

УДК 621.547:66-912

А.И. Сафронов

(A.I. Safronov)

(УГЛТУ, Екатеринбург)

(USFEU, Yekaterinburg)

И.Б. Амарская, В.Н. Королев

(I.B. Amarskaj, V.N. Korolev)

(УрФУ, Екатеринбург)

(UrFU, Ekaterinburg)

**К ВОПРОСУ О ПРИЧИНЕ КВАЗИКАПИЛЛЯРНОГО ЭФФЕКТА
В НЕПОДВИЖНОМ ПРОДУВАЕМОМ ЗЕРНИСТОМ СЛОЕ
(TO THE QUESTION ON REASON QUASI-CAPILLARY OF EFFECT
IN THE MOTIONLESS BLOWN GRANULAR LAYER)**

Анализируются возможные причины необычного эффекта перемещения вверх дисперсной среды (смесь воздуха и твердых частиц) без дополнительной затраты энергии по трубке, опущенной в неподвижный продуваемый зернистый слой.

The probable reasons of unusual effect, moving upwards the disperse environment (a mix of air and firm particles) without an additional expense of energy on a tube lowered in a motionless blown granular layer are analyzed.

Ранее [1] экспериментально исследован необычный эффект, названный нами квазикапиллярным, заключающийся в том, что если полый цилиндр (трубку) определенного внутреннего диаметра опустить в неподвижный продуваемый зернистый слой, то дисперсная среда (смесь воздуха и частиц слоя) без дополнительной затраты энергии движется вверх по каналу сплошным потоком или поршнями, идущими друг за другом. Высота подъема и характер движения частиц напрямую зависят от отношения внутреннего диаметра трубки к размеру частиц.

Визуально было установлено, что при $d_{\text{тр}}/d_{\text{ч}} < 4$ движения частиц по трубке не происходит. Начиная с $d_{\text{тр}}/d_{\text{ч}} = 4$, наблюдался стабильный подъем частиц на высоту, в 10 раз превышающую высоту насыпного слоя. При увеличении $d_{\text{тр}}/d_{\text{ч}}$ до 6 интенсивность подъема частиц (их количество и скорость движения по трубке) возрастала, частицы двигались группами, образуя поршни. Поршневой режим движения дисперсной среды сохранялся и при $d_{\text{тр}}/d_{\text{ч}}$ более 7–10, но высота, на которую поднимались поршни, с увеличением диаметра трубок уменьшалась. При $d_{\text{тр}}/d_{\text{ч}} > 20$ никакого эффекта, связанного с движением частиц слоя по трубке, не наблюдалось. Предположили, что причиной самопроизвольного подъема твердых частиц в узкой трубке, погруженной в неподвижный продуваемый зернистый слой, является неравномерное гидродинамическое сопротивление зерни-

стого слоя по сечению трубки. У стенок трубки гидродинамическое сопротивление меньше, чем в центре слоя, вследствие того, что среднее значение порозности зернистого слоя на расстоянии $x/d = 0,5$ от стенки в 1,25 раз больше, чем вдали от нее [2]. Если учесть это, то для узкой трубки диаметром 2,52 мм, в которой находится слой частиц эквивалентным диаметром 0,63 мм ($d_{тр}/d_ч = 4$), доля площади сечения с повышенной порозностью (с меньшим гидравлическим сопротивлением и большей скоростью воздуха) составляет 43,7 %. Этим можно было бы объяснить наблюдаемый интенсивный подъем частиц. С увеличением отношения $d_{тр}/d_ч$ доля площади сечения трубки с повышенной порозностью уменьшается и для трубки внутренним диаметром 12,6 мм ($d_{тр}/d_ч = 20$) составляет только 9,7 %, поэтому никакого эффекта, связанного с движением частиц слоя внутри трубки, не наблюдается. Если следовать этой логике, то при $d_{тр}/d_ч = 2$ доля площади сечения трубки с повышенной порозностью составляет 73,6 % и должен иметь место интенсивный подъем частиц, однако этот эффект отсутствует. Значит, причина самопроизвольного подъема частиц в узких трубках связана со структурой зернистого слоя и, как следствие, с величиной его средней по сечению трубки порозностью.

В связи с этим целью данной работы являлось экспериментальное определение величины средней порозности неподвижного зернистого слоя в узких трубках. Литературные данные [3] по влиянию ограничивающих слой стенок на величину средней порозности при малых отношениях диаметра аппарата к размеру частиц слоя очень скудные и противоречивые. Связано это с тем, что величина порозности зернистого слоя зависит от многих факторов, в том числе от формы частиц и шероховатости их поверхности. Шероховатые частицы при загрузке дают менее плотную, чем шары, укладку, так как трение между шероховатыми частицами препятствует уплотнению слоя.

Порозность зернистого слоя определялась опытным путем. В качестве твердой фазы использовались сферические частицы диаметром 0,675 мм и шероховатые частицы $d_ч = 0,63$ мм. Масса загружаемых в трубку частиц измерялась на электронных весах. Зная объем одной частицы и количество загружаемых в трубку частиц, определяли истинный объем твердой фазы. Измерялся объем слоя, засыпанного в трубку. По известной массе материала и измеренному объему засыпки подсчитывалась плотность насыпного слоя $\rho_{нс}$. Затем, зная истинную плотность частиц ρ слоя, рассчитывали величину порозности засыпки $\varepsilon = 1 - \rho_{нс}/\rho$. На рисунке приведены опытные данные по средней порозности зернистого слоя в зависимости от отношения диаметра трубки к размеру частиц.

Как следует из рисунка, порозность слоя при $d_{тр}/d_ч < 4$ не превышает 0,3, т.е. упаковка слоя очень плотная. Связано это, по-видимому, с тем, что при засыпке зернистого материала в вертикальную трубу происходит сжа-

тие и некоторое смещение нижележащих слоев относительно стенок трубы. Если через насыпанный в вертикальную трубку зернистый слой пропускать восходящий поток газа, то давление каждого отдельного зерна на нижележащие зерна слоя будет уменьшаться. В случае относительно узкой трубки, когда отношение ее диаметра к высоте насыпанного слоя много меньше единицы, снижение давления зерен уменьшит вертикальные напряжения, но не изменит образовавшуюся структуру засыпанного слоя, а следовательно, и боковое сжатие зерен стенками трубки.



Поэтому даже при больших скоростях потока, когда гидравлический напор становится больше силы тяжести слоя, на общую картину развития процесса оказывают существенное влияние силы трения слоя о внутреннюю поверхность трубки и эффекта движения частиц в ней не наблюдается.

Библиографический список

1. Сафронов А.И., Парышев И.С., Королев В.Н. Движение дисперсной среды по трубке, опущенной в неподвижный продуваемый зернистый слой // Лесная наука в реализации концепции уральской инженерной школы: социально-экономические и экологические проблемы лесного сектора экономики: матер. XI Междунар. науч. техн. конф. Екатеринбург: УГЛТУ, 2017. С. 44–46.
2. Королев В.Н., Сыромятников Н.И., Толмачев Е.М. Структура неподвижного и псевдооживленного слоя зернистого материала вблизи погруженной в него поверхности (стенки) // Инженерно-физический журнал. 1971. Т. 21. № 5. С. 973–978.
3. Гельперин Н.И., Айнштейн В.Г., Кваша В.Б. Основы техники псевдооживления. М.: Химия, 1967, 664 с.