

**Выводы и направление дальнейших исследований.** Итак, рассмотрев варианты защиты информации на смартфонах с платформой Android, можно подвести вывод. Данная операционная система как собственные, внутренние средства защиты, так же может и поддерживать дополнительное, разработанное другими разработчиками.

Встроенные внутренние средства защиты, достаточно удобными инструментами защиты данных на мобильных телефонах. Учитывая тип блокировки, выделяют различные виды безопасности. Они достаточно эффективны, но от внешних атак, то есть если кто-то хочет зайти на мобильный телефон и посмотреть какие-то определенные данные, то злоумышленник встречает препятствие в виде: пароля, рисунка, распознавание лица или PIN. Но от внутренних атак, вирусов, данные средства беспомощны. В то время как дополнительное программное обеспечение может обеспечить как безопасность от внутренних, так и от внешних атак.

Кроме того следует придерживаться определенных элементарных правил, а именно:

выключать Wi-Fi на телефоне, когда не пользуетесь Интернетом;

используйте сложные пароли;

загружайте приложения с умом.

Дополнительно, для большей надежности, уместно будет делать резервных копий и добавить удаленный доступ. Все эти советы позволят относительно безопасно пользоваться мобильными устройствами в быту.

*Список литературы*

1. **Якушин Петр.** Безопасность мобильного предприятия// Открытые системы № 01, 2013.
2. **Юдин А. К., Богуш В. М.** Информационная безопасность государства: Учебное пособие // Харьков: Консул. - 2005. - С. 38.
3. **Шетько Николай.** Взлом сотовых сетей GSM: расставляем точки над «i»// ET CETERA – серия цифровых журналов, распространяемых по подписке № 32, 2013.
4. **Белорусов Д.И.** Wi-Fi – сети и угрозы информационной безопасности/ Д.И. Белорусов, М.С. Корешков // СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕХНИКА № 6, 2009; с. 2-6.
5. **Михайлов Д. М., Жуков И. Ю., Ивашко А. М.** Защита мобильных телефонов от атак М.: Фойлис, 2011. - 192 с.
6. **Якушин Петр.** Безопасность мобильного предприятия/ П.Якушин // Открытые системы – 2013 - № 1 (187) – с. 22-27.
7. **Панасенко А.** Влияние мобильных устройств на безопасность информации – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.anti-malware.ru/node/12301>, 2013.
8. **Гилмор Дж., Бирдмор П.** Безопасность мобильных устройств для «Чайников» М.: John Wiley & Sons Ltd, Chichester, West Sussex, England (Англия), 2013. – 54 с.
9. **Ванг Й., Стрефф К., Раман С.** Проблемы безопасности смартфонов//ОТКРЫТЫЕ СИСТЕМЫ. СУБД, М: Издательство «Открытые системы», 2013. - 27-31 с.

Рукопис подано до редакції 14.04.17

УДК 532.58: 669.162.1

В.П. ТАРАСОВ, С.В. КРИВЕНКО, (ООО «Азовский технологический центр,  
Мариупольский государственный университет, г. Мариуполь)

## **ОБОСНОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ ДВИЖЕНИИ ГАЗА В СЛОЕ ОКОМКОВАННОЙ АГЛОШИХТЫ**

Газодинамические условия спекания агломерационных шихт оказывают существенное влияние на производительность процесса, качество агломерата и параметры работы газоотсосного оборудования, оптимизация которых возможна при обоснованном научном решении проблемы.

Наиболее часто исследователи при описании газодинамики зернистого слоя используют формулу Дарси-Вейсбаха, определяющую потери напора при развитом турбулентном течении несжимаемой жидкости [1,2]

$$\Delta P = \Psi \frac{H}{d} \frac{\rho U_0^2}{2\Phi} \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon^3}, \quad (1)$$

где  $\Psi$  - коэффициент газодинамического сопротивления;  $H$  - высота слоя, м;  $\varepsilon$  - порозность слоя, д.ед;  $d$  - эквивалентный диаметр частиц, м;  $\rho$  - плотность газа, кг/м<sup>3</sup>;  $U$  - приведенная скорость газа, м<sup>3</sup>/с;  $\Phi$  - показатель сферичности.

Формула (1) предназначена для расчета потерь давления в цилиндрических трубах и основана на дополнении формулы Вейсбаха коэффициентом Дарси сопротивления участка трубы длиной  $L$  и диаметром  $D$ [2]

$$\xi = \lambda \cdot \frac{L}{D}, \quad (2)$$

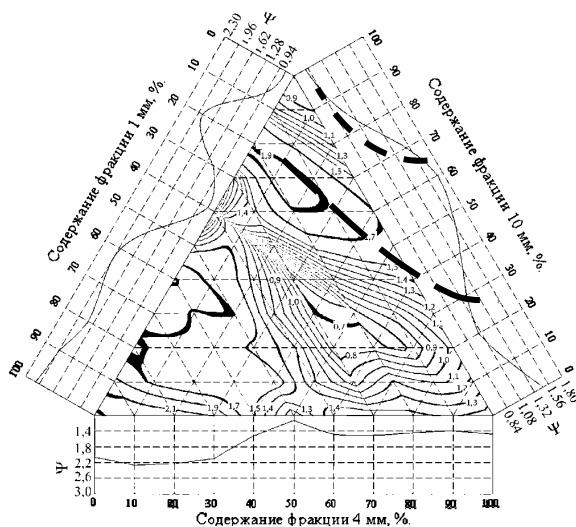
где  $\lambda$  - коэффициент потерь на трение по длине

Трудность использования формулы (1) для сыпучих сред связана с тем, что коэффициент  $\Psi$  имеет сложную зависимость при изменении доли мелких фракций в слое, на которую указывали Т.Л. Джозеф, В.П. Тарасов и другие исследователи [1]. Для доменных шихт при увеличении доли мелочи до 0,2 происходит рост  $\Psi$  в три-четыре раза. Затем величина  $\Psi$  снижается. Если увеличивать долю мелочи сверх 0,4, то снова происходит рост  $\Psi$ . Однако четкого объяснения закономерности коэффициента  $\Psi$  не было представлено. Кроме того, доменные шихты по свойствам существенно отличаются от окомкованных агломерационных. Агломерат имеет форму и поверхность совершенно не соответствующую шарообразной. Мелкие фракции в доменной шихте свободно переносятся по каналам и не обладают силами сцепления, характерными для увлажненных агломерационных шихт. Также при движении газа снизу вверх в слое доменных шихт создаются более благоприятные условия для раздвигания и переноса мелких частиц.

Преобразовав выражение (1), Коротич В.И. предложил для оптимизации газодинамических режимов использовать формулу, в которой отсутствуют параметры, зависящие от режима движения газа, а также разделены параметров газа и слоя, влияющие на его газодинамическое сопротивление [4]. Данную формулу применяют для анализа слоя окомкованной агломерационной шихты (ОАШ) с неизменным фракционным составом. При изменении содержания мелких фракций формула не обеспечивает удовлетворительную точность прогнозирования газодинамических условий процесса спекания. Используемые в ней коэффициенты сопротивления  $K_1$  и  $K_2$  определяют путем линейной интерполяции и включают  $\Psi$ .

Цель работы – обосновать закономерность коэффициента газодинамического сопротивления  $\Psi$  формулы Дарси-Вейсбаха при изменении фракционного состава окомкованной агломерационной шихты.

Исследование коэффициента  $\Psi$  осуществлено методом просасывания слоя в агломерационной чаше [5,6]. На основе изменяемого расхода воздуха через слой и измеренных потерь напора для каждого фракционного состава построена диаграмма (рис. 1).



**Рис. 1.** Изменение коэффициента сопротивления  $\Psi$  для трехфракционной шихты на основе среднелогарифмического эквивалентного диаметра при расходе воздуха через слой  $Q = 1,5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$

Максимальные значения  $\Psi$  для монофракционных шихт соответствуют минимальной крупности частиц. По данным В. П. Тарасова коэффициент сопротивления слоя из крупных частиц в 13-15 раз ниже, чем слоя мелких частиц с такой же порозностью. Из построенной диаграммы (см. рис. 1) видно, что при содержании частиц диаметром  $d=10$  мм, равном  $V_{10}=100\%$  коэффициент  $\Psi_{10}=0,81$ , для частиц  $d=1$  мм при  $V_1=100\%$  величина

$\Psi_1=2,11$ . Соотношение  $\Psi_1/\Psi_{10} = 2,6$ . Полученные результаты для ОАШ не соответствуют представленным в [1] данным в связи с тем, что по форме, размерам и шероховатости куски доменной шихты существенно отличаются от гранул относительно шарообразной формы с меньшей шероховатостью. Кроме того, отличались условия загрузки шихты в слой и направление движения газов.

Для ОАШ при добавлении мелочи до 0,2 доли.ед. происходит резкое увеличение  $\Psi$  до максимума  $\Psi_{\max}$ , в  $\approx 2,2$  раза превышающего минимум для монофракционной шихты. При дальнейшем добавлении мелочи коэффициент  $\Psi$  снижается примерно с той же скоростью до минимального значения  $\Psi_{\min}$ . Если продолжать добавлять мелкие фракции в слой, то  $\Psi$  снова растет и остается примерно постоянным. Таким образом, график изменения  $\Psi$  от содержания мелочи в слое имеет минимум. При уменьшении различия в размерах фракций разность между значениями минимума  $\Psi_{\min}$  и максимума  $\Psi_{\max}$  снижается, т.е. кривая коэффициента сопротивления постепенно сглаживается и перегибы исчезают.

Положение первого максимума коэффициента  $\Psi_{\max}$  соответствует одновременному снижению порозности слоя  $\varepsilon$  и коэффициента вариации  $V_d$ [6]. Из этого следует, что эффективная порозность слоя падает с большей скоростью, чем фактическая  $\varepsilon$ . Данное явление объясняется тем, что при добавлении в слой мелкие частицы, размещаясь между крупными и скапливаясь внизу между ними в узких местах, уменьшают диаметр каналов и увеличивают извилистость быстрой, чем снижают удельный объем пустот. В результате потери давления газов  $\Delta P$  в слое увеличиваются с большей скоростью, чем симплекс  $(1-\varepsilon)/\varepsilon^3$ .

Изменение значений  $\Psi$  и  $\Delta P$  зависит от распределения мелочи между крупными фракциями. При движении жидкости или газа через слой сыпучих материалов происходит ее перераспределение в межкусковых пустотах и зависит от коэффициента трения частиц между собой. При продувке в прозрачном цилиндре слоя стеклянных шаров диаметров 20 и 1 мм, обладающих малой шероховатостью, наблюдали следующее явление. Вначале мелочь в большей массе находится непосредственно в межкусковых пустотах. Поэтому снижается порозность и увеличивается  $\Psi$ . Затем мелкие частички перемещаются потоком жидкости или газа по направлению их движения. В первый момент продувки мелкие шарики находятся в межкусковых свободных объемах. Поэтому снижается порозность и увеличивается  $\Psi$  с увеличением  $m$  до 0,2. Затем мелкие шарики начинают двигаться в межкусковых пустотах. С увеличением  $m$  до 0,4 снижается порозность, но одновременно снижается  $\Psi$ . Потери напора растут с меньшей интенсивностью. Рост  $\Delta P$  объясняется большим влиянием  $\varepsilon$  по сравнению с  $\Psi$ . Если увеличить время продува, то происходит полное разделение крупных шаров и мелких шариков. Этим и объясняется изменение  $\Psi$  при увеличении объемной доли до 0,2, а затем с 0,2 до 0,4 и более.

Такое явление, вероятно, частично происходит и в слоях агломерационных и доменных шихт, обладающих существенно более высокой шероховатостью по сравнению со стеклянными шариками.

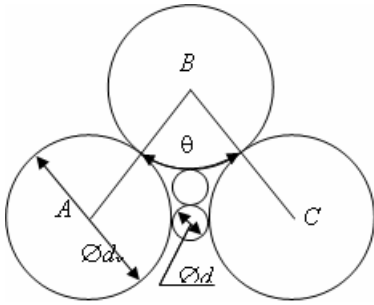
Ромбоэдрическая упаковка – наиболее вероятная укладка частиц в монофракционном слое сыпучего материала [7]. Согласно уравнению Сликтера порозность такого слоя равна [8,9]

$$\varepsilon = 1 - \left( \pi/6(1 - \cos \theta) \sqrt{1 + 2 \cos \theta} \right), \quad (2)$$

где  $\theta$  – угол укладки шаров,  $60 < \theta < 90$ .

Возможный диапазон угла укладки шаров одного диаметра в ромб составляет  $\theta$  от 60 до 90°, который соответствует изменению порозности слоя  $\varepsilon$  от 0,259 до 0,476. Угол  $\theta$  также определяет расположение и крупность мелких частиц в сужениях каналов. В результате геометрических расчетов определено, что между крупными шарами диаметром 10 мм с минимальным углом укладки  $\theta=60^\circ$  размещается частица с минимальным диаметром равным  $d_{зан}=1,55$  мм. При максимальном угле укладки  $\theta=90^\circ$  минимальный диаметр вписываемой частицы составляет  $d_{зан}=4,14$  мм. Таким образом, осуществление запирающего эффекта за счет размещения одной мелкой частицы в узких пустотах между крупными маловероятно.

Для этого необходимо размещение двух и более частиц, которые удерживались бы в таких пустотах за счет сил трения. При размещении одной мелкой частицы между крупными  $A$  и  $C$  расстояние  $(AC-d_k)$  не должно превышать диаметра  $d_m$  (рис. 2).



**Рис. 2.** Расположение мелких частиц в пустотах ромбоэдрической упаковки крупных гранул

Исследованиями Томаша А.А. установлено, что наиболее вероятные углы укладки шаров в слое приходятся на интервал значений  $\theta$  от  $67,5$  до  $75^\circ$  [8]. Поэтому для реального слоя частиц с порозностью слоя  $0,361-0,427$ , размещение мелких частиц в узких пустотах между крупными и возникновение запирающего эффекта обладает высокой вероятностью.

Согласно уравнению С Лихтера порозности слоя  $\varepsilon=0,418$  соответствует угол укладки шаров  $\theta=73,74^\circ$ , при котором в сужении каналов наиболее вероятно размещение двух мелких частиц.

Правильность гипотезы о соответствии максимума коэффициента сопротивления  $\Psi$  размещению мелких частиц в узких пустотах между крупными подтверждена упрощенной методикой расчета доли занятого пространства слоем мелких частиц, не учитывающей сил их взаимодействия.

Принято, что крупные частицы  $d_k=10$  мм формируют ромбоэдрическую укладку с  $\theta=73,74^\circ$  и  $\varepsilon_k=0,418$ . В каждой ромбоэдрической упаковке размещается объем крупной фракции, равный объему одной шарообразной частицы и равен  $V_{к.ч.}=1/6 \cdot \pi d_k^3=1/6\pi 10^3=523,6$  мм<sup>3</sup>.

Исходя из формулы

$$\varepsilon_k = V_n / (V_n + V_k), \quad (2)$$

где  $V_n, V_k$  - объемы пустоты и крупной частицы, соответственно, м<sup>3</sup>, объем пустоты в упаковке равен, мм<sup>3</sup>

$$V_n = V_k \cdot \frac{\varepsilon_k}{1 - \varepsilon_k} = 523,6 \cdot \frac{0,418}{(1 - 0,418)} = 376,1. \quad (3)$$

Примем, что порозность монофракционной шихты мелких шаров равна  $\varepsilon_m=0,418$ . Объем мелкой частицы равен  $V_{м.ч.}=1/6\pi d_m^3=1/6\pi 1^3=0,523$  мм<sup>3</sup>.

Тогда максимальные массовый объем  $V_{полн}$  и количество  $N_{полн}$  мелких частиц, вмещаемых между крупными без их раздвигания при полном заполнении пустоты, равны

$$V_{полн} = m \cdot V_n \cdot (1 - \varepsilon_m) = 1 \cdot 376,1 \cdot (1 - 0,418) = 218,9 \text{ мм}^3, \\ N_{полн} = \frac{V_{полн}}{V_{м.ч.}} = \frac{218,9}{0,523} = 418 \text{ шт.} \quad (4)$$

Аналогично, доле мелких частиц  $m=0,2$  соответствует их массовый объем  $V_{m=0,2}$  и количество  $N_{m=0,2}$

$$V_{m=0,2} = \frac{m}{1 - m} \cdot V_k = \frac{0,2}{1 - 0,2} \cdot 523,6 = 130,9 \text{ мм}^3, \\ N_{m=1} = \frac{V_{m=0,2}}{V_{м.ч.}} = \frac{130,9}{0,523} = 250 \text{ шт.} \quad (5)$$

Степень заполнения при этом составила  $k=59,8$  % от максимальных значений  $V_{полн}$  и  $N_{полн}$ . Причем, при неизменной порозности слоя мелких фракций внутри пустоты укладки, значение  $k$  зависит только лишь от содержания мелких гранул  $m$  и удельных объемов  $\varepsilon_m$  и  $\varepsilon_k$ .

Известно, что при соотношениях размеров аппарата и частиц менее 6 происходит существенное разрыхление слоя за счет пристеночного эффекта [7,10].

В связи с этим вероятно, что рассчитанное значение завышено, поскольку при размещении мелких частиц в узких пространствах должен присутствовать пристеночный разрыхляющий эффект.

На основании расчетов следует, что первому максимуму коэффициента  $\Psi_{макс}$  сопротивления при доле мелочи  $0,2$  соответствует заполнение половины пустоты мелкими частицами между крупными, т.е. до максимального расширения волнообразного канала.

При соотношении размеров частиц  $d_m/d_k=1/4$  и  $d_m/d_k=4/10$  явно выраженной ветви роста коэффициента  $\Psi$  до первого максимума не существует. Это связано с тем, что в сужении канала

между крупными частицами вмещается только одна частица. Извилистость повышается не так существенно, как для соотношения диаметров  $d_m/d_k=1/10$ .

Кроме того, слой мелких частиц в пустотах между крупными существенно разрыхлен из-за пристеночного эффекта и порозность слоя мелких частиц более 0,6.

По достижении максимума коэффициента  $\Psi_{\max}$  и последующем добавлении мелких фракций в слой, они начинают постепенно заполнять оставшиеся пустоты между крупными частицами. Извилистость и диаметр каналов изменяются с меньшей скоростью из-за наличия свободных зон.

В результате эффективный объем пустот начинает падать с меньшей скоростью, чем фактический.

Следует учитывать, что эффективный объем пустот всегда ниже фактического из-за наличия застойных участков при движении газа, обусловленных турбулентными явлениями, газовыми линзами в местах соприкосновения частиц и др.

Выражение (2) подтверждает представленное обоснование первого максимума  $\Psi_{\max}$ . Согласно (2) изначально эквивалентный диаметр трубы (канала)  $D$  имеет большую величину, которая определяется размером крупных гранул и порозностью, сформированного ими слоя.

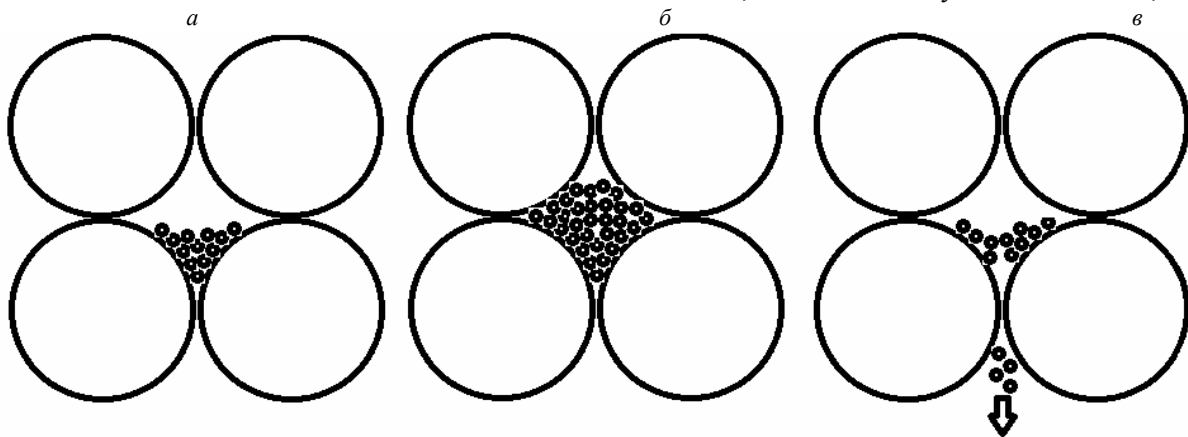
При добавлении мелких фракций диаметр  $D$  канала существенно уменьшается в сравнении с длиной  $L$  и растет извилистость движения газовых потоков.

При этом канал между крупными фракциями расширяющийся, поэтому влияние мелких фракций велико (рис. 3а). Такое влияние сохраняется до тех пор, пока размер канала между крупными частицами начинает уменьшаться (рис. 3б), тогда степень влияния мелких фракций постепенно снижается.

Согласно принятой методике расчета полное заполнение пустот для угла укладки частиц  $\theta=73,74^\circ$  происходит при доле мелкой фракции  $m=0,3$ . В пустоте при этом размещено  $N_m=418$  частиц. Это соответствует минимальной порозности слоя.

Однако минимум коэффициента  $\Psi$  соответствует  $m=0,4$ , поэтому за счет добавления мелких частиц происходит смена угла укладки крупных частиц до  $\theta=90^\circ$  и увеличение объема пустоты в упаковке до  $V_n=475,6 \text{ мм}^3$ .

В этот объем возможно вписать 528 шт. мелких частиц, что соответствует их доле  $m=0,35$ .



**Рис. 3.** Расположение мелких частиц в пустотах между крупными (а и б – при расширяющемся и сужающемся снизу вверх канале, соответственно; в – перенос мелких частиц между крупными при скорости движения газа через слой выше критической)

Несовпадение расчетного минимума коэффициента  $\Psi$  с фактическим связано с небольшим раздвижением крупных частиц, существенно не влияющим на размер сужений каналов.

На основе решения системы уравнений определена порозность слоя крупных частиц 0,53, соответствующая полному заполнению пустоты при содержании мелкой фракции 40 %. Такое значение порозности слоя соответствует кубической упаковке с расстоянием между частицами 0,36 мм.  $V_n=590,4 \text{ мм}^3$ . В этот объем возможно вписать 656 шт. Это соответствует увеличению общей порозности слоя сыпучего материала и снижению извилистости каналов за счет разрыхляющего влияния крупных частиц.

Дальнейшее добавление мелких частиц в слой начинает вытеснять крупные частицы, поэтому коэффициент сопротивления вновь возрастает до второго максимума, который остается почти неизменным или несущественно снижается при полном доминировании мелких фракций.

Незначительное снижение коэффициента сопротивления обусловлено снижением извилистости каналов для монофракционной шихты.

Касательно бифракционной шихты 4-10 мм. Максимум  $\Psi_{\max}$  соответствует содержанию крупной фракции 10 мм  $V_{\Psi,10}=60\%$  и промежуточной 4 мм -  $V_{\Psi,4}=40\%$ . В упаковку частиц диаметром 10 мм при наибольшем угле укладки  $\theta=90^\circ$  (куб) возможно разместить одну гранулу диаметром  $d_{\text{вн}}=4,1$  мм. Это отвечает содержанию  $V_{10}=93,9\%$  и  $V_4=6,1\%$ , не соответствующему  $V_{\Psi,10}$  и  $V_{\Psi,4}$ . Однако максимум  $\Psi$  кубической упаковке проявляется из-за того, что извилистость каналов увеличивается несущественно при формировании такой укладки крупных частиц маловероятно. Образуются укладки с координационным числом меньшим 6, что подтверждается минимумом порозности соответствующему содержанию  $V_{\varepsilon,10}=50\%$  и  $V_{\varepsilon,4}=50\%$  [11].

На рис. 1 показана пунктиром линия АВ максимума коэффициента сопротивления  $\Psi_{\max}$ , соединяющая оси, описывающие бифракционные шихты 1-10 мм и 4-10 мм. Аналогично выше приведенной методике рассчитано, что при наличии промежуточных частиц  $V_{\Psi,4}=40\%$  в слое происходит полное заполнение пустот и раздвигание упаковок крупных фракций. Заполнение пустот составило более 125 %, т.е. подтверждено, что в точке В происходит образование более сложных упаковок, для расчета характеристик которых формула С Лихтера применима путем замены значений диаметров частиц на эквивалентный.

Исходя из условия постоянства степени заполнения пустоты  $k$ , соответствующая первому максимуму  $\Psi_{\max}$ , определена порозность слоя крупных частиц  $\varepsilon=0,66$ . Это отвечает кубической упаковке гранул 10 мм с расстоянием между ними 1,51 мм, т.е. не соприкасающихся между собой. Происходит замещение крупных гранул 10 мм в узлах ромбоэдрической упаковки на меньшие 4 мм.

На основании рис. 1 следует, что в слое бифракционной шихты 1 и 4 мм происходят аналогичные изменения строения слоя и движения газа, как для выше рассмотренной составом 4 и 10 мм.

Формируются упаковки с различным сочетанием гранул 1 и 4 мм. Значение коэффициента сопротивления  $\Psi$  высокое в связи с высокой извилистостью каналов.

Для трехфракционной шихты 1; 4 и 10 мм добавление промежуточной фракции 4 мм до 20 - 30 % за счет крупной мало влияет на величину коэффициента  $\Psi$ .

При ее дальнейшем добавлении в слой, формируются упаковки, в узлах которых гранулы диаметрами 10 и 4 мм, в пустотах которых размещаются частицы 1 мм.

Для лучшего понимания процессов, происходящих в слое агломерационной шихты, необходимо дальнейшее развитие научных представлений строения полифракционного слоя и движения газов в нем.

**Выводы.** Коэффициент газодинамического сопротивления  $\Psi$  формулы Дарси-Вейсбаха имеет сложную зависимость от фракционного состава шихты из-за не цилиндрической формы канала между крупными кусками. Максимальное влияние на изменение коэффициента газодинамического сопротивления оказывает содержание мелкой фракции в слое.

При соотношениях размеров фракций  $d_m/d_k=1/10$  коэффициент  $\Psi$  имеет максимум, соответствующий 20%-му содержанию мелких фракций в слое и половинному заполнению канала до его максимального расширения.

При уменьшении разности в размерах частиц до  $d_m/d_k=1/4$  этот максимум определяется замещением меньшими частицами крупных в узлах упаковки.

### Список литературы

1. **Тарасов В.П.** Теория и технология доменной плавки / **В.П. Тарасов, П.В. Тарасов.** – М.: Интермет Инжиниринг, 2007. – 384 с.
2. **Петрушов С.Н.** Современный агломерационный процесс. Монография / **С.Н. Петрушов.** – Алчевск: ДонГТУ, 2006. – 360 с.
3. **Горшков-Кантакузен В. А.** К вопросу вычисления коэффициента Дарси методом регрессионного анализа // Материалы XXI Международного симпозиума «Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред» имени А. Г. Горшкова, 16 – 20 февраля 2015, Вятчи. — 2015. — № Том 1. — С. 59-60.
4. **Коротич В.И.** Агломерация рудных материалов / **В.И. Коротич, Ю.А. Фролов, Г.Н. Бездежский.** – Екате-

ринбург: ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ», 2003. – 400 с.

5. **Тарасов В. П.** Особенности газодинамики зернистого слоя/ В. П. Тарасов, С. В. Кривенко // Сталь: Международный научно-технический и производственный журнал. - 2014. - № 5. – С. 12-16.

6. **Кривенко С. В.** Коэффициент газодинамического сопротивления слоя окомкованной агломерационной шихты/ С. В. Кривенко // Сталь: Международный научно-технический и производственный журнал. - 2013. - № 4. – С. 16-19.

7. **Гольдштик М.А.** Процессы переноса в зернистом слое / М.А. Гольдштик. – Новосибирск, 1984. – 164 с.

8. **Томаш О.А.** Структура зернистого шару і рух газів у доменних печах: автореф. дис. докт. техн. наук : спец. 05.16.02 «Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів» / О.А. Томаш. – Донецьк, 2004. – 35с.

9. **Лейбензон Л.С.** Движение живостей и газов в пористой среде/ Л.С. Лейбензон. – М.-Л.: ОГИЗ. – 1947. – 244 с.

10. **Аэров М.Э.** Гидродинамические и тепловые расчеты аппаратов со стационарным и кипящим зернистым слоем / М.Э. Аэров, О.М. Годес. – М.: Химия, 1968. - 512 с.

11. Кривенко С. В. Исследование трехфракционного зернистого слоя / С. В. Кривенко // Вісник Приазовського державного технічного університету: Зб. наук. пр. – Маріуполь, 2006. – Вип. 16. – С. 13-16.

12. **Кривенко С. В.** Анализ вариации грансостава сыпучих материалов / С. В. Кривенко // Известия вузов. Черная металлургия: Научно-технический и производственный журнал, 010. – № 8. – С. 7-11.

Рукопись поступила в редакцию 14.04.17

УДК 62-54: 621.313-024.67.

О.К. ДАНИЛЕЙКО, ст. викладач, А.С. КУЗЬМЕНКО, ст. викладач,  
Г.В. КОЛОМІЦ, асистент, О.К. КОЛОМІЦ, магістрант  
Криворізький національний університет

## РОЗРОБКА ПРОГРАМНИХ ТА АПАРАТНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ КЕРУВАННЯ КРОКОВИМИ ДВИГУНАМИ

**Мета.** Розробка програмного та апаратного забезпечення для керування КД. Для досягнення поставленої мети потрібно зробити: розглянути основні принципи керування для обраних КД; обрати алгоритм керування для кожного КД; проаналізувати можливості програмованого логічного контролера (ПЛК); розробити для (ПЛК) програму керування відповідним КД.

**Методи дослідження.** При вирішенні задачі використовувались загальні методи обчислювальної техніки, побудови локальних мереж та програмування.

**Наукова новизна.** Розглянуті питання побудови систем автоматики та керування технологічними механізмами з КД. Розроблена оригінальна програма керування КД для ПЛК *ABB ACS500-еСо*.

**Практична значимість.** Сучасний стан цифрової електроніки суттєво поширив область використання крокових двигунів (КД). Вони широко використовуються в пристроях з позиційними системами керування а також в сучасних напрямках техніки, таких як механотроніка, робототехніка.

Поява роботів зі замінною позиційних систем, без зворотних зв'язків з дешевими транзисторними перемикачами, посприяло більш поширеному використанню КД.

**Результати.** Для підготовки фахівців, які мають навички в питаннях побудови та налаштування позиційних систем з КД в ДВНЗ «Криворізький національний університет» в навчовий процес впроваджуються лабораторні роботи з аналізу способів керування КД – для чого створено декілька стендів. Перший стенд побудовано на трифазному уніполярному кроковому двигуні. Комутації обмоток фаз реалізована з використанням програмованого логічного контролера (ПЛК). Другий стенд побудовано на двофазному біполярному кроковому двигуні типу *28BYJ-48*, який завдяки невисокій вартості має широкий спектр застосування. Третій стенд побудовано на двофазному біполярному кроковому двигуні з використанням досить поширеного драйвера *MP8825* на базі контролера *DRV8825*. Відповідно обраним способам керування розроблені алгоритми управління двигунами та створенні відповідні програми. Розглянуті питання сприяють покращенню професійної підготовки студентів, та дозволять їм набути необхідних навичок.

**Ключові слова:** кроковий двигун, контролер, апаратні засоби, стенди.

**Проблема та її зв'язок з науковими і практичними задачами.** Потреби в крокових двигунах стали поштовхом для випуску різноманітних типів крокових двигунів, які мають беззаперечні переваги та малу кількість недоліків, що являє собою недорогу альтернативу позиційному приводу [1].