



УДК 66.096.5-026.72-045.52(048.83)

И.О. Микулёнок, д-р техн. наук (Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского») E-mail: i.mikulionok@kpi.ua

Классификация газораспределительных решёток аппаратов псевдоожиженного слоя (обзор патентов)

Гидродинамику в аппаратах псевдоожиженного слоя обеспечивают газораспределительные решётки [1].

Множество конструкций газораспределительных решёток объясняется необходимостью требуемой гидродинамики псевдоожиженного

слоя конкретного сыпучего материала [2]. Рассмотрим характерные конструкции (без анализа решёток, обеспечивающих необходимую гидродинамику вместе с другими элементами рабочей зоны аппарата).

Анализ конструкций газораспределительных решёток позволяет предложить следующую их классификацию (рис. 1).

По форме в плане решётки бывают круглые, круглые кольцевые, прямоугольные (квадратные), фигурные.

В пат. № US5354039A — круглая решётка (высокой ремонтпригодности) с центральным коллектором и расходящимися от него радиальными трубками с перфорацией, направленной вниз.

В а. с. № SU1117894A1 в круглой многоярусной решётке — оживающий агент по центральной трубе подводится сверху вниз (рис. 2).

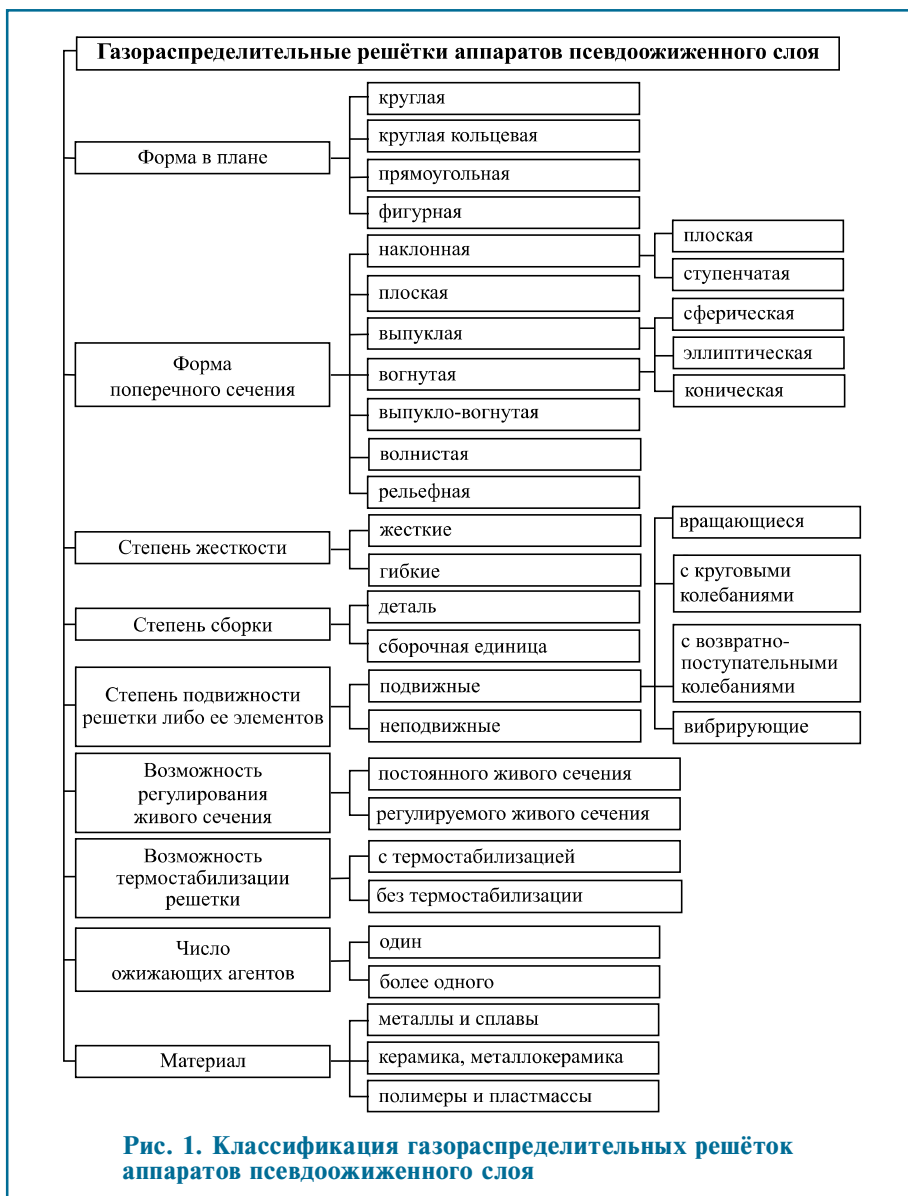


Рис. 1. Классификация газораспределительных решёток аппаратов псевдоожиженного слоя

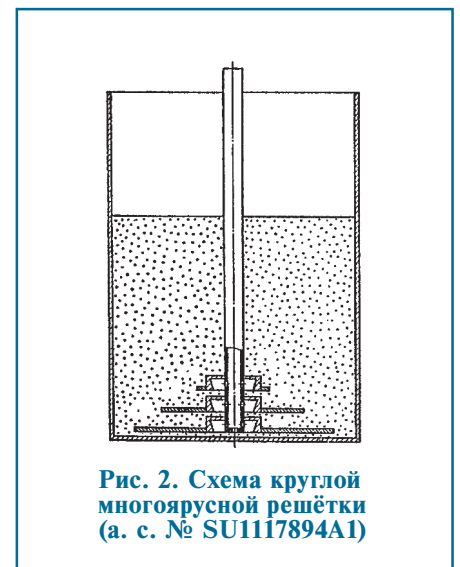


Рис. 2. Схема круглой многоярусной решётки (а. с. № SU1117894A1)

Отверстия различных диаметров, выполненные равномерно по площади полотна круглой решётки, исключают образование застойных зон в аппарате (пат. № KR20120078350A, а. с. № SU1740920A1), однако при этом не обеспечивается равномерного псевдооживления.

На периферии круглой решётки выполнены отверстия большего диаметра, чем в центральной части полотна, что обеспечивает устойчивое циркуляционное движение сыпучего материала (заявка № EP0721798). Аналогичный результат обеспечивается в решётке с отверстиями одного диаметра, но с шагом их расположения в периферийной части полотна меньшим, чем в центральной части полотна (пат. № CN2463043Y).

Рабочая часть круглой кольцевой решётки с центральным сплошным конусом (пат. № CN652482A5, № GB2119279A, № JPS58187778A, заявка № DE3314887A1) выполнена в виде набора радиальных S-образных колец, установленных с частичным перекрытием друг друга для обеспечения беспровальнойности решётки и направленного движения оживающего агента по восходящей спирали.

Подобные решётки, но с кольцами, через одно расположенными на двух уровнях, предложены в пат. № JPS607930A, заявке № WO2011/031244A2. Более простая решётка выполнена в виде выпуклого каскада плоских колец, установленных с частичным взаимным перекрытием (пат. № CN1878609A).

В кольцевых решётках оживающий агент подводится отдельной магистралью к каждому кольцу для активного влияния на гидродинамику псевдооживления (пат. № GB740974A, патент № KR20160118085A, заявка № WO2016/159568A1 и № EP3278872A1).

Круглая кольцевая решётка с центральным конусом и набором наклонённых в сторону конуса периферийных колец (пат. № FR1599864A). Достоинство решётки — интенсивная циркуляция сыпучего материала.

Прямоугольная беспровальная решётка с направленным

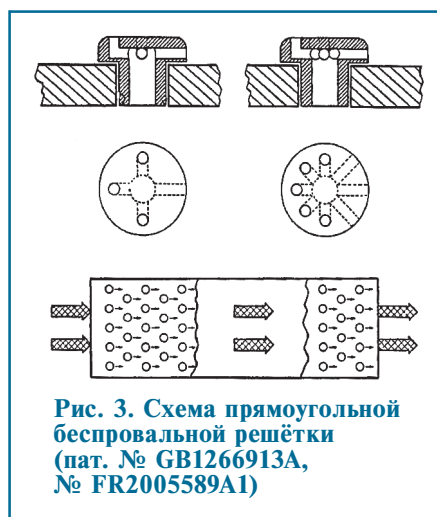


Рис. 3. Схема прямоугольной беспровальной решётки (пат. № GB1266913A, № FR2005589A1)

движением сыпучего материала в горизонтальном направлении (патенты № GB1266913A, № FR2005589A1), что обеспечивается вставками с каналами сложной формы (рис. 3).

Прямоугольная жалюзийная решётка в виде легкосъёмной каскады — совокупности наклонных пластин (пат. № RU96938U1).

Прямоугольная секционированная жалюзийная решётка разделена на восемь треугольных секций с наклонными пластинами, при этом жалюзи соседних секций ориентированы под углом друг к другу (а. с. № SU1189495A1).

Достоинство решётки — исключение образования застойных зон, недостаток — нетехнологичность (секции укомплектованы пластинами различной длины).

Аналогичные решётки — с полотнами, разделёнными на четыре и восемь секций неправильной формы (а. с. № SU1625517A1, № SU1733069A1 соответственно).

По форме поперечного сечения — плоские горизонтальные, плоские наклонные, выпуклые, вогнутые, выпукло-вогнутые, волнистые и рельефные решётки.

Выпуклые эллиптические решётки (пат. № US2651565A, заявки № WO96/03478A1, № EP0771344A1).

Выпуклая решётка в виде каскада круглых колец с отбортовками по краям (пат. № CN425734A, № FR1334227A), исключаящими попадание сыпучего материала в пространство аппарата.

Решётки в виде каскада частично перекрывающихся плоских колец, обеспечивающих интенсивную циркуляцию материала в рабочей зоне аппарата: выпуклые (заявка № WO2006/027009A1, заявка № EP1407815A1) и вогнутые (патент № CN104093481A, заявка № WO2013/104834A1).

Выпуклой решёткой в виде перфорированной конической оболочки, закреплённой в коническом днище цилиндрического аппарата, обеспечивается интенсивная циркуляция без образования застойных зон (пат. № GB889665A).

Вогнутые решётки — в виде сегмента перфорированной сферической оболочки (пат. № GB814771A) и перфорированного конуса, покрытого мелкоячеистой металлической сеткой для равномерного распределения оживающего агента по поперечному сечению аппарата (пат. № US3829983A).

Вогнутая решётка в виде каскада кольцевых концентрических перфорированных труб, расположенных по поверхности воображаемого конуса (пат. № JPS5476484A).

Выпукло-вогнутая круглая решётка с расширяющимися вверх коническими отверстиями (пат. № US3980439A). Уменьшением толщины решётки от периферии к центру обеспечивается прочность решётки в условиях высоких температур.

Круглые решётки с верхней плоской поверхностью и нижней вогнутой сферической поверхностью (пат. № GB937569A, № DE1417672A1, № FR1526099A). Достоинство решёток — переменное гидравлическое сопротивление в радиальном направлении способствует равномерному распределению оживающего агента по поперечному сечению аппарата, недостаток — высокая материалоемкость.

Применение плоской нижней и выпуклой сферической верхней поверхностей аналогичной решётки (пат. № JPS6279844A) обеспечивает интенсивную циркуляцию сыпучего материала, недостаток решётки — высокая материалоемкость.

Применением наклонных решёток облегчается выгрузка обработанного в аппарате сыпуче-

го материала в сторону наклона решётки (пат. № RU2029614C1, № GB1360385A, № JPS5642634U, патент № KR20150118788A, заявка № EP0444614A2).

Ступенчатая наклонная прямоугольная решётка в виде каскада частично перекрывающихся пластин с отогнутыми вверх и вниз краями — для исключения прохода материала через решётку (а. с. № SU895487A1).

Круглая решётка с кольцевыми волнами — радиальными гофрами (заявка № WO01/72409A1).

Для вращения сыпучего материала отверстия расположены на одной из боковых поверхностей волн.

Применением круглой решётки с (расположенными двойным каскадом) кольцевыми пластинами, образующими выпукло-вогнутое полотно (заявка № WO02/100527A1), обеспечивается формирование двух циркуляционных зон сыпучего материала: центральной и кольцевой периферийной.

Прямоугольная перфорированная решётка с поперечными либо косыми, либо шевронными гофрами (пат. № GB1567706A, № US4305210A, № JPS5369973A).

Конструкция прямоугольной решётки с поперечными угловыми выступами и перфорированными горизонтальными участками между ними (заявка № DE2245495A1) исключает образование застойных зон.

Прямоугольная перфорированная решётка с поперечными зубчатыми гофрами и горизонтально ориентированными отверстиями для исключения попадания в них сыпучего материала (пат. № JPS5580032U).

В пат. № JPS6111536U — конструкция прямоугольной решётки с поперечными гофрами треугольного поперечного сечения.

Отверстия в полотне направлены как вертикально, так и горизонтально, поэтому обеспечиваются и восходящий поток оживающего агента, и поток, направленный в плоскости решётки.

В перфорированном полотне рельефной решётки выполнены сплошные (без перфораций) высту-

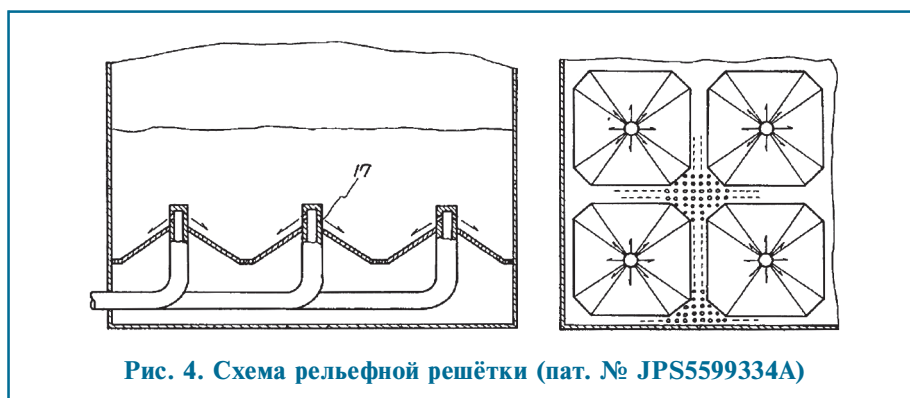


Рис. 4. Схема рельефной решётки (пат. № JPS5599334A)

пы с расположенными в их вершинах газоподводящими колпачками, выпускные отверстия которых направлены под углом к основаниям выступов (пат. № JPS5599334A; рис. 4). Обеспечиваются интенсивное перемешивание сыпучего материала и его эффективная обработка.

По степени жёсткости различают жёсткие и гибкие решётки.

Большинство решёток выполняются жёсткими. Реже применяются гибкие решётки — в виде металлических сеток (пат. № FR1103538A), бесконечной гибкой перфорированной металлической ленты (набора шарнирно соединённых секций, пат. № СН318396А, № DE945503С) либо резинового листа с проколами для прохода оживающего агента (а. с. № SU85035A1). Достоинство гибких решёток — удобство очистки, недостаток — невысокие прочность и стойкость к действию агрессивных сред.

По степени сборки различают решётки, выполненные в виде детали (обычно это перфорированные либо щелевые решётки) и в виде сборочной единицы.

Оригинальная прямоугольная решётка, выполненная в виде сборочной единицы и состоящая из последовательно расположенных однотипных элементов (аналогично тротуарной плитке) (пат. № GB2022442A, № US4402143A). Достоинство решётки — простота изменения размеров решётки в плане.

По степени подвижности решётки (либо её элементов) различают неподвижные и подвижные решётки (либо их элементы).

Решётка, выполненная в виде перфорированного вращающегося

диска, позволяет обеспечить более равномерное распределение оживающего агента и снижение вероятности образования отложений (пат. № US5296265A).

Решётка с расположенным над её полотном вращающимся газораспределительным элементом (в виде набора горизонтальных перфорированных труб или лопаток, пат. № KR20150103883A).

Подвижные решётки применяются при обработке материалов с высокой адгезией к решётке, забивающих отверстия решётки с нарушением гидродинамики в аппарате. Варианты движения решёток: круговые или возвратно-поступательные колебания в горизонтальной (а. с. № SU566620A1, патент № GB1418334A, заявка № DE2321418A1) или в вертикальной плоскости (а. с. № SU926471A1), а также движение — вибрация (пат. № СН291799А, № GB702529А, а. с. № SU504915A1, № SU895487A1). Основные недостатки подвижных решёток — сложность конструкции и обслуживания, а также повышенный уровень шума.

Решётка выполнена из прилегающих друг к другу вращающихся цилиндрических роликов со спиральными канавками (а. с. № SU683800A1). Каналы для ввода газа формируются канавками ролика и цилиндрической поверхностью соседнего ролика. В канавках аналогичных роликов установлены штифты для обеспечения режима пульсирующего псевдооживления (а. с. № SU973147A1).

Колосниковая решётка, образованная параллельными газоподводящими вращающимися

перфорированными трубами (а. с. № SU1039547A2). Трубы (с перфорацией неравномерных размеров) установлены с возможностью реверсивного вращения, при этом обеспечивается пульсирующий режим псевдооживления.

Колосниковая решётка с приводом вращения колосников квадратного поперечного сечения (а. с. № SU1118404A1). Соседние колосники повёрнуты относительно друг друга на 90° для исключения образования застойных зон в пульсирующем псевдооживленном слое.

По возможности регулирования живого сечения различают решётки с постоянным живым сечением и с регулируемым живым сечением.

Решётка в виде двух расположенных друг на друге прямоугольных пластин с отверстиями или щелями одинаковых размеров и формы, при этом шаги отверстий или щелей в пластинах выполнены различными (№ UA1656U). При сдвиге пластин регулируется живое сечение решётки на её различных участках, что позволяет изменять интенсивность псевдооживления по поверхности решётки и управлять движением сыпучего материала в горизонтальном направлении.

Представлена аналогичная решётка, но с одинаковым шагом отверстий в пластинах в направлении их относительного сдвига (пат. № JPS57140836U).

При сдвиге пластин живое сечение решётки регулируется равномерно по всей площади решетки.

Решётка в виде двух горизонтальных перфорированных тарелок, расположенных с зазором относительно друг друга (пат. № UA62466U). На нижней тарелке выполнены выступы в виде конусов, пирамид или клиньев, отверстия в нижней тарелке выполнены между выступами, а отверстия верхней тарелки расположены напротив выступов нижней тарелки. Изменением расстояния между тарелками регулируется живое сечение верхней тарелки и решётки в целом.

Аналогичное решение предложено в пат. № KR20150085921A. Расположенными под перфорированной решёткой иглами обеспе-

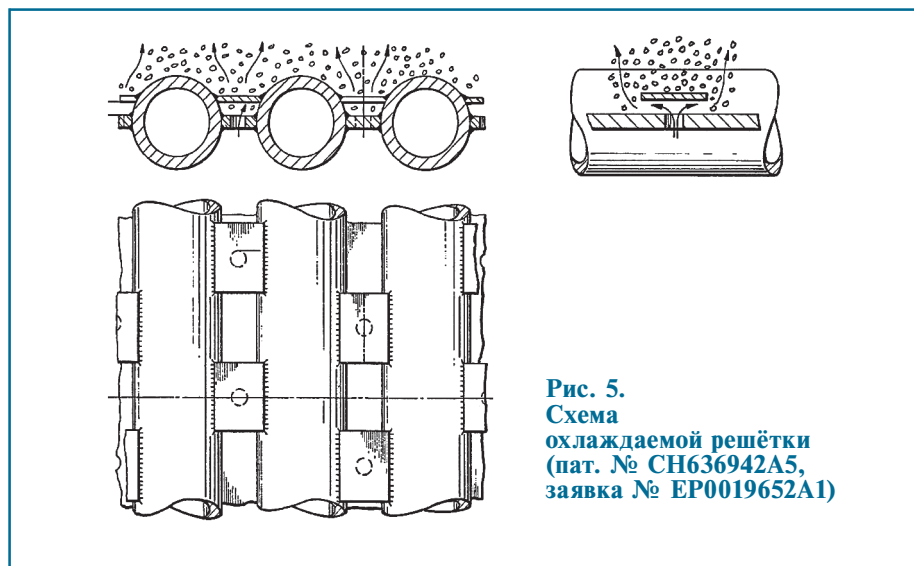


Рис. 5.
Схема
охлаждаемой решётки
(пат. № CH636942A5,
заявка № EP0019652A1)

чивается не только регулирование живого сечения решётки, но и очистка отверстий от частиц сыпучего материала.

Решётка — в виде двух ярусов круглых горизонтальных стержней (или труб), установленных с зазором относительно друг друга (пат. № RU2091153C1).

Стержни верхнего яруса расположены над щелями, образованными стержнями нижнего яруса. Относительным перемещением стержней разных ярусов по высоте регулируется живое сечение решётки.

По возможности термостабилизации различают решётки с термостабилизацией (нагревом, охлаждением) и без термостабилизации.

Охлаждаемая решётка в виде горизонтальных труб, установленных с зазором и соединённых перфорированными пластинами (пат. № CH636942A5, заявка № EP0019652A1). Над перфорацией пластин для обеспечения беспровальности решётки установлены защитные козырьки (**рис. 5**).

В решётке (а. с. № SU1101292A1) охлаждается проточным воздухом не только коробчатое полотно, но и расположенные над ним газораспределительные колпачки, что повышает надёжность работы решётки в целом.

Решётка в виде совокупности изогнутых (в виде усечённого конуса) охлаждаемых змеевиков, расширяющихся вверх

(пат. № US5009852A; **рис. 6**). Ожижающий агент, проходя вдоль продольных осей змеевиков, перед поступлением в рабочую камеру аппарата интенсивно охлаждается.

Обогреваемая решётка в виде пакета из двух пластин, соединённых множеством втулок для прохода ожижающего агента, при этом между пластинами подаётся греющий пар (заявка № EP0077436A2).

Пористая решётка с вмонтированным в неё электронагревателем, обеспечивающим подогрев ожижающего агента, проходящего через сквозные поры решётки (пат. № GB1438495A).

В пат. № GB2182578A решётка в виде горизонтального перфорированного полотна с параллельными теплообменными трубками, примыкающими к полотну сверху или снизу. Трубки могут быть интегрированы в полотно решётки.

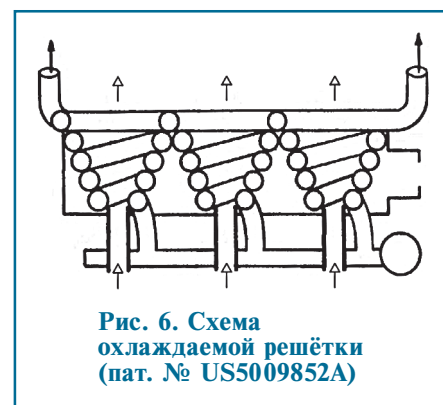


Рис. 6. Схема
охлаждаемой решётки
(пат. № US5009852A)

По числу ожигающих агентов различают решётки с подачей одного или более ожигающих агентов.

По периферии круглой решётки подаётся поток охлаждающего ожигающего агента (для предотвращения перегрева стенок аппарата), а по центру решётки — ожигающий агент с рабочей температурой (пат. № GB2011271A).

В пат. № FR2222609A1, а также в заявках № DE1667049A1, № DE3712166A1 в решётках предусмотрена подача двух ожигающих агентов с использованием расположенных над полотном решётки патрубков с колпачками.

По материалу различают решётки, изготовленные (полностью или частично) из металлов и их сплавов, керамики, а также полимерных материалов и резины.

Решётки с высокой химической стойкостью, обеспечивающие высокую степень однородности псевдоожиганного слоя, часто изготавливают из керамики либо металлокерамики в виде сплошного высокопористого полотна (пат. № CN101723702A, а. с. № SU623078A1).

Поскольку пористые решётки характеризуются высоким гидрав-

лическим сопротивлением, из керамики изготавливают не решётку в целом, а её отдельные элементы, в частности газораспределительные клапаны либо колпачки (пат. № FR2722796A1, заявки № WO89/11333A1, № WO96/03478A1, № WO2016/016088A1).

Решётка с установленными в её отверстиях вставками — из пористого огнеупорного материала для прохода ожигающего агента (заявка № DE3407441A1).

Решётка в виде резинового листа с проколами (а. с. № SU85035A1). В процессе работы резиновый лист выгибается, а места проколов расходятся, пропуская газ. Достоинство решётки — возврат резинового листа в исходное положение после прекращения подачи газа с одновременным смыканием мест проколов, в результате — предотвращаются потери сыпучего материала.

Комбинированная пористая решётка, первый слой которой выполнен из спеченных стеклянных шариков, а второй — из мелкопористого полипропиленового нетканого материала — для обеспечения высокой равномерности распределения ожигающего агента (пат. № US4887363A).

Высокие технологические и эксплуатационные свойства полимерных материалов [3] позволяют применять их для изготовления решёток разнообразных типоразмеров, например литьём под давлением или экструзией [4].

Выбор конструкции газораспределительной решётки для эффективной обработки определённого материала в псевдоожиганном слое во многих случаях может быть обоснован лишь экспериментально либо численным моделированием.

Список литературы

1. **Тодес О.М., Цитович О.Б.** Аппараты с кипящим зернистым слоем: Гидравлические и тепловые основы работы. Л.: Химия. 1981. 296 с.
2. **Процессы** и аппараты химической технологии. В 5 т. Т. 2. Механические и гидромеханические процессы / Д.А. Баранов, В.Н. Блиничев, А.В. Вязьмин и др.; под ред. А.М. Кутепова. М.: Логос. 2002. 600 с.
3. **Микулёнок И.О.** Классификация термопластических композиционных материалов и их наполнителей // Пластические массы. 2012. № 9. С. 29—38.
4. **Mikulyonok I.O.** Equipment for preparing and continuous molding of thermoplastic composites // Chemical and Petroleum Engineering. 2013. V. 48. N. 11—12. P. 658—661.

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

Выписывайте и читайте ежемесячный журнал
ХИМИЧЕСКОЕ И НЕФТЕГАЗОВОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ
Подписку можно оформить в любом почтовом отделении
или через редакцию с любого месяца и на любой срок

Индекс журнала:

71042 — по каталогу Агентства «Роспечать»

38589 — по объединённому каталогу «Пресса России»

Стоимость подписки:

На 1 месяц.....1300 руб.

На 6 месяцев7800 руб.

На 12 месяцев.....15600 руб.

Стоимость электронной версии:

1 страница..... 50 руб.

1 номер.....500 руб.

12 номеров.....5000 руб.

Журнал переводится на английский язык и переиздается под названием **Chemical and Petroleum Engineering**

Телефон редакции: 8 (915) 339-37-61

E-mail: himnef@mospolytech.ru

Сайт: <http://himnef.ru>

