

УДК 551.515: 532.5.18

Канд. техн. наук И.Г. Гуршев\*

**К ВОПРОСУ ПЕРЕНОСА ЧАСТИЦ ПЕСКА ВОЗДУШНЫМ ПОТОКОМ***ПЕСЧАНЫЕ БУРИ, УРАВНЕНИЕ, МАССА ПЕСКА, ДВУХФАЗНЫЙ ПОТОК*

*Обсуждается возможный теоретический подход к выводу уравнения изменения массы песка в двухфазном потоке во время песчаной бури. Рассматриваются частные решения уравнения. Выполняются числовые оценки.*

Установление связей между характеристиками частиц песка и переносимой во время песчаной бури массой песка является важной задачей. Для нахождения таких соотношений необходимо предварительно получить уравнение для изменения массы песка в двухфазном потоке. Вывод уравнения будем выполнять для песка с логарифмически нормальным распределением частиц по размерам со средним геометрическим размером  $x_0$ . Характерной особенностью подвижных песков является небольшая дисперсия функции распределения. Значение  $\sigma_{lgx}$  изменяется в интервале 0,08...0,15. Поэтому основным параметром полидисперсного песка, определяющим физические процессы его взаимодействия с воздушным потоком, является средний геометрический размер частиц  $x_0$  [3, 4].

Пусть лежащие на песчаной поверхности частицы песка имеют размер  $x_0$ , обладают определенной вертикальной начальной скоростью  $v_0$  отрыва от поверхности, а также скоростью свободного гравитационного падения  $w_g$ . Во время песчаной бури, по достижении ветром критической скорости, лежащие на поверхности частицы песка со скоростью отрыва  $v_0$  поступают в воздушный поток, т.е. возникает поток твердого вещества, который можно характеризовать величиной массового расхода.

Предварительно отметим, что массовый расход вещества имеет размерность кг/с [5], а также то обстоятельство, что двухфазный слой имеет определённую высоту  $h$ .

---

\* КазНИИЭК, г. Алматы

Из имеющихся переменных  $v_0$  и  $h$  можно составить величину, имеющую размерность, обратную времени, то есть величину  $av_0/h$ , ( $a$  – безразмерный коэффициент). В этом случае массовый расход  $q$  поступающего в воздух песка равен

$$q = \frac{av_0M}{h}, \quad (1)$$

где  $M$  – масса частиц песка, попавших в поток.

Переносимые воздушным потоком частицы песка будут осаждаться на поверхность, на некотором расстоянии от мест их попадания в поток. Предположим, что масса оставшихся в потоке частиц пропорциональна массе  $M$  попавших в поток частиц, т.е.  $a_1M$ , при этом  $a_1 < 1$  – безразмерная величина. Соотношение с размерностью, обратной времени, можно составить из переменных  $w_g$  и  $h$ , т.е. получить величину  $a_2w_g/h$ . В этой формуле  $a_2$  – безразмерный коэффициент. Таким образом, получаем равенство для массового расхода  $q_1$  осаждающихся частиц песка

$$q_1 = \frac{a_1Ma_2w_g}{h} = \frac{a_3w_gM}{h}, \quad (2)$$

где  $a_3 = a_1a_2$ , а величины  $q$  и  $q_1$  в формулах (1) и (2) имеют размерность массового расхода кг/с.

Бесконечно малое изменение массы песка  $dM$  в слое двухфазного потока за бесконечно малый интервал времени  $dt$  определяется разностью масс поступающих в поток частиц  $qdt$  и массой осаждающихся частиц  $q_1dt$ , т.е.

$$dM = \frac{av_0}{h} Mdt - \frac{a_3w_g}{h} Mdt, \quad (3)$$

где  $t$  – время. Отметим, что обе части равенства (3) имеют размерность массы.

В дальнейшем будем рассматривать некоторые частные случаи равенства (3). Если двухфазный поток движется над поверхностью не содержащей песка, например, над водной поверхностью, т.е. нет поступления частиц песка в поток, то тогда  $v_0 = 0, w_g \neq 0$ . Таким образом, при использовании начальных условий  $t = t_0, M = M_0$  получаем из уравнения (3) такое равенство [1]

$$M = M_0 \exp[-\lambda(t - t_0)], \quad (4)$$

где  $\lambda = \frac{a_3 w_g}{h}$ . Равенство (4) характеризует имеющуюся в потоке массу песка к моменту времени  $t$ . Параметр  $\lambda$ , в первом приближении, можно принять постоянной величиной для данных частиц и метеорологических условий. Допустим, что  $M \sim 10^{-5} M_0$ , т.е. произошло уменьшение первоначальной массы песка  $M_0$  на пять порядков. В этом случае из равенства (4) получаем соотношение  $5 \ln 10 = \frac{a_3 w_g}{h} (t_1 - t_0)$ , из которого находим интервал времени  $t_1 - t_0$ , в течение которого было выполнено указанное выше соотношение для массы песка

$$t_1 - t_0 = \frac{11,513h}{a_3 w_g}. \quad (5)$$

Для частиц песка, имеющих размер  $x_0 < 100$  мкм и скорость падения  $w_g \sim 0,1$  м/с [3, 4], а также в предположении, что поток движется в пределах приземного слоя атмосферы ( $h \sim 10^2$  м), принимая  $a_3 \sim 1$ , то есть, допуская, что из потока выпадают практически все частицы с одинаковой скоростью  $w_g$ , находим  $t_1 - t_0 \sim 3,2$  час. В работе [4] при описании песчаной бури приводятся временные характеристики переноса песка. По приводимым данным продолжительность снижения скорости ветра и уменьшение интенсивности переноса песка составляла несколько часов. Полученный выше результат не противоречит этим наблюдениям. Таким образом, уменьшение первоначальной массы песка за счет осаждения частиц может происходить за длительный промежуток времени.

Если пренебречь процессом выпадения частиц песка, то можно положить  $w_g \approx 0$ . Тогда имеем следующие соотношения:

$$M = M_0 \exp\left[\frac{av_0}{h}(t - t_0)\right] \quad (a)$$

$$t - t_0 = \frac{h}{av_0} \ln \frac{M}{M_0} \quad (b) \quad (6)$$

Равенство (6a) показывает увеличение первоначальной массы песка со временем, т.е. рост концентрации песка в воздухе. Допустим, что

$M \sim 10^4 M_0$ , тогда с помощью равенства (6a) можно оценить интервал времени, в течение которого произошло упомянутое увеличение первоначальной массы песка

$$t_2 - t_0 = \frac{9,21h}{av_0}. \quad (7)$$

Частицы песка с размером  $x_0 \approx 100$  мкм имеют скорость  $v_0 \sim 1$  м/с [2]. Предположим, что воздушно-песчаный поток движется в пределах приземного слоя атмосферы ( $h \sim 10^2$  м). Если принять, что в воздушный поток попадают все частицы песка со скоростью отрыва  $v_0$ , то  $a \sim 1$  и тогда получаем  $t_2 - t_0 \sim 15,3$  мин. Таким образом, увеличение массы песка в воздушном потоке происходит, по сравнению со временем существования бури, за достаточно короткий интервал времени.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗов. – М.: Наука, 1981. – 720 с.
2. Бютнер Э.К. Динамика приповерхностного слоя воздуха. – Л.: Гидрометеоиздат, 1978. – 158 с.
3. Семёнов О.Е. Оценка ветрового выноса песка и солей с осушенной части дна Аральского моря // Тр. КазНИИ Госкомгидромета. – 1988. – Вып. 102. – С. 39–54.
4. Семёнов О.Е. Введение в экспериментальную метеорологию и климатологию песчаных бурь. – Алматы: «ИП Волкова Н.А.», 2011. – 580 с.
5. Чертов А.Г. Физические величины (терминология, определения, обозначения, размерности, единицы) / Справ. пособие – М: Высшая школа, 1990. – 335 с.

Поступила 27.05.2013

Техн. ғылымд. канд. И.Г. Гуршев

#### **ҚҰМ БӨЛШЕКТЕРІНІҢ АУА АҒЫМЫМЕН ТАСЫМАЛДАНУ СҰРАҒЫ БОЙЫНША**

*Құм дауылы кезіндегі екі сатылы ағымдағы құм салмағының өзгеру тенсіздігінің қорытындысына теориялық шешім мүмкіндігі талқыланады. Теңсіздіктің жиі шешімдері қарастырылады. Сандық баға беріледі.*