

**V. Oshovskiy, A. Dyubanov COMPUTER MODELLING OF THE HYDRODYNAMIC EFFECTS ARISING IN THE NARROWING DEVICE**

The article describes a method of creating a mathematical model for the solution of the internal hydrodynamic problem. The most common problem faced by the specialists of Chemical Technology profile is the internal hydrodynamic problem. This problem is understood as the study of fluid flow, surrounded by solid walls. As a particular case is an example of the flow of fluid through the orifice - diaphragms, nozzles, Venturi tube.

Affirms, that the possibility of an empirical research is inconvenient to the majority of objects of the chemical industry in view of complexity, high speed, explosion and fire danger of processes proceeding in them. It is concluded that the theoretical study of such facilities is preferred.

It is proposed to study the internal hydrodynamic problem by computer simulation. As a tool of research selected application software package and its module for simulation of hydrodynamic processes based on the technology of computer fluid dynamics (CFD).

The description of stage-by-stage creation of computer model is given: creation of solid-state model of considered object, creation of the project of research, the task of boundary conditions of modeling, the task of goals of the project. The description of start and carrying out of calculation of the created hydrodynamic model of studied object is resulted. Recommendations for modeling objects of chemical technology are resulted..

The results received during modeling are given in the form of charts of distribution of the basic hydrodynamic parameters: speed and static pressure on longitudinal axis of the object. Variation of these parameters does not contradict theoretical concepts about behavior of a liquid and gases at their movement in the limited spaces.

Conclusions about prospect of use computing CFD packages for the decision of research problems of chemical technology are given. The conclusion that their use will allow to reduce essentially expenses of time at stages of studying, designs and introductions new and intensifications of already used chemical process processes is done.

**Keywords:** Fluid, turbulent kinetic energy,  $k-\varepsilon$  model, conservation laws, coordinate system, the condition of uniqueness, solid model, finite element method, information, conclusions.

**Ошовский Владимир Владимирович** – канд. хим. наук, доцент кафедры «Химическая технология топлива», ГБУЗ «Донецкий национальный технический университет», Донецк, Украина; e-mail: [vladosh2008@gmail.com](mailto:vladosh2008@gmail.com)

**Дюбанов Александр Вячеславович** – магистрант кафедры «Химическая технология топлива», ГБУЗ «Донецкий национальный технический университет», Донецк, Украина; e-mail: [alexendre@mail.ru](mailto:alexendre@mail.ru)

УДК 622.861: 66.096.5-932.2

**А.И. Кутняшенко, А.С. Парфенюк**, д-р техн.наук, проф., **А.Е. Караченцев** (ГБУЗ «Донецкий национальный технический университет»), **Ш. Хайнрих**, д-р техн.наук, **С.И. Антонюк** канд.техн.наук, (Head of Institute «Solids process engineering and particle technology», Technische Universität Hamburg-Harburg, Germany)

**К ВОПРОСУ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПОЛУЧЕНИЯ ГРАНУЛИРОВАННЫХ СОРБЕНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ГАЗА ОТ ПРИМЕСЕЙ**

Рассмотрен вопрос очистки шахтного метана путем использования гранулированных сорбентов, полученных из угольной пыли. Приведены результаты экспериментов по гранулированию модельного материала, а также представлен анализ популяционного баланса процесса агломерации на основе явления разрушения частиц при ударе.

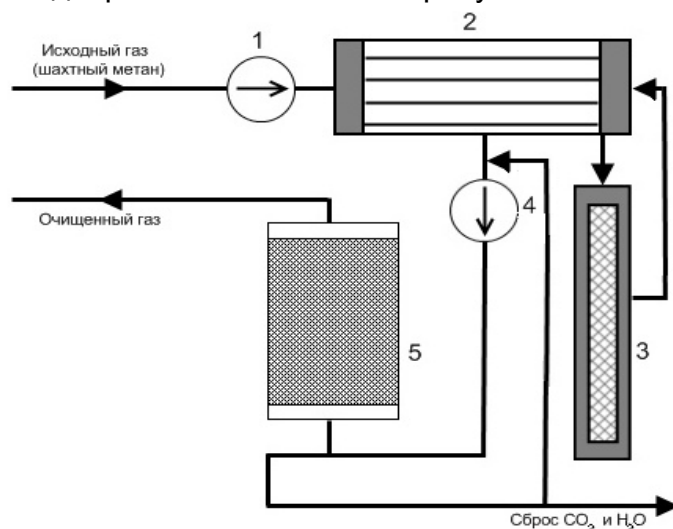
**Ключевые слова:** шахтный метан, угольная пыль, адсорбер, гранулирование, агломерация, разрушение, популяционный баланс.

Шахтный метан является сильнейшим загрязнителем окружающей природной среды, одним из разрушителей озонового слоя атмосферы планеты. В то же время содержит примеси, которые ухудшают его качество как топлива. В составе шахтного газа, помимо метана, обычно входят в тех или иных пропорциях диоксид углерода, азот, кислород, вода и некоторые другие твердые примеси.

В связи с этим, необходимо создавать технологию и оборудование, позволяющие очистить метан от примесей и обеспечить необходимое качество этого энергоносителя для дальнейшего использования. Очистка газа позволяет:

- избавиться от механических включений в составе шахтного газа;
- предотвратить загрязнение и эрозию оборудования и трубопроводов;
- снизить коррозию последующей аппаратуры и значительно уменьшить расход средств производства;
- избавиться от разных примесей в составе шахтного газа, тем самым, увеличивая концентрацию метана в нем;
- исключить выпадение влаги и жидких углеводородов в трубопроводах, оборудовании и форсунках котлов и электростанций.

Принципиальная схема очистки шахтного газа от загрязнений с помощью гранулированных адсорбентов показана на рисунке 1.



**Рис. 1.** Принципиальная схема очистки шахтного газа: 1 – вакуум-компрессор; 2 – теплообменник; 3 – каталитический реактор; 4 – дожимающий компрессор; 5 – установка очистки и осушки газа

Шахтный газ по газосборной сети поступает на установку подготовки газа.

Перед входом в вакуум-компрессор 1 газ сепарируется и очищается от угольной пыли и твердых включений во входных сепараторах. После дожатия в вакуум-компрессоре 1 газ нагревается в рекуперативном теплообменнике 2, который использует тепло от каталитического реактора 3. После рекуперативного теплообменника газ поступает в каталитический реактор 3, в котором происходит процесс окисления углеводородов на катализаторе. Теплота реакции отводится из реактора системой водяного охлаждения, а выходящий из реактора при температуре 300°C газ охлаждается в рекуперативном теплообменнике 2 и далее дожимается в компрессоре 4 до 0,8 МПа, после направляясь на установку адсорбционной очистки и осушки газа 5.

Установка очистки и осушки газа 5 состоит из нескольких адсорберов, заполненных угольным сорбентом. В каждом из адсорберов происходят

циклические процессы адсорбции примесей  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  при рабочем давлении десорбции (при атмосферном давлении). Газ десорбции сбрасывается в атмосферу, а продувочный газ, содержащий значительное количество метана, возвращается на вход дожимного компрессора 4. Продуктовая смесь метана и азота, выходящая из адсорберов направляется на дальнейшую переработку для последующего охлаждения газа, выделения азота (метод криогенной ректификации) и получения товарного метана в жидком виде.

Стадия очистки и осушки газа является важным этапом в процессе утилизации шахтного метана. Главным оборудованием в рассматриваемой установке очистки и осушки газа является адсорбер - аппарат, с помощью которого происходит разделение газообразных и жидких сред поверхностью пористого твердого тела. В роли сорбентов в адсорберах обычно выступают твердые пористые вещества. Для очистки шахтного газа предлагается использовать сорбенты в виде гранулированных материалов на основе угольной или коксовой пыли (вторичного продукта угольной и коксохимической промышленности).

Пылевидные фракции угля и кокса представляют опасность не только как загрязнители окружающей среды. Мелкодисперсная пыль способна подниматься потоками воздуха, находиться во взвешенном состоянии, проникать в подвижные узлы механического оборудования, ухудшая их работоспособность, ускоряя износ и приводя к преждевременному выходу из строя этих узлов. Кроме того, взвешенная в воздухе угольная пыль значительно ухудшает условия труда персонала в помещении цеха. Создание гранулированных сорбентов определенной пористости и размеров из угольной пыли позволит решать эти проблемы.

Эксперименты по возможности агломерации угольной пыли и отходов угольной и коксохимической промышленности и изучения их свойств и возможности применения в качестве адсорбента при подготовке шахтного метана для дальнейшего использования в качестве топлива проводились в институте технологии твердых материалов и частиц (SPE) Гамбургского технического университета (ТУН) [1-4]. Опыты агломерации проводились на экспериментальной установке фонтанирующего кипящего слоя (рис. 2). Фонтанирующий кипящий слой – это особый вид кипящего слоя, наиболее подходящий для псевдооживления мелких и несферических частиц. Эта технология предлагает псевдооживление маленьких и легких, или же наоборот - очень крупных частиц с широким распределением по размерам, которые могут быть клейкими или иметь несферическую форму [5, 6].

Экспериментальный аппарат с фонтанирующим слоем показан на рисунке 2. Опытная установка имеет цилиндрическую камеру 1, которая подключена через коническую часть к призматической камере псевдооживления 2 с двумя горизонтальными входами (щелями) для регулируемой подачи газа. Скорость воздуха на входе можно регулировать путем изменения открытия этих щелей  $h$ . Поток воздуха, создаваемый всасывающим вентилятором 3, может подогреваться с помощью нагревателя 4. Раствор или расплав, подготовленный в сосуде 5, с использованием перистальтического насоса 6 через шланг, имеющий рубашку обогрева, подают в кипящий слой при помощи двухфазной форсунки 7. Форсунка имеет встроенный нагревающий элемент для нагрева до максимальной температуры  $t_{\text{max}} = 100$  °C. Тканевый фильтр 8 отделяет из вытяжного воздуха выносимые из кипящего слоя мелкие частицы.

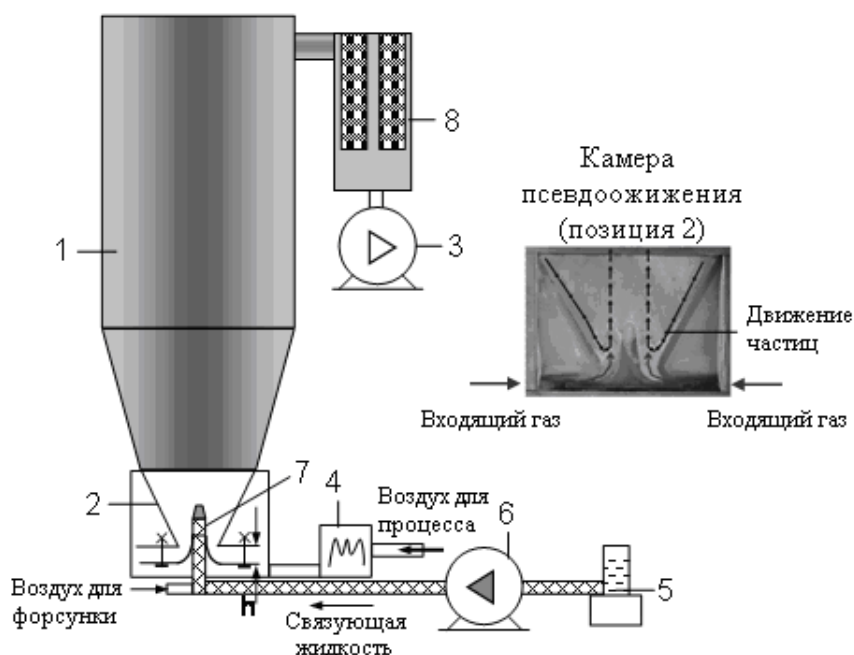


Рис. 2. Экспериментальный аппарат фонтанирующего слоя

В качестве связующего материала использовался 2-% раствор полимера (hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) Pharmacoat), который был заранее подобран для проведения эксперимента по гранулированию угольной пыли [7, 8]. В качестве рабочего материала для эксперимента использовался оксид алюминия  $Al_2O_3$  (таблица 1) – материал, близкий к угольной пыли по физико-механическим характеристикам (истинная плотность, гранулометрический состав, масса одной частицы и др.).

Таблица 1. Физико-механические характеристики угольной пыли и оксида алюминия

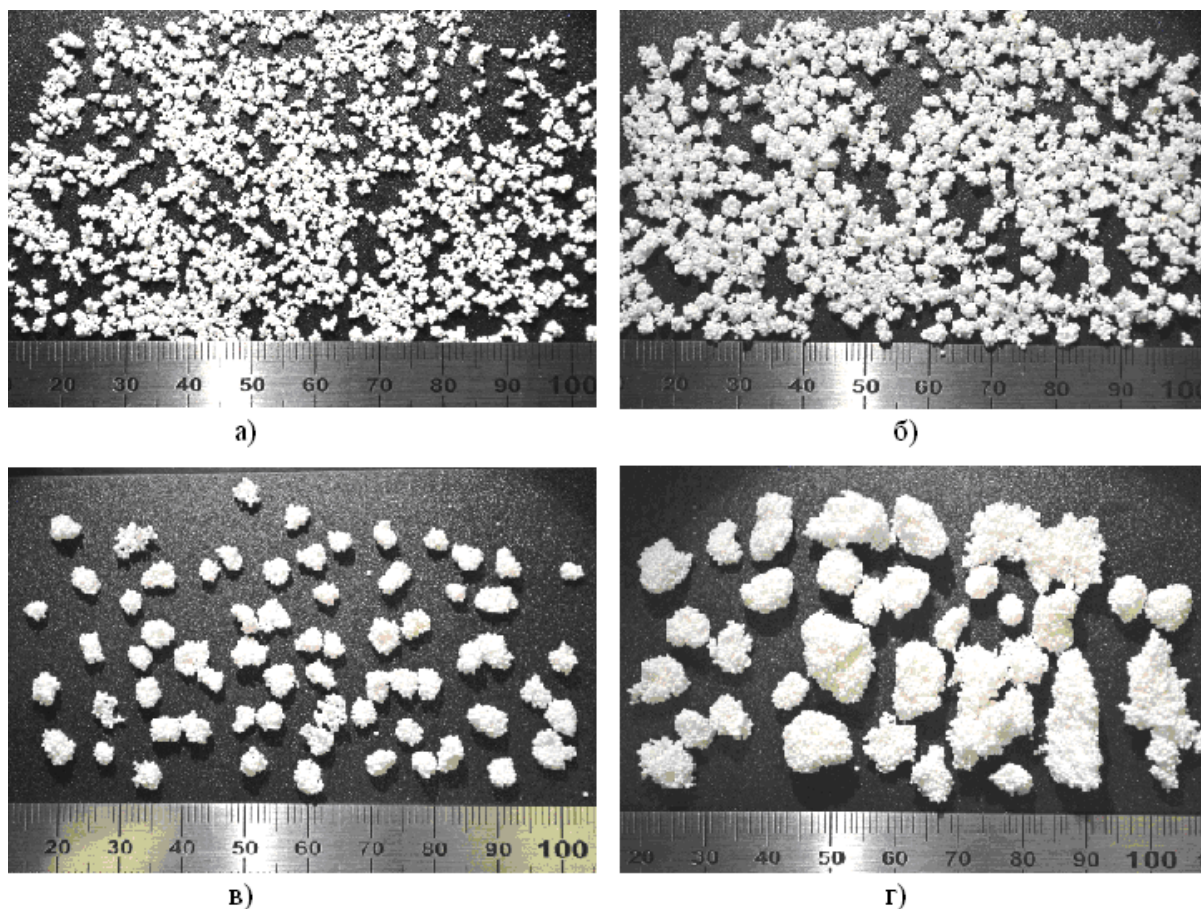
	Угольная пыль	$Al_2O_3$
Истинная плотность	1400 кг/м <sup>3</sup>	1040 (4000) кг/м <sup>3</sup>
Средний размер частиц, d	0,5-1,8 мм	0,75 мм
Пористость	60%	75%

При проведении процесса агломерации-гранулирования в аппарате экспериментально изменялись значения расходов и температурных режимов. Это позволило определить необходимые параметры для проведения эксперимента по гранулированию рабочего материала ( $Al_2O_3$ )

Таблица 2. Параметры процесса агломерации-гранулирования

Параметры процесса агломерации	Значения
Расход воздуха, подаваемый на псевдоожижение в аппарат	82,9 м <sup>3</sup> /ч
Расход воздуха через форсунку	0,7524 м <sup>3</sup> /ч
Температура в кипящем слое	50 °С
Расход раствора полимера	60 г/мин
Объем раствора полимера, поданного для агломерации	400 мл

В результате экспериментов по гранулированию оксида алюминия получены агломераты необходимого размера (от 2 до 8 мм), которые показаны на рисунке 3.



**Рис. 3.** Агломераты  $Al_2O_3$ : а) размер частиц 1,25...2,40 мм, время агломерации - 2 мин; б) размер частиц 2,50...3,40 мм, время агломерации - 4 мин, в) размер частиц 3,50...4,40 мм, время агломерации - 6 мин; г) размером частиц 4,50... 10 мм, время агломерации - 8 мин

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что при данных параметрах процесса агломерации-гранулирования из рабочего материала будут получены агломераты необходимого размера, что позволит использовать их в качестве адсорбента в уже существующем очистном аппарате (адсорбере) [9,10].

Для обеспечения экологичности и практичности процессов хранения и транспортировки сорбентов необходимо обеспечить их прочность в процессе изготовления. С этой целью проводились исследования прочности образующихся агломератов.

#### **Испытание агломератов на статическое сжатие**

Деформационные характеристики и свойства разрушения полученных агломератов измерялись при помощи эксперимента на одноосное сжатие с использованием устройства Texture Analyser<sup>®</sup>. Во время этого испытания отдельный агломерат помещался между двумя стальными пуансонами, и измерялась сила сжатия в зависимости от деформации. Давление прикладывалось при контролируемой осевой скорости деформации 20 мкм/с.

На рисунке 4 показан принцип испытания агломерата на сжатие. Во время движения пуансона в направлении верхней неподвижной плиты, возникает контакт между частицей и фиксированной плитой. В момент действия напряжения измеряются значения силы и величина деформации.

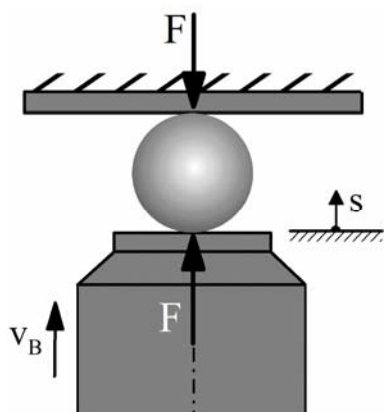


Рис. 4. Принципиальная схема эксперимента на сжатие отдельной частицы

Для заданного размера частиц, значение напряжения разрушения в момент первой поломки не является постоянной величиной, а соответствует определенному распределению. Первичные частицы и связующее распределены в агломерате случайным образом. Даже при идентичном процессе производства прочность отдельных агломератов будет отличаться на микро уровне в связи с распределением и ориентированием связей, дефектами и распределением пор по размерам. Кроме того, на поведение разрушения влияют прочность связей и ориентирование распределения неоднородностей.

Вероятность разрушения зависит от приложенной энергии нагрузки, распределение которой было получено интегрированием кривых зависимости сила-деформация до пункта первичного разрушения агломерата и его массы, определенной с помощью точных весов. На рисунке 5 показана вероятность поломки в сравнении с удельной энергией разрушения для производства агломератов различных размеров.

Как и ожидалось, с уменьшением размера агломерата кривая сдвигается вправо. Это показывает, что для небольших агломератов требуются большая удельная энергия разрушения, чем для крупных агломератов. Полученные распределения энергии разрушения были описаны модифицированной статистикой Вейбулла (кривые на рис 5.) [11]:

$$P = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{d_{50}}{d_0} \right)^2 \left( \frac{W_m}{W_{m,0}} \right)^z \right] \quad (1)$$

где  $d_{50}$  – это среднее значение начального размера агломерата.

Показатель  $z$  характеризует разброс свойств материала агломератов в пределах фракции. Второй параметр  $W_{m,0}$  представляет собой характерное значение удельной энергии разрушения. Соответствующий параметр  $d_0$  (1 мм)

Для исследования влияния размера на механическое поведение агломераты были разделены на 3 фракции: 1,7...2,2 мм; 2,3...2,7 мм и 2,8...4,0 мм. С целью повышения статистической значимости измерений были протестированы по 60 агломератов от каждой фракции.

Для заданного размера частиц, значение напряжения разрушения в момент первой поломки не является постоянной величиной, а соответствует определенному распределению. Первичные частицы и связующее распределены в агломерате случайным образом. Даже при идентичном процессе

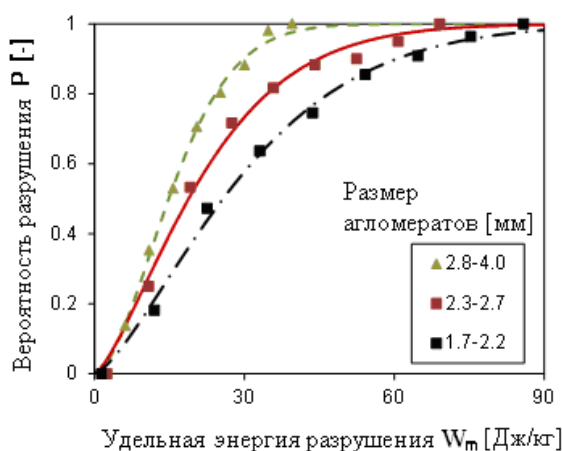


Рис. 5. Вероятность разрушения  $P$  агломератов в зависимости от массосвязной энергии разрушения  $W_m$

был использован для безразмерного представления функции вероятности. Полученные параметры функции распределения были обобщены в таблице 3.

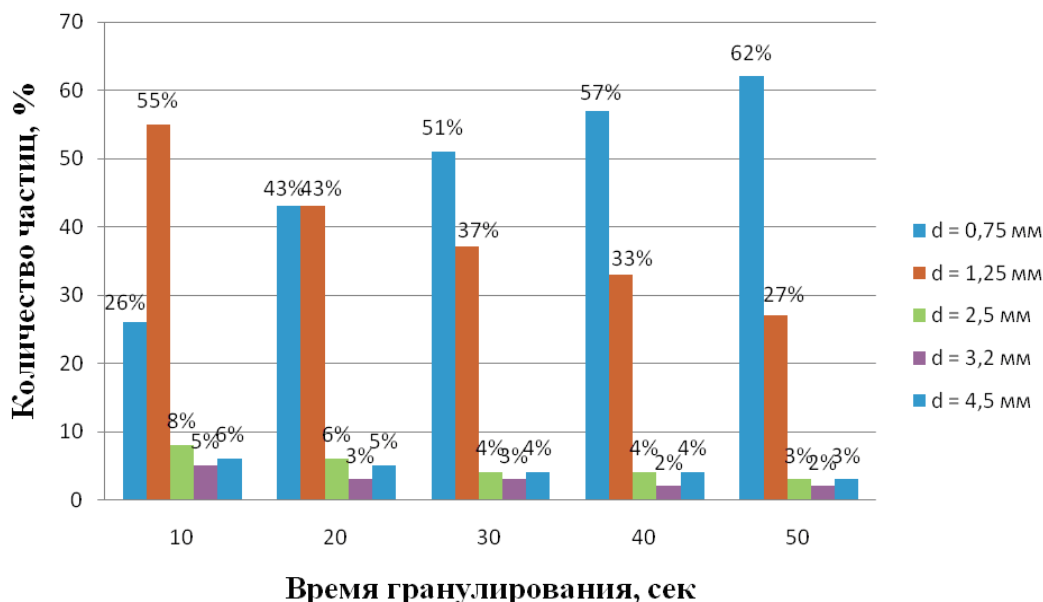
**Таблица 3.** Параметры распределения в уравнении (1)

Средний размер d50 [мм]	z [-]	Wm,0 [Дж/кг]
2.12	1.40	97.4
2.54	1.38	94.1
3.24	1.71	72.1

### Испытание полученных агломератов на динамическое разрушение в агломераторе

Также, полученные в ходе гранулирования оксида алюминия агломераты использовались для экспериментов по их разрушению в аппарате с кипящим слоем (полимер в ходе эксперимента по разрушению агломератов не используется). Разрушение агломератов в опыте происходит за счет столкновения частиц друг с другом, а также частиц со стенкой гранулятора в псевдооживленном слое. Целью проведения этого эксперимента являлся анализ негативного фактора – разрушение части образованных агломератов, который проявляется в процессе псевдооживления и образования новых агломератов. Необходимо было рассмотреть, как агломераты оксида алюминия, которые были получены в результате первого опыта, разрушаются с течением времени агломерации.

На основе полученных результатов в ходе опытов построена диаграмма, описывающая динамику разрушения частиц (рис. 6). Из рисунка видно, что в процессе агломерации более крупные агломераты разрушаются быстрее, чем агломераты меньшего размера, что подтверждается результатами вышеописанных экспериментов на одноосное статическое сжатие.



**Рис. 6.** Динамика разрушения частиц в аппарате

Наличие на частицах слоя жидкой фазы значительно увеличивает силы сцепления между частицами в момент их столкновения в процессе агломерации. При увеличении вязкости и толщины слоя жидкости увеличиваются потери кинетической энергии удара за счет вязкого трения,

капиллярных и поверхностных сил в контакте, и частицы слипаются. При последующем исчезновении жидкой фазы (сушка, охлаждение и т. п.) происходит прочное связывание кусочков агломерата между собой с образованием твердых мостиков. Но при достаточно интенсивном движении частиц возможно разрушение агломератов с образованием первичных частиц [12-14].

Процесс агломерации представляет собой сложный комплексный процесс роста частиц. Одним из подходов к расчету полидисперсной системы является применение популяционного баланса.

Баланса и динамики популяций – система интегро-дифференциальных уравнений, которые определяют развитие популяций (концентраций) различных объектов во времени. Популяции характеризуют распределение числа частиц по различным свойствам в нашем случае по размеру частиц [12,13].

Исследования проводились для каждой фракции рабочего материала ( $Al_2O_3$ ), через каждый промежуток времени от начала эксперимента:

- Для процесса агломерации через: 2 минуты, 4 минуты, 6 минут, 8 минут, 10 минут;
- Для процесса разрушения агломератов в псевдооживленном слое аппарата через: 10 секунд, 20 секунд, 30 секунд, 40 секунд, 50 секунд.

На основе полученных результатов были построены графики зависимости  $d_{50,3}$  (средний размер частиц, определенный из распределения частиц по их количеству) и  $d_{50,0}$  (средний размер частиц, определенный из распределения частиц по их массе) от времени гранулирования для первого опыта, а также от времени псевдооживления для второго опыта. Полученный график (рис. 7) описывает процесс развития частиц оксида алюминия по их размеру с течением времени агломерации в кипящем слое аппарата (агломераторе).

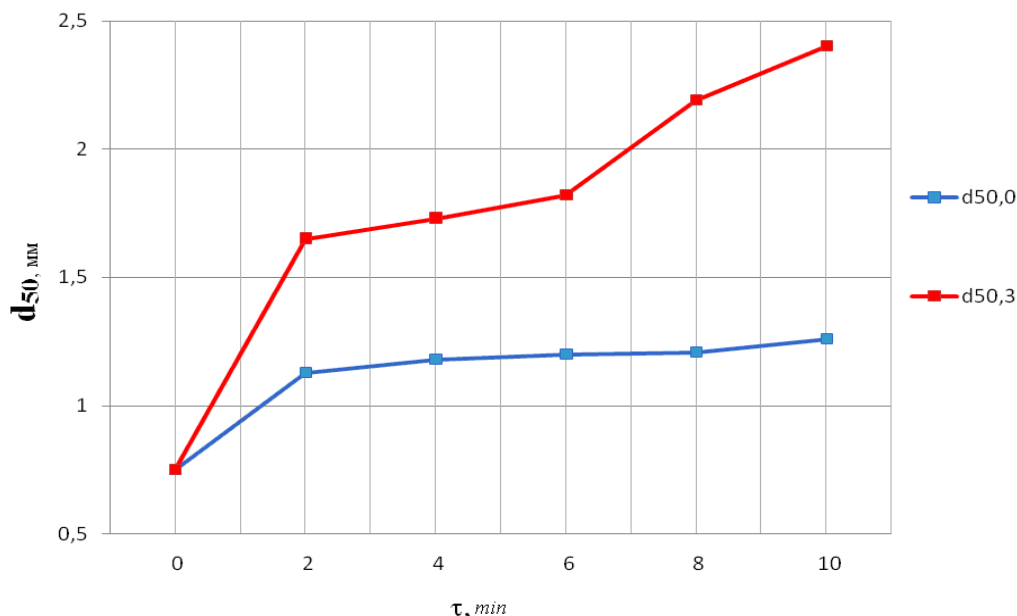


Рис.7. График зависимости  $d_{50,3}$  и  $d_{50,0}$  (мм) от времени агломерации  $\tau$  (мин)

График (рис. 8) описывает процесс разрушения агломератов в агломераторе, полученных в результате опытов по агломерации, с течением времени псевдооживления.



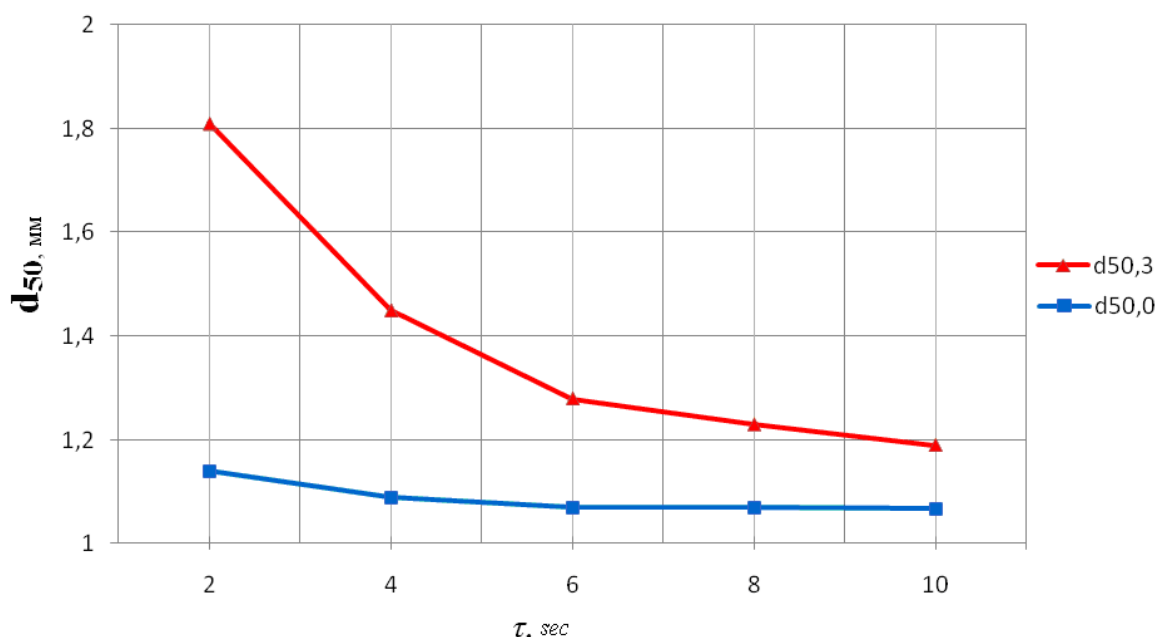


Рис. 8. Графік залежності  $d_{50,3}$  і  $d_{50,0}$  (мм) від часу псевдооживлення  $\tau$  (сек)

Таким образом, зная время пребывания частиц в аппарате-грануляторе, мы можем прогнозировать количество целых агломератов, т.е. выбрать оптимальное время агломерации для получения наибольшего количества эффективных сорбентов.

Проведенные эксперименты по агломерации оксида алюминия  $Al_2O_3$  позволили получить агломераты необходимого размера и плотности, которые могут применяться в качестве адсорбента для очистки шахтного газа от примесей в аппарате адсорбере. Исследованные особенности позволяют управлять процессом агломерации, необходимых для получения гранулированных сорбентов уже из угольной пыли с заданными свойствами в необходимом количестве.

### Список использованной литературы

1. Heinrich S., Peglow M., Ihlow M., Henneberg M., Morl L.: Analysis of the start-up process in continuous fluidized bed spray granulation by population balance modeling. Chem. Eng. Sci. 57 (2002) 20, 4369-4390.
2. Heinrich S. Coating of aerogels in a spouted fluidized bed apparatus dem modeling of particle dynamics / Heinrich S., Antonyuk S., Ershova A. // *Машиностроение и техносфера*. — 2010. — № 4. — С. 7–11.
3. Morl L. Fluidized Bed Spray Granulation. Handbook of powder technology / Morl L., Heinrich S. and Peglow M. // *Granulation*. — 2007. — V. 11. — P. 21–189.
4. Antonyuk S., Heinrich, S., Smirnova, I.: Discrete Element Study of aerogel particle dynamics in a spouted bed apparatus, Chemical Engineering & Technology 35 (2012) 8, 1427-1434.
5. L. Mörl, S. Heinrich, M. Peglow, in Handbook of Powder Technology, Elsevier Science, Oxford 2005.
6. N. Epstein, J. Grace, Spouted and spout-fluid beds: fundamentals and applications, Cambridge University Press, Cambridge, 2011.
7. Heinrich S. Экспериментальные исследования поведения гранулята при динамических воздействиях / Heinrich S., Antonyuk S., Кутняшенко А.И. [и др.] // *Машиностроение и техносфера*. — 2010. — № 4. — С. 107–111.
8. Кутняшенко А.И. Некоторые особенности технологии гранулирования-агломерации тонкодисперсных частиц / Кутняшенко А.И., Парфенюк А.С., Тасиц Д.И. [и др.] // *Наукові праці*

Донецького національного технічного університету. Серія: Хімія і хімічна технологія. — 2011. — Вип.16(184). — С. 167–172.

9. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А.Г. Касаткин. — М., 2005. — 753 с.

10. Классен П.В. Основы техники гранулирования / П.В. Классен, И.Г. Гришаев. — М., 1982. — 272 с.

11. Antonyuk, S., Khanal, M., Tomas, J., Heinrich, S. and L. Mörl: Impact breakage of spherical granules: experimental study and DEM simulation, Chemical Engineering and Processing 45 (2006), 838-856.

12. Тодес О.М. Аппараты с кипящим зернистым слоем: Гидравлические и тепловые основы работы / О.М. Тодес, О.Б. Цитович. — Л.: Химия, 1981. — 296 с.

13. Мухленов И.П. Расчеты аппаратов кипящего слоя / И.П. Мухленов, Б.С. Сажин, В.Ф. Фролов. — М.: Справочник, 1986. — 352 с.

14. Фролов В.Ф. Моделирование сушки дисперсных материалов / В.Ф. Фролов. — Л.: Химия, 1986. — 208 с.

Надійшла до редколегії 22.02.2013.

**О.І. Кутняшенко, О.С. Парфенюк, О.Є. Караченцев, Ш. Хайнрих, С.І. Антонюк ДО ПИТАННЯ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ОТРИМАННЯ ГРАНУЛЬОВАНИХ СОРБЕНТІВ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ГАЗУ ВІД ДОМІШОК**

*Розглянуто питання очищення шахтного метану шляхом використання гранульованих сорбентів, отриманих з вугільного пилу. Приведені результати експериментів по гранулюванню модельного матеріалу, а також представлений аналіз балансу популяції процесу агломерації на основі явища руйнування часток при ударі.*

**Ключові слова:** шахтний метан, вугільний пил, адсорбер, гранулювання, агломерація, руйнування, популяційний баланс.

**A.I. Kutnyashenko, A.S. Parfenjuk, A.E. Karachencev, S. Heinrich, S. Antonyuk TO THE MANAGEMENT PROCESS OF OBTAINING GRANULATED SORBENT FOR GAS PURIFICATION FROM IMPURITIES**

*CMM (Coal Mine Methane) is a strong pollutant of the environment, one of the destroyers of the ozone layer of the atmosphere of the planet. At the same time contains impurities that impair its quality as a fuel. As a part of mine gas, in addition to methane, usually come in different proportions of carbon dioxide, nitrogen, oxygen, water, and other particulate matter. In this connection, it is necessary to create the technology and equipment that allow methane to clean the impurities and provide the necessary quality of this energy for later use.*

*The solution of mine methane cleaning by using granulated sorbents derived from coal dust is proposed. Experimental results on the granulation model material, as well as an analysis of the population balance of the sintering process on the basis of the phenomenon of destruction of particles on impact are submitted.*

*As a binder material for agglomeration was 2 %- solution of the polymer (hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) Pharmacoat), which was pre-selected for the experiment of the coal dust agglomeration. As the working material for the experiments aluminum oxide Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> was used – similar material to the coal dust to the physical and mechanical characteristics.*

*To confirm the theoretical values, which were obtained by the simulation, the test of uniaxial compression and destruction of agglomerates for the vessel wall was obtained. The deformation and breakage properties of agglomerates were measured by uniaxial compression test using a Texture Analyser® device. During this test single agglomerate is loaded between two steel punches and the force-displacement curve is measured. The stress was applied at a controlled axial deformation rate of 20 μm/s. To investigate the influence of the size on the mechanical behavior the agglomerates were separated into 3 fractions: 1.7-2.2; 2.3-2.7; 2.8-4.0 mm.*

*The results, which are presented in the paper, will help create quality agglomerates for cleaning gas from contaminants and will improve the quality of this energy source.*

**Keywords:** mine methane, coal dust, canister, granulation, agglomeration, destruction, population balance.

**Кутняшенко Алексей Игоревич** – аспирант каф. «Машины и аппараты химических производств» (МАХП), ГБУЗ «Донецкий национальный технический университет», ул. Б.Хмельницкого 106, 83015, г. Донецк-015, Украина, Email: [ol.kutniashenko@gmail.com](mailto:ol.kutniashenko@gmail.com).

**Парфенюк Александр Сергеевич** – д-р техн. наук, проф., зав. каф.МАХП, ГБУЗ «Донецкий национальный технический университет», ул. Б.Хмельницкого 106, 83015, г. Донецк-015, Украина, тел. (+38062) 301-03-16, Email: [mahp@feht.dgtu.donetsk.ua](mailto:mahp@feht.dgtu.donetsk.ua).

**Караченцев Александр Евгениевич** – студент каф. «Машины и аппараты химических производств» (МАХП), ГБУЗ «Донецкий национальный технический университет», ул.Б.Хмельницкого 106, 83015, г. Донецк-015, Украина. Email: [fall2789@gmail.com](mailto:fall2789@gmail.com).

**Штефан Хайнрих (Heinrich Stefan)** – д-р техн. наук, директор Института технологий твердых материалов и частиц SPE Гамбургского технического университета ТУНН, Denickestr. 15 R. 2509, 21073, Гамбург, Германия, телефон:+49404 28783750, Email: [stefan.heinrich\(at\)tu-harburg.de](mailto:stefan.heinrich(at)tu-harburg.de).

**Антонюк Сергей Игоревич (Antonyuk Sergiy Igorevich)** – канд. техн. наук, профессор Института технологий твердых материалов и частиц SPE Гамбургского технического университета ТУНН, Denickestr. 15 R. 2509, 21073, Гамбург, Германия, телефон: +49404-28783564, Email: [antonyuk\(at\)tu-harburg.de](mailto:antonyuk(at)tu-harburg.de).

УДК 552.57

**Л.Ф. Бутузова**, докт. хим. наук, профессор, **Р.В. Маковский** (ДВНЗ «Донецкий национальный технический университет»), **С. Маринов**, канд.хим. наук, ст. науч. сотр. (Институт органической химии с центром фитохимии БАН), **Г. Н. Бутузов** канд. хим. наук, доцент, (ДВНЗ «Донецкий национальный технический университет»)

### ЭКСТРАКТЫ ЖИДКОПОДВИЖНЫХ ПРОДУКТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ РАЗНОВОССТАНОВЛЕННЫХ УГЛЕЙ И ШИХТ НА ИХ ОСНОВЕ

*Впервые подробно изучены экстракты пластического слоя жирных и газовых углей разных генетических типов по восстановленности (ГТВ) и шихт на их основе. Показано, что спекаемость углей предполагает наличие в пластическом состоянии определенной сбалансированности между подвижной и макромолекулярной фазами. Предложен новый показатель спекаемости - соотношение карбены+карбониды/мальтены в экстрактах жидкоподвижных продуктов термофльтрации углей и шихт, которое коррелирует с выходом указанных продуктов, ответственных за процессы спекания. Выявлен оптимальный состав шихты (Га+Жв), который дает максимально высокий выход «пластического» слоя, насыщенного алифатическими компонентами.*

**Ключевые слова:** пластический слой, уголь, шихты, экстракты, спекание

#### Введение

Изучение свойств углей в пластическом состоянии имеет огромное практическое и теоретическое значение для научно обоснованной разработки рациональных угольных шихт. Применяемые в настоящее время методы для характеристики пластической массы основаны на определении ширины зоны пластического состояния, ее вязкости, сопротивления, скорости перемещения металлической пластины в угольной загрузке и других физических свойств [1]. Они не позволяют оценить природу веществ, ответственных за процессы спекания.

Прогрессивным методом исследования структуры твердых горючих ископаемых является экстракция, которая позволяет установить различия в составе продуктов, полученных в результате их переработки [2-5].