $t$ , равна

$$M_B = \int_0^t mS dt = \frac{S}{(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)} \int_0^t QP((X,Y) \in D) dt. \quad (6)$$

Для характеристики распределения массы напыленного вещества по плоскости  $XOY$  целесообразно пользоваться значением массы вещества, напыленного на единицу площади за время  $t$  в области  $D(x_1, x_2; y_1, y_2)$ :

$$M_1 = \frac{1}{(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)} \int_0^t QP((X,Y) \in D) dt. \quad (7)$$

Допуская, что распылитель работает стабильно с постоянной производительностью, и учитывая, что

$$P((X,Y) \in D) = \int_{x_1}^{x_2} \int_{y_1}^{y_2} f(x,y) dx dy, \text{ получим} \quad (8)$$

$$M_1 = \frac{Q}{(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)} \int_0^t \int_{x_1}^{x_2} \int_{y_1}^{y_2} f(x,y) dx dy dt. \quad (9)$$

Здесь  $f(x,y)$  - плотность распределения массы вещества. Исходя из физического смысла процесса распыления вещества, для обычного распылителя можно принять нормальный закон распыления массы вещества, т.е.

$$f(x,y) = \frac{1}{2\pi \sigma_x \sigma_y} e^{-\frac{(x-a_x)^2}{2\sigma_x^2} - \frac{(y-a_y)^2}{2\sigma_y^2}} \quad (10)$$

где:  $a_x$  и  $a_y$  - центры рассеивания (математическое ожидание) соответственно по осям  $Ox$  и  $Oy$ ;  $\sigma_x$  и  $\sigma_y$  - средние квадратичные отклонения.

В геометрической интерпретации  $a_x$  и  $a_y$  представляют собой смещения распылителя по осям  $Ox$  и  $Oy$  от центра координат. При перемещении распылителя в плоскости, параллельной  $XOY$ ,  $a_x$  и  $a_y$  являются функциями времени. При перемещении области  $D$  в плоскости  $XOY$  области интегрирования  $x_1$  и  $x_2$ ,  $y_1$  и  $y_2$  будут функциями времени.

Задавая тот или иной закон движения распылителя либо области  $D$ , можно рассчитать распределение массы натпыляемого вещества в любой точке плоскости  $XOY$ , т.е. в любой части изделия.

## MODELLING OF THE PROCESS OF SUBSTANCE SPRAYING

Here we deal with modelling of the process of substance spraying over the surface of a thing with its relative movement. Spraying of a particle of the substance is interpreted by casual quantity hitting the given area and is described in the theory of probability.

Notion of substance mass flow is introduced - that is a quantity of substance mass accumulated by a unit of area per a unit of time. Considering the sprayer to function with constant productivity, a mathematical expression for the mass of the substance sprayed over the unit of the surface of a thing at the given period of time was formulated. When taking this or that law of the sprayer or substance movement, one can calculate distribution of the covering mass over point on the surface of a thing. The suggested model can be used when making automatical systems of the technological process of spraying process control.