



6. Kuz'min O.V., Mel'nikova V.A. Vychislenie parametrov protsessa planirovaniya zapasov topliva TETs na osnove matrits iz odnorodnykh polinomov Bella [Calculation of the parameters of the process of planning fuel reserves of CHP based on matrices from homogeneous Bell polynomials]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovanie* [Modern technologies. System analysis. Modeling], 2013, No. 4 (40), pp. 8–14.
7. Dokin V.N. et al. Kombinatornye chisla i polinomy v modelyakh diskretnykh raspredelenii [Combinatorial numbers and polynomials in models of discrete distributions]. Irkutsk: Irkut. state. un-ty Publ., 1990, 208 p.
8. Kuz'min O.V. Kombinatornye metody modelirovaniya diskretnykh raspredelenii [Combinatorial methods for modeling discrete distributions]. Irkutsk: Irkut. gos. un -ta, 2006, 138 p.
9. Kuz'min O.V., Platonov M.L. Raschet monotonno neubyvayushchikh potokov chastits, odnorodnykh v kazhdom pokolenii [Calculation of monotonically nondecreasing streams of particles that are homogeneous in each generation]. *Issledovaniya po geomagnetizmu, aeronomii i fizike Solntsa* [Studies in geomagnetism, aeronomy and solar physics], 1986, No. 75, pp. 215–220.
10. Platonov M.L. Obrashcheniya formuly Bruno [Conversions of Bruno formula]. *Issledovaniya po geomagnetizmu, aeronomii i fizike Solntsa* [Studies in geomagnetism, aeronomy and solar physics], 1975, No. 35, pp. 32–38
11. Kuz'mina V.V. Kombinatornye polinomy razbieni i razreshenie obobshchennoi formuly Bruno [Combinatorial partition polynomials and the solution of the generalized Bruno formula]. *Sbornik nauchnykh trudov SWorld* [Proceedings of SWorld], 2014, Vol. 29. No. 1, pp. 86–89.
12. Kuz'min O.V., Leonova O.V. O polinomakh razbieni [On polynomials of partitions]. *Diskretnaya matematika* [Discrete mathematics], 2001, Vol. 13, No. 2, pp. 144–158.
13. Platonov M.L. Kombinatornye chisla klassa otobrazhenii i ikh prilozheniya [Combinatorial numbers of the mapping class and their applications]. Moscow: Nauka Publ., 1979, 153 p.
14. Kuz'min O.V., Kuz'mina V.V. Kombinatornye polinomy razbieni v mnogoetapnykh modelyakh obogashcheniya poleznykh iskopaemykh [Combinatorial polynomials of partitions in multi-stage models of mineral processing]. *Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona : materialy Sed'moi mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Transport infrastructure of the Siberian region: materials of the Seventh international scientific practical. conf.], Irkutsk, 2016, Vol. 1, pp. 286–289.
15. Riordan, J. An introduction to combinatorial analysis. John Wiley & Sons, 1958, 256 p. (Russ. ed.: Riordan Dzh. Vvedenie v kombinatornyi analiz. Moscow: Izd-vo inostr. lit., 1963, 288 p.).

УДК 669.213.3

DOI: 10.26731/1813-9108.2017.3(55).53-59

Ёлиин Виктор Владимирович,

д. т. н., профессор, заведующий кафедрой «Автоматизация
производственных процессов»,
Иркутский национальный исследовательский технический
университет,
e-mail: dean_zvf@istu.edu

Мельник Сергей Александрович,

программист кафедры «Автоматизация производственных
процессов»,
Иркутский национальный исследовательский технический
университет,
e-mail: MelnikSergey@istu.edu

V. V. Yolshin,

Doctor of Engineering Science, Prof., Head of the
Subdepartment of Industrial Process Automation,
Irkutsk National Research Technical University,
e-mail: dean_zvf@istu.edu

S. A. Melnik,

software programmer, the Subdepartment of Industrial
Process Automation,
Irkutsk National Research Technical University,
e-mail: MelnikSergey@istu.edu

Информация о статье

Дата поступления: 30 мая 2017 г.

Article info

Received: May 30, 2017

АНАЛИЗ УСТРОЙСТВ ДОЗИРОВАНИЯ ЗЕРНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ В ЗОНУ ПОВЫШЕННОГО ДАВЛЕНИЯ

ANALYSIS OF DEVICES FOR DOSING GRA IN MATERIALS IN THE ZONE OF INCREASED PRESSURE

Аннотация. Высокотемпературная десорбция золота из активных углей протекает в аппаратах периодического принципа действия, в щелочной среде при повышенном давлении. Для обеспечения непрерывности процесса автоклавной десорбции золота из активного угля необходимо разработать технологию дозирования и дозирующее устройство, обеспечивающие загрузку и выгрузку активного угля без нарушения целостности сорбента с сохранением герметичности и температурного режима в десорбере. Целью исследования является поиск эффективной схемы дозирующего устройства, обеспечивающего непрерывность ведения процесса десорбции благородных металлов в условиях повышенного давления. Обзор технической и патентной документации показал наличие большого количества принципиальных схем дозирующих устройств на базе питателей непрерывного и дискретного принципа действия. Показаны недостатки представленных питателей. Предложена схема шлюзового дозирующего устройства. Из всех представленных схем питателей только клапанные, шибберные и торовые могут обеспечить необходимую герметичность в условиях повышенного давления.

Ключевые слова: дозатор, автоклав, золото, активные угли, аппарат, шлюз, зернистый материал.

Abstract. High-temperature desorption of gold from activated carbons proceeds in the apparatus of the periodic operation principle in the alkaline medium, at the elevated pressure. To ensure continuity of the autoclave desorption of gold from activated carbon it is necessary to develop a dosage technology and a metering device that could ensure the loading and discharge of the activated carbon without disturbing the integrity of sorbent and maintaining temperature in the stripper. The aim of the study is to find an effective dia-



gram of the metering device ensuring the continuity of the noble metals desorption process under elevated pressure. Overview of technical and patent documentation showed that there are a large number of concepts of metering devices on the basis of continuous and discrete feeders operating principle. The article identifies the deficiencies in the presented feeders and proposes a diagram of the gateway metering device. Of all the feeder diagrams presented, only valve, vane and toral ones are able to provide the necessary tightness in the elevated pressure conditions.

Keywords: metering device, autoclave desorption, gold, activated carbons, apparatus, gateway, granular material.

Введение

В настоящее время в золотоизвлекательной промышленности широко применяется технология автоклавной десорбции золота из активных углей [1, 2]. Процесс ведется в условиях повышенного давления и температуры. Суть процесса заключается в следующем: золотосодержащий активный уголь загружается в десорбер, далее, после герметизации рабочей камеры аппарата, через зажатый слой сорбента пропускается щелочной раствор. Процесс десорбции осуществляется при давлении 1 МПа и температуре 170-175⁰ С, за счет чего достигается высокое извлечение благородных металлов в элюат. После проведения десорбции давление и температура в аппарате сбрасываются, а отработанный уголь выгружается. Необходимость выполнения загрузочных/разгрузочных операций, поднятие/сброс температуры и давления в рабочей зоне при такой технологии в значительной степени снижает общую производительность процесса и требует больших площадей для размещения необходимого количества оборудования. Проблема сокращения продолжительности технологического процесса в производственных условиях за счёт автоматизации и организации непрерывности процесса десорбции до настоящего времени не была решена.

Для обеспечения непрерывности процесса автоклавной десорбции золота из активного угля необходимо разработать технологию дозирования и дозирующее устройство, обеспечивающие загрузку и выгрузку активного угля без нарушения целостности сорбента с сохранением герметичности и температурного режима в десорбере.

Анализ схем дозаторов сыпучих материалов

В патентной и технической литературе накоплен значительный банк вариантов конструкций устройств загрузки и выгрузки аппаратов [3-17]. Анализ конструкций дозирующих устройств показал, что по функциональному назначению устройство дозатора можно разделить на следующие основные элементы:

- бункер - обеспечивает хранение и выдачу сыпучего материала, необходимого для работы дозирующего устройства на определенный период времени;

- питатель – устройство, выполняющее подачу сыпучего материала;

- измерительное устройство - отвечает за формирование порции сыпучего материала определенной массы или объема с заданной точностью;

- система управления - обеспечивает требуемую производительность дозирующего устройства.

Дозирование материала может производиться как дискретно (отдельными порциями), так и непрерывно. Производительность дозаторов регулируется изменением объема дозатора, изменением скорости или сечения потока. Для контроля количества подаваемого материала используют весовой или объемный способ дозирования. Объемные дозаторы, как правило, имеют простую конструкцию, что повышает их надежность и сокращает эксплуатационные издержки, но уступают в точности весовым. Это связано с неравномерной степенью самоуплотнения материала и способов загрузки в объеме дозатора, а так же различным гранулометрическим составом сыпучего материала [3]. Сыпучие материалы, в зависимости от размера частиц d , подразделяют на кусковые ($d > 10$ мм), крупнозернистые ($10 < d < 2$ мм), мелкозернистые ($2 < d < 0,5$ мм), порошкообразные ($0,5 < d < 0,05$ мм), а так же пылевидные ($d < 0,05$) материалы [4]. Применяемый в угольно сорбционной технологии извлечения золота активный уголь имеет размер частиц от 0,5 до 5 мм, что позволяет классифицировать материал как зернистый.

При дозировании активного угля поверхность зерна подвержена истиранию, что приводит к повышенному расходу сорбента и потере ценного компонента с мелкими частичками угля. Кроме того, процесс дозирования активного угля ведется в условиях повышенного давления и температуры, что дополнительно ужесточает требования к подбору дозирующего устройства. Для обеспечения герметичности дозирующего устройства необходимо подобрать питатель, соответствующий требованиям условий ведения процесса автоклавной десорбции.

На рис. 1 приведены типовые схемы питателей сыпучих материалов, работающих в устройствах как объемного, так и весового способа дозирования.

Клапанный питатель (рис. 1, а) работает следующим образом материал из бункера 1 при открытии клапана 2 высыпается из выгрузочного отверстия 3 под давлением столба материала и под



действием собственного веса [3, 4]. Для обеспечения герметизации рабочей зоны в конструкции питателя может быть использован как эластичный уплотнитель, так и металл по металлу. Применяются клапанные питатели преимущественно в дозаторах с последовательно соединенными дозирующими механизмами, которые могут работать как по весовому, так и по объемному способу.

Шиберный питатель (рис. 1, *b*) представляет разновидность питателя со свободным падением материала [3, 4]. Материал из бункера 1 при выдвигании шиберов 2 приводом 3 высыпается из открытого отверстия. Главное отличие от клапанных питателей - возможность регулирования производительности за счет механизации и автоматизации привода.

Торовый питатель (рис. 1, *c*) состоит из бункера 1, контейнера 2, эластичной оболочки 3 [11, 18]. Материал из бункера 1 загружается контейнером 2 и при поступательном движении вниз выгружается. В качестве уплотнителя и привода выступает эластичная оболочка 3, имеющая по-

верхность тора. Питатель имеет простую конструкцию, позволяет герметизировать зону загрузки и выгрузки материала за счет самоуплотняющейся эластичной оболочки.

Ячейковый, или секторный, питатель (рис. 1, *d*) состоит из вращающегося вала 2 с выемками-секторами и бункера 1 [13, 15]. Материал из бункера 1 попадает в выемки барабана 2 и при вращении барабана высыпается. Производительность дозатора регулируется скоростью вращения барабана. Для обеспечения герметизации рабочей зоны используется сложная система уплотнений, а транспортируемый сыпучий материал подвержен истиранию в узлах трения элементов питателя.

Шнековый питатель (рис. 1, *e*) представляет собой винт 2, закрепленный на бункере 1 и вращаемый приводом 3 [6, 12]. Материал высыпается из бункера 1 и по винтовой линии шнека перемещается на выгрузку. Производительность регулируется диаметром и числом оборотов шнека. Главный недостаток шнековых питателей - истирание зернистого материала в процессе транспортировки.

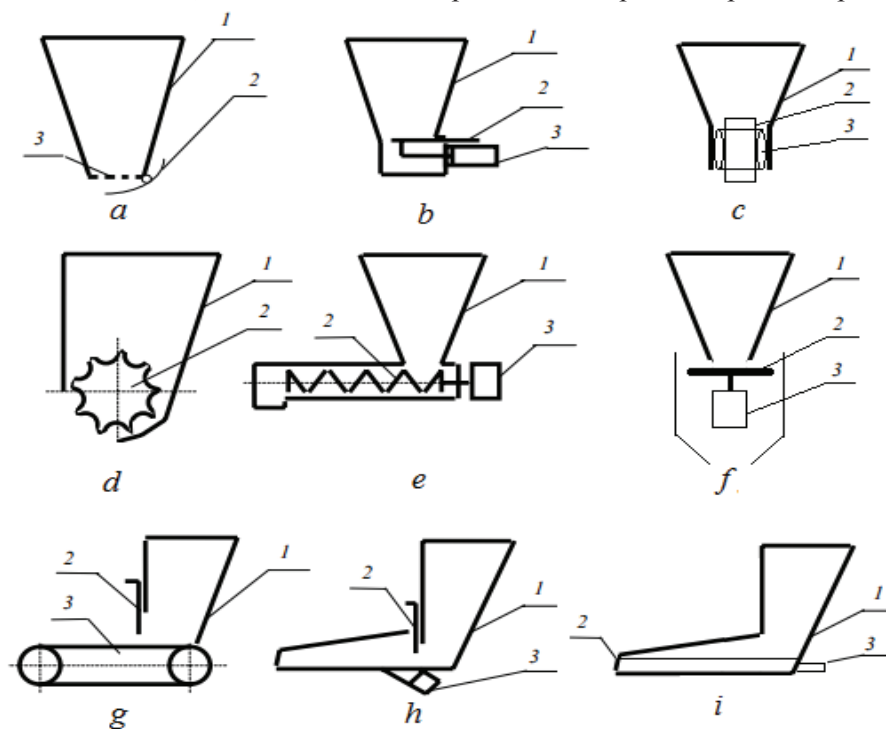


Рис. 1. Типовые схемы питателей сыпучих материалов

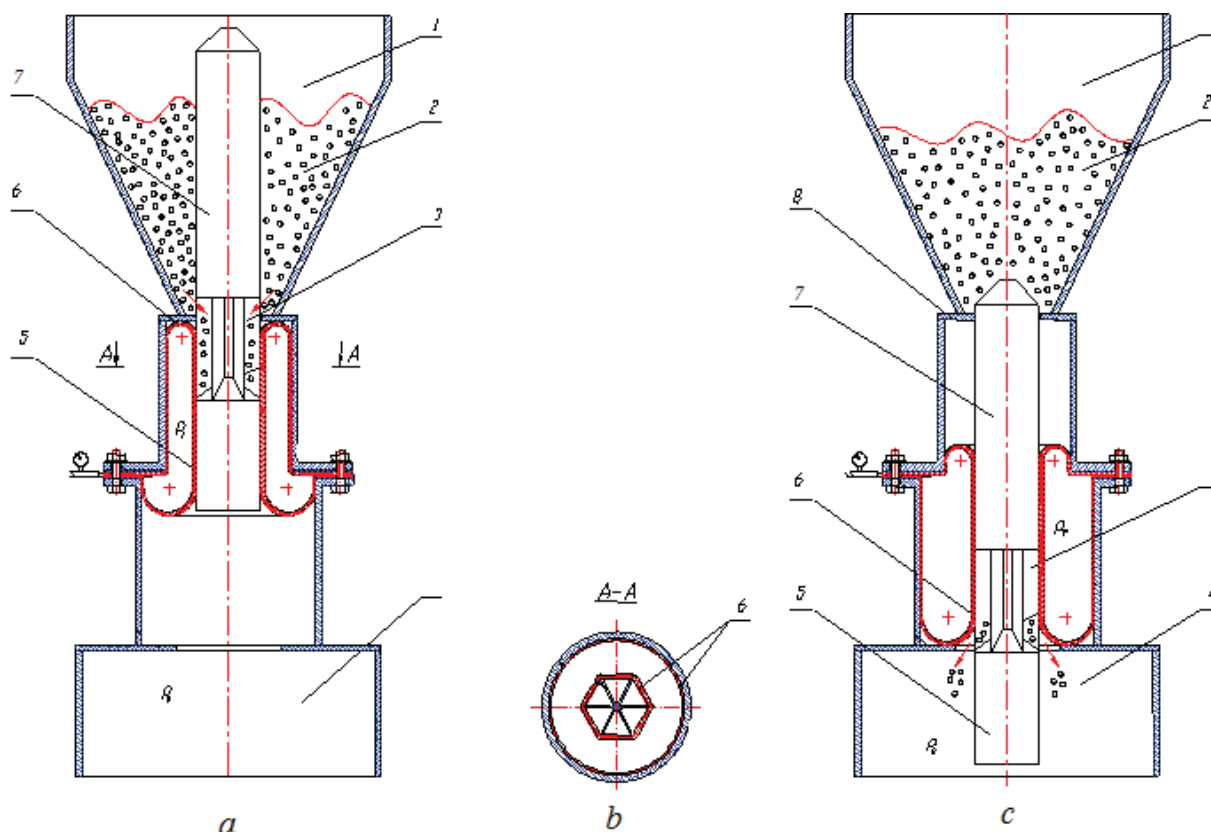


Рис. 2. Схема дозатора на базе ступенчатого ломаного тора: *a* – положение загрузки; *b* – сечение контейнера; *c* – положение выгрузки

Дисковый питатель (рис. 1, *f*) состоит из диска 2, расположенного под выгрузочным отверстием бункера 1 на расстоянии, не позволяющем материалу высыпаться при отсутствии вращения диска [16]. При вращении диска 2 приводом 3 материал под действием центробежной силы выбрасывается наружу, освобождая место для новой порции материала. Дисковый питатель не обеспечивает герметичность рабочей зоны.

В ленточных питателях (рис. 1, *g*) материал выгружается из бункера 1 на ленту 3, у которой на выгрузке установлена заслонка 2, регулирующая высоту потока материала [3, 7]. Кроме этого, производительность можно изменять скоростью вращения ленты. Ленточный питатель не обеспечивает герметичность рабочей зоны.

В вибрационных питателях (рис. 1, *h*) на материал дополнительно воздействуют вибрацией для снижения коэффициента внутреннего трения и улучшения истечения материала [14]. Производительность регулируется частотой и амплитудой вибрации, а также размерами вибрирующего элемента 3. Невысокая механическая нагрузка на дозируемый материал позволяет применять их практически для любых сыпучих материалов. Вибрационный питатель не обеспечивает герметичность рабочей зоны.

Аэропитатель (рис. 1, *i*) состоит из бункера 1, перфорированной пластины 2 и патрубка подачи воздуха 3 [17]. При подаче воздуха в патрубок 3 под перфорированную пластину материал, находящийся на пластине 2, приобретает подвижные свойства (псевдооживленный слой). За счет уменьшения силы трения в слое материала он начинает выгружаться под действием собственного веса и столба верхнего материала. Питатель имеет простую конструкцию и может применяться в условиях высоких температур и агрессивных сред, но не обеспечивает герметичность рабочей зоны.

Варианты схем дозаторов сыпучих материалов

Питатели непрерывного принципа действия, рассмотренные на рис. 1 (*d* - *i*), позволяют обеспечить непрерывную подачу сыпучего материала в зону реакции, но не обеспечивают герметизацию в условиях повышенного давления. Поэтому для разработки схем дозирования авторами были использованы питатели дискретного принципа действия (рис. 1, *a* - *c*), они обеспечивают подачу зернистого материала в периодическом режиме с разделением потока материала на отдельные порции.

На рис. 2 представлен вариант схемы дозирующего устройства на базе ступенчатого (ломаного) эластичного тора [11], наполненного жидко-



стью или газом под давлением, установленного в жестком ступенчатом корпусе. Устройство работает следующим образом. В верхнее положение направляющая 7 поднимается выше ограничителя 8, открывая полость контейнера 3 для заполнения её зёрнами рабочей среды 2 из бункера 1, давление в полости тора установлено начальным необходимым значением, удовлетворяющим условиям для обеспечения герметизации зоны высокого давления. После наполнения контейнера 3 давление в торе 6 увеличивают, и ломаный эластичный тор 6 начинает выворачиваться (наволакивать) в осевом направлении и перемещается в нижнее положение, опуская контейнер. В нижнем положении контейнера направляющая 5 выходит за пределы тора 6, соединяя пространство рабочей камеры 4 и контейнера. Зернистая среда 2 под действием своего веса высыпается в рабочую зону камеры 4. При уменьшении давления в полости тора он перемещается в обратном направлении, поднимая контейнер 3, и цикл загрузки рабочей камеры повторяется.

Главным недостатком конструкции является отсутствие материала для изготовления эластичной оболочки тора с требуемыми прочностными характеристиками в условиях высоких температур и давления. Тем не менее, конструкция дозирующего устройства на базе эластичного тора является перспективной и нуждается в проведении дополнительных исследований.

Вариант схемы дозирующего устройства зернистого материала на базе шиберного питателя представлен на рис. 3. Устройство состоит из бункера 1, шлюза 3, питателей 2 и 4, приводов 5 и 7, системы управления 6. Принцип работы дозирующего устройства следующий: при открытии питателя 2 приводом 7 зернистый материал 8 из бункера 1 засыпается в шлюз 3. После загрузки шлюза 3 питатель 2 закрывается и открывается питатель 4 для осуществления выгрузки материала. Производительность дозирующего устройства регулируется путем изменения объема шлюза и количеством дозировок. В качестве питателей дозирующего устройства может быть использована серийно выпускаемая запорная арматура: клапана, затворы и шиберы. Эти устройства содержат узлы уплотнения, которые позволяют обеспечить герметизацию

зоны проведения реакции с соблюдением температурного режима.

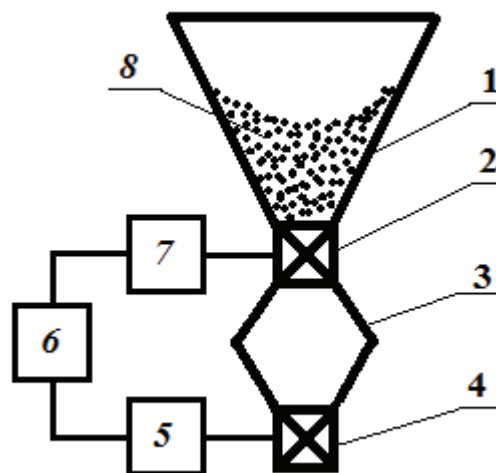


Рис. 3. Схема шлюзового дозирующего устройства
Заключение

Из всех представленных схем питателей только клапанные и шиберные на данное время позволяют обеспечить загрузку и выгрузку активного угля без нарушения целостности сорбента с сохранением герметичности и температурного режима в десорбере.

Для обеспечения непрерывности процесса автоклавной десорбции золота из активного угля авторами предложена схема дозирующего устройства на базе клапанных питателей, разделяющих поток зернистого материала на отдельные порции, равные объему шлюза. Такая схема дозирования позволяет обеспечить необходимую герметичность при загрузке и выгрузке сыпучего материала в условиях повышенного давления.

Питатели непрерывного принципа действия ввиду сложности конструкций, а в некоторых случаях невозможности обеспечения герметичности могут быть использованы только в составе многокомпонентных дозирующих устройств с отдельными узлами герметизации.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта № 02.G25.31.0075 в рамках постановления Правительства Российской Федерации № 218 от 09.04.2010 г.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ёлшин В.В., Мельник С.А. Современное состояние и перспективы развития технологии десорбции золота из насыщенных активированных углей // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. 2014. № 9-10. С. 114–118.
2. Ёлшин В.В., Колодин А.А., Овсяков А.Е. Внедрение автоматизированной системы управления циклом десорбции золота из активных углей на кочкарской ЗИФ // Вестник ИрГТУ. 2011. № 5 (52). С. 115–120.
3. Рогинский Г.А. Дозирование сыпучих материалов. М. : Химия, 2008. 176 с.
4. С.В. Першина, А.В. Каталымов, В.Г. Однолько. Весовое дозирование зернистых материалов. М. : Машиностроение, 2009. 324 с.



5. Авдохин В.М. Технология обогащения полезных ископаемых. М. : МГГУ, 2008. 320 с.
6. Григорьев А.М. Винтовые конвейеры. М. : Машиностроение, 1972. 184 с.
7. Спиваковский А.О., Дьячков В.К. Транспортирующие машины. М. : Машиностроение, 1983. 487 с.
8. Лукьянов П.И. Аппараты с движущимся зернистым слоем. М. : Машиностроение. 1974. 179 с.
9. Карпин Е.Б. Средства автоматизации для измерения и дозирования массы. Расчет и конструирование. М. : Машиностроение. 1971. 467 с.
10. Проблемы автоматической подачи глинозема и методы их решения / С.Г. Шахрай и др. // Системы. Методы. Технологии. 2015. № 2 (26). С. 123–127.
11. Пат. №148734, Рос. Федерация. Устройство загрузки и выгрузки камер высокого давления зернистыми материалами / Кольцов В.П., Ёлшин В.В., Мельник С.А. Опубл. 15.04.2014. Бюл. №34.
12. Пат. № 2483999, Рос. Федерация, МКП В65G 65/34, В65D 88/64. Бункер-питатель со шнековой выгрузкой для порошков, склонных к сводообразованию / Демиденко А.А., Ромадин В.И., Зятиков П.Н. ; заявитель и патентообладатель ОАО "Сибирский химический комбинат", ГОУ ВПО Томский государственный университет. № 2011132148/11 ; заявл. 29.07.2011 ; опубл. 10.06.2013, Бюл. № 16.
13. Пат. № 2518761, Рос. Федерация, МКП В65G 27/04, В65G 27/08. Лотковый питатель / Ю.Д. Тарасов ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». № 2013113096/11 ; заявл. 22.03.2013 ; опубл. 10.06.2014, Бюл. №16.
14. Пат. № 137174, Рос. Федерация, МКП H05K 13/02. Вибрационный питатель / С.А. Шаров, О.В. Бреусенко, Ю.А. Плешаков ; заявитель и патентообладатель ОАО "Государственный Рязанский приборный завод". № 2013144533/07 ; заявл. 03.10.2013 ; опубл. 27.01.2014, Бюл. № 3.
15. Пат. № 2248703, Рос. Федерация, МКП A21D 6/00, A21B 5/00. Лопастной пневматический питатель / В.Г. Шинаков, А.В. Лялин, Е.П.Травников, В.Н. Виноградов ; заявитель и патентообладатель ЗАО «Владимирский хлебозавод №2». 2003122996/13 ; заявл. 21.07.2003 ; опубл. 27.03.2005. Бюл. № 9.
16. Пат. № 2133944, Рос. Федерация, МКП G01F11/00, C06B21/00. Объемный дозатор / В.Ю.Архангельский, В.Г. Джангирян, Н.М. Вареных ; заявитель и патентообладатель НИИ Прикладной химии. № 97121079/02 ; заявл. 02.12.1997 ; опубл. 27.07.1999.
17. Автономная пневмомеханическая система дозированной подачи шлакообразующей смеси в кристаллизатор МНЛЗ / С.П. Еронько и др. // Металлургические процессы и оборудование. 2011. № 2. С. 10–18.
18. Кольцов В.П., Ёлшин В.В., Нгуен В.Х. Дозаторы для подачи зернистых материалов в зону высокого давления // Вестник ИрГТУ. 2013. №5 (76). С. 38–42.

REFERENCES

1. Elshin V.V., Mel'nik S.A. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya tekhnologii desorbtsii zolota iz насыщенных активированных углей [Current state and perspectives of the development of technology of desorption of gold from saturated activated coals]. *Austrian Journal of Technical and Natural Sciences*, 2014, No. 9-10, pp. 114–118.
2. Elshin V.V., Kolodin A.A., Ovsyukov A.E. Vnedrenie avtomatizirovannoi sistemy upravleniya tsiklom desorbtsii zolota iz aktivnykh uglei na kochkarskoi ZIF [Introduction of an automated control system for the cycle of desorption of gold from active coals at the Kochkar gold concentration plant]. *Vestnik IrGTU [Proceedings of Irkutsk State Technical University]*, 2011, No. 5 (52), pp. 115–120.
3. Roginskii G.A. Dozirovanie sypuchikh materialov [Dosing of loose materials]. Moscow: Khimiya Publ., 2008, 176 p.
4. Pershina S.V., Katalymov A.V., Odnol'ko V.G. Vesovoe dozirovanie zernistykh materialov [Weight dosing of granular materials]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 2009, 324 p.
5. Avdokhin V.M. Tekhnologiya obogashcheniya poleznykh iskopaemykh [Technology of mineral processing]. Moscow: MGGU Publ., 2008, 320 p.
6. Grigor'ev A.M. Vintovye konveiry [Screw conveyors]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1972, 184 p.
7. Spivakovskii A.O., D'yachkov B.K. Transportiruyushchie mashiny [Transporting machines]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1983, 487 p.
8. Luk'yanov P.I. Apparaty s dvizhushchimsya zernistym sloem [Devices with a moving granular layer]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1974, 179 p.
9. Karpin E.B. Sredstva avtomatizatsii dlya izmereniya i dozirovaniya massy. Raschet i konstruirovaniye [Means of automation for measuring and dosing the mass. Calculation and design]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1971, 467 p.
10. Shakhrai S.G. et al. Problemy avtomaticheskoi podachi glinozema i metody ikh resheniya [Problems of automatic supply of alumina and methods for their solution]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii [Systems. Methods, Technologies]*, 2015, No. 2 (26), pp. 123–127.
11. Kol'tsov V.P., Elshin V.V., Mel'nik S.A. Ustroistvo zagruzki i vygruzki kamer vysokogo davleniya zernistymi materialami [The device for loading and unloading granular materials into the high-pressure chambers]. Patent RF no. 148734. Published Apr. 15, 2014. Bull. No.34.
12. Demidenko A.A., Romadin V.I., Zyatikov P.N. Bunker-pitatel' so shnekovoi vygruzkoi dlya poroshkov, sklonnykh k svodoobrazovaniyu [Bunker feeder with auger discharge for powders prone to arching]. Patent RF no. 2483999, МКП В65G 65/34, В65D 88/64; patent applicant and holder is ОАО "Sibir Chemical Industrial Complex", HVS Tomsk State University. No. 2011132148/11 ; applied Jul. 29, 2011 ; published Jun 10, 2013, Bull. No. 16.
13. Tarasov Yu.D. Lotkovyi pitatel' [Tray feeder]. Patent RF no. 2518761, МКП В65G 27/04, В65G 27/08.; patent applicant and holder is FSBEI HPO "National University of Mineral Resources 'Gorniy'". No. 2013113096/11 ; applied Mar. 22, 2013 ; published Jun10, 2014, Bull. No.16.
14. Sharov S.A., Breusenko O.V., Pleshakov Yu.A. Vibratsionnyi pitatel' [Vibratory feeder]. Patent RF no. 137174, МКП H05K 13/02. ; patent applicant and holder is ОАО "Ryazan State Device Factory". No. 2013144533/07 ; applied Oct. 03, 2013 ; published Jan 27, 2014, Bull. No. 3.



15. Shinakov V.G., Lyalin A.V., Travnikov E.P., Vinogradov V.N. *Lopastnoi pnevmaticheskii pitatel'* [Bladed pneumatic feeder]. Patent RF no. 2248703, MKP A21D 6/00, A21B 5/00. ; patent applicant and holder is ZAO "Vladimir Bread-Baking Plant No.2". 2003122996/13 ; applied Jul 21, 2003 ; published Mar. 27, 2005. Bull. No. 9.

16. Arkhangel'skii V.Yu., Dzhangiryan V.G., Varenikh N.M. *Ob'emnyi dozator* [Volumetric feeder]. Patent RF no. 2133944, MKP G01F11/00, C06B21/00. ; patent applicant and holder is Research and Development Establishment of Applied Chemistry. No. 97121079/02 ; applied Dec. 02, 1997 ; published Jul 27, 1999.

17. Eron'ko S.P. et al. Avtonomnaya pnevmomekhanicheskaya sistema dozirovannoi podachi shlakoobrazuyushchei smesi v kristallizator MNLZ [An autonomous pneumomechanical system for dosed supply of a slag-forming mixture into a CCM crystallizer]. *Metallurgicheskie protsessy i oborudovanie* [Metallurgical processes and equipment], 2011, No. 2, pp. 10–18.

18. Kol'tsov V.P., Elshin V.V., Nguen V.Kh. Dozatory dlya podachi zernistykh materialov v zonu vysokogo davleniya [Dosers for feeding granular materials into the high pressure zone]. *Vestnik IrGTU* [Proceedings of Irkutsk State Technical University], 2013. No.5 (76), pp. 38–42.

УДК 669.71:502.3

DOI: 10.26731/1813-9108.2017.3(55).59-66

Колосов Александр Дмитриевич,
инженер НИЧ, Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
e-mail: akolosov.irk@gmail.com

Немаров Александр Алексеевич,
доцент кафедры информатики института кибернетики,
Иркутский национальный исследовательский технический
университет,
e-mail: nemarov@mail.ru

Небогин Сергей Андреевич,
аспирант физико-технического института,
Иркутский национальный исследовательский технический
университет,
e-mail: s.a.nebo@yandex.ru

A. D. Kolosov,
Research department Engineer, Irkutsk National Re-
search Technical University,
e-mail: akolosov.irk@gmail.com

A. A. Nemarov,
Assoc. Prof., the Informatics Subdepartment, the Institute
of Cybernetics,
Irkutsk National Research Technical University,
e-mail: nemarov@mail.ru

S.A. Nebogin,
Ph.D. student, the Institute of Physics and Engineering,
Irkutsk National Research Technical University,
e-mail: s.a.nebo@yandex.ru

Информация о статье

Дата поступления: 29 мая 2017 г.

Article info

Received: May 29, 2017

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ НАНОКРЕМНЕЗЕМА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

NANOSILICA OBTAINMENT AND APPLICATION TECHNOLOGY IN THE PRODUCTION OF NEW MATERIALS IN MECHANICAL ENGINEERING

Аннотация. В работе приведен краткий обзор существующих разновидностей аморфного кремнезема, технологий его получения и основные направления применения. Основным предметом исследования данной работы являются промышленные разновидности аморфного нанокремнезема, именно эти материалы представляют собой высокомаржинальные продукты, наиболее востребованные в современной промышленности. Наноструктуры на основе аморфного диоксида кремния получают различными способами, начиная от использования необработанной пыли, отводящейся от рудотермических печей по производству кремния, заканчивая дорогостоящими химическими и пиролизическими способами. Одним из перспективных способов получения высококачественного аморфного нанокремнезема является предварительная обработка пыли рудотермических печей по производству кремния с целью избавления от углерода и других примесей. Получаемый данным способом наномодификатор имеет свойства, близкие к осажденному и пирогенному кремнезему, при этом обладает значительно более низкой себестоимостью. Наномодификаторы на основе аморфного диоксида кремния значительно меняют свойства материалов, при производстве которых применяются. Различные разновидности аморфного нанокремнезема находят применение при производстве бетонов, в шинной промышленности, в химической промышленности, имеют перспективы применения в металлургии и других отраслях производства. Производство и использование различных добавок на основе нанокремнезема является одним из перспективных направлений развития современной науки и техники. Анализ применения аморфного нанокремнезема, проведенный в рамках подготовки данной работы, показал, что применение наносилики позволяет заметно улучшить свойства многих известных материалов. Существует опыт успешного применения наномодификаторов на основе аморфного диоксида кремния в строительстве, в резинотехнической и химической промышленности, в металлургии и других отраслях производства. Нанокремнезем является одним из наиболее востребованных наноматериалов в современном производстве и имеет широкие перспективы применения.

Ключевые слова: обогащение полезных ископаемых, флотационное обогащение наноразмерных сред, наномодификатор, новые материалы в машиностроении.

Abstract. The paper presents a brief overview of the existing varieties of amorphous silica, technologies of its production and the main areas of application. The main subject of investigation in this article are industrial varieties of amorphous nanosilica, these materials represent high-margin products, the most popular in modern industry. Nanostructures on the basis of amorphous silicon dioxide are obtained in various ways, ranging from raw dust withdrawn from ore-thermal furnaces for the silicon production, to costly chemical and pyrolytic methods. One of the promising ways to obtain high quality amorphous nanosilica is pre-treatment of dust of ore-thermal furnaces for production of silicon for the purpose of removing the carbon and other impurities. Obtained by this method, the