

УДК 551.515: 532.5.18

Канд. техн. наук И.Г. Гуршев *

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТЕРИЕВ ПЕРЕНОСА ЧАСТИЦ ПЕСКА
ВОЗДУШНЫМ ПОТОКОМ****ПЕСЧАНАЯ БУРЯ, ЧАСТИЦЫ, КРИТЕРИИ САЛЬТАЦИИ И
ДИФФУЗИИ**

Во время песчаной бури значение динамической скорости потока u_ определяет, какое из неравенств $\frac{w_g}{b\chi u_*} > 1$ или $\frac{w_g}{b\chi u_*} < 1$*

выполняется для частиц гидродинамической крупности w_g . При выполнении первого частицы участвуют в процессе сальтации в приповерхностном слое ветропесчаного потока, второго – перемещаются выше в приземном слое атмосферы во взвешенном состоянии.

Как известно, во время песчаных бурь частицы песка перемещаются ветром либо путем сальтации в приповерхностном слое потока (перемещением прыжками по баллистическим траекториям), либо во взвешенном состоянии под действием турбулентной энергии потока в приземном слое атмосферы. Вертикальное распределение массовой концентрации $c(z)$ песка в приземном слое ветропесчаного потока Баренблатт и Голицын [1, 2] и Прндтль [5] описывают функцией

$$c = c_1 \left(\frac{z}{z_1} \right)^{-\beta}, \quad \beta = \frac{w_g}{b\chi u_*}, \quad (1)$$

где c_1 – концентрация песка на высоте $z_1 = 1$ м, $\chi = 0,4$ – постоянная Кармана, u_* – динамическая скорость потока, w_g – скорость свободного гравитационного падения частиц песка, b – безразмерная постоянная, z – вертикальная координата по оси OZ , начало которой находится на поверхности верхнего слоя песка.

Зависимость (1) может быть преобразована к следующему виду

* КазНИИЭК, г. Алматы

$$c = c_0 \left(\frac{z}{z_0} \right)^{-\beta}, \quad (2)$$

где c_0 – концентрация песка на уровне $z = z_0$, z_0 – параметр шероховатости поверхности. При этом предполагается, что z_0 является постоянной величиной.

Для решения поставленной задачи воспользуемся величиной среднего значения концентрации песка \bar{c} в пределах высоты h приземного слоя атмосферы, то есть в интервале от z_0 до h [3]. Таким образом, имеем

$$\bar{c} = \frac{1}{h - z_0} \int_{z_0}^h c(z) dz = \frac{c_0 z_0}{h - z_0} \int_{z_0}^h \left(\frac{z}{z_0} \right)^{-\beta} d \left(\frac{z}{z_0} \right). \quad (3)$$

Вводя безразмерную координату $z_2 = \frac{z}{z_0}$, преобразуем равенство

(3) к следующему виду

$$\bar{c} = \frac{c_0}{h_1 - 1} \int_1^{h_1} z_2^{-\beta} dz_2, \quad (4)$$

где $h_1 = \frac{h}{z_0}$ – безразмерная высота приземного слоя атмосферы.

Выполняя интегрирование в равенстве (4), находим следующее выражение

$$\bar{c} = \frac{c_0}{h_1 - 1} \left(\frac{h_1^{1-\beta}}{1-\beta} - \frac{1}{1-\beta} \right) = \frac{c_0}{h_1 - 1} \left(\frac{h_1^{1-\beta} - 1}{1-\beta} \right). \quad (5)$$

Существование зависимости (1), причём $c > 0$, означает, что должно выполняться также неравенство $\bar{c} > 0$. Входящие в выражение (5) множители c_0 и $h_1 - 1$ являются положительными величинами по физическому смыслу. Выполнение условия $\bar{c} > 0$ позволяет сделать заключение, что дробь $\frac{h_1^{1-\beta} - 1}{1-\beta}$ должна быть положительной величиной. Это приводит

к получению следующих неравенств: а) $1 - \beta > 0$ и б) $h_1^{1-\beta} - 1 > 0$.

Из неравенства а) находим: $1 > \beta$, $1 > \frac{w_g}{b\chi u_*}$, $\frac{b\chi u_*}{w_g} > 1$. Из неравенства б) получаем: $h_1^{1-\beta} > 1$, $h_1 > h_1^\beta$. Последнее неравенство возможно, если $\beta < 1$, то есть $\frac{w_g}{b\chi u_*} < 1$, $1 < \frac{b\chi u_*}{w_g}$ или $\frac{b\chi u_*}{w_g} > 1$. Полученный результат согласуется с работой [4]. В найденные неравенства входит постоянная b , имеющая, по мнению Прандтля, значения $b = 0,55 \dots 0,65$ [5]. По результатам работ Семенова $b = 0,5$ [6, 7].

Однако условие $\bar{c} > 0$ выполняться лишь в случае, если входящие в равенство (5) множители удовлетворяют таким неравенствам: в) $1 - \beta < 0$; г) $h_1^{1-\beta} - 1 < 0$. При этом по-прежнему выполняются условия: множители $c_0 > 0$ и $h_1 - 1 > 0$. Из неравенства в) находим $1 < \beta$, $1 < \frac{w_g}{b\chi u_*}$, $\frac{b\chi u_*}{w_g} < 1$. Из неравенства г) получаем $h_1^{1-\beta} < 1$, $h_1 < h_1^\beta$. Последнее неравенство возможно при $\beta > 1$, то есть $\frac{w_g}{b\chi u_*} > 1$, $1 > \frac{b\chi u_*}{w_g}$ или $\frac{b\chi u_*}{w_g} < 1$.

Так как имеется определенный диапазон изменения величин u_* и w_g , то, по-видимому, выполняются оба неравенства. Размер частиц определяется скоростью их свободного гравитационного падения w_g . Значение динамической скорости потока u_* определяет, какое из неравенств $\frac{w_g}{b\chi u_*} > 1$ или $\frac{w_g}{b\chi u_*} < 1$ выполняется для частиц гидродинамической крупности w_g . При выполнении первого частицы участвуют в процессе сальтации в приповерхностном слое ветропесчаного потока, второго – перемещаются выше в приземном слое атмосферы во взвешенном состоянии. Таким образом, найденные неравенства определяют возможные условия переноса частиц песка разного размера ветром или во взвешенном состоянии, или сальтацией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баренблатт Г.И., Голицын Г.С. Локальная структура развитых пыльных бурь. – М.: Изд-во МГУ, 1973. – 44 с.
2. Баренблатт Г.И. О движении взвешенных частиц в турбулентном потоке // Прикладная математика и механика. – 1953. – Т. 17, Вып. 3. – С. 261 – 274.
3. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗов. – М.: Наука, 1981. – 720 с.
4. Бютнер Э.К. Динамика приповерхностного слоя воздуха. – Л.: Гидрометеоиздат, 1978. – 158 с.
5. Прандтль Л. Гидроаэродинамика. / 2-е изд. Пер. с нем. – М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1955. – 575 с.
6. Семенов О.Е. Об ускорении потока во время сильных песчаных и пылевых бурь. // Гидрометеорология и экология. – 2000 – №3-4. – С. 23 – 48.
7. Семенов О.Е. Введение в экспериментальную метеорологию и климатологию песчаных бурь. – Алматы: ЧП «Волкова Н.А.», 2011. – 580 с.

Поступила 07.11.2012

Техн. ғылымд. канд. И.Г. Гуршев

ҚҰМ БӨЛШЕКТЕРІНІҢ АУАМЕН ТАСЫМАЛДАНУ КРИТЕРИЛЕРІН АНЫҚТАУ

Құмды дауыл кезінде тасымалданудың динамикалық жылдамдығы u_ мәнін, $\frac{w_g}{b\chi_*} > 1$ немесе $\frac{w_g}{b\chi_*} < 1$ теңсіздіктерінің қайсы бөлшектердің гидродинамикалық кесектігі w_g үшін орындағанына байланысты анықтайды. Егер біріншісі орындалған жағдайда бөлшектер желді құмды тасымалданудың үстінгі қабатындағы сальтация процесіне қатысады, ал екіншісінде атмосфераның жер үстіндегі жүрісінен жоғары қалқыма жағдайда тасымалданады.*