

## **Підготовчі процеси збагачення**

---

24. Технологические регламенты основных процессов ЦОФ "Моспинская" / Рук. А.Д. Полулях. – Луганск: Укрнииуглеобогащение. – 2000. – Т.1. – 81 с.
25. ТР 10.1-00185755-022:2012 ООО "Моспинское углеперерабатывающее предприятие (УПП)" / Рук. А.Д. Полулях. – Луганск: ГП "Укрнииуглеобогащение". – 2012. – 170 с.
26. ТР 10.1-00185755-011:2009 Технологический регламент групповой обогатительной фабрики (ГОФ) "Ровеньковская" / Рук. А.Д. Полулях. – Луганск: ГП "Укрнииуглеобогащение". – 2009. – 111 с.
27. Технологический регламент ОФ № 105 / Рук. А.Д. Полулях. – Луганск: ГП "Укрнииуглеобогащение". – 2006. – 65 с.
28. Разработать рекомендации и выполнить ТЭО по усовершенствованию технологической схемы ОП ГОФ "Миуссинская": Отчет о НИР / Рук. А.М. Берлин. – Луганск: ГП "Укрнииуглеобогащение", 2009. – 26 с.
29. Исследовать технологические процессы обогащения шихты рядового угля, выполнить расчет действующей качественно-количественной и водно-шламовой схемы при его переработке на ГОФ ОАО "Шахта "Интауголь": отчет о НИР / Рук. Л.А. Антипенко. – Прокопьевск: ООО "Сибнииуглеобогащение", 2015. – 79 с.
30. Выполнить комплексное опробование, осуществить расчет качественно-количественной и водно-шламовой схемы и разработать технологический регламент ЗАО "ЦОФ "Углегорская": Отчет о НИР \ Рук. А.Д. Полулях. – Луганск: ГП "Укрнииуглеобогащение". 2007. – 25 с.
31. Опыт обогащения антрацита на фабриках Донбасса: Обзорная информация. – М.: ЦНИЭИуголь, 1979. – 45 с.

© Полулях А.Д., Берлин А.М., Полулях О.В., 2018

*Надійшла до редколегії 03.03.2018 р.  
Рекомендовано до публікації д.т.н. І.К. Младецьким*

УДК 622.73

**А.М. ШЕВЕЛЁВА**

(Украина, Днепр, Институт технической механики НАНУ и ГКАУ)

### **МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ГОТОВОГО ПРОДУКТА ПРИ СТРУЙНОМ ИЗМЕЛЬЧЕНИИ**

Процесс измельчения является одной из важнейших стадий в современных технологиях различных отраслей промышленности, связанных с получением высокодисперсных материалов, – горнорудной, обогатительной, химической, металлургической, строительной и др.

Главным требованием, предъявляемым к измельчительному оборудованию, является качество готового продукта, которое характеризуется заданным диапазоном дисперсности, формой и чистотой измельченного материала. Наиболее важным свойством получаемого продукта при тонком и сверхтонком измельчении является его "чистота", под которой подразумевается отсутствие посторонних примесей.

Основной причиной снижения чистоты готового продукта является износ элементов конструкции помольного агрегата: разгонных трубок и помольной камеры.

Рост скорости энергоносителя и концентрации твердой фазы в эжектируемом потоке ведет к увеличению трения материала о стенки конструкции помольного агрегата, что приводит к интенсивному износу измельчителя [1]. Кроме того, повышенный износ элементов конструкции аппарата наблюдается при измельчении материалов с высокой твердостью.

Данные причины обуславливают необходимость усовершенствования существующего и создания нового оборудования для тонкого и сверхтонкого измельчения.

Наиболее перспективным помольным агрегатом для получения тонких и сверхтонких материалов является струйная противоточная мельница, в которой разрушение частиц реализуется путем их столкновения друг с другом или о преграду [2].

К достоинствам данного измельчителя можно отнести простоту и надежность конструкции, низкую материалоемкость, отсутствие движущихся частей в помольном блоке технологического оборудования, возможность получения узко классифицированных материалов по крупности.

Основные мероприятия по повышению качества получаемого продукта в струйных мельницах направлены на снижение износа элементов конструкции измельчителя.

Наиболее известными методами борьбы с износом являются футеровка каналов и создание более сложной конфигурации потока в рабочих каналах мельницы.

*Футеровка каналов.* Самым распространенным методом предотвращения преждевременного износа рабочих органов струйной мельницы является футеровка, которая представляет собой специальную отделку для защиты поверхностей от различных термических, механических или химических повреждений. Она может быть выполнена в виде моноблока или отдельных соединений.

На рис. 1 изображена футеровка разгонной трубки, выполненная в виде колец. Кольцо, расположенное на срезе трубки, удаляется по мере износа, остальные перемещаются ближе к срезу, а в начало трубки вставляется новое кольцо. Такая конструкция применяется в струйных мельницах Вольногорского горно-металлургического комбината, при этом кольца делаются из керамики местного производства с добавлением циркона.

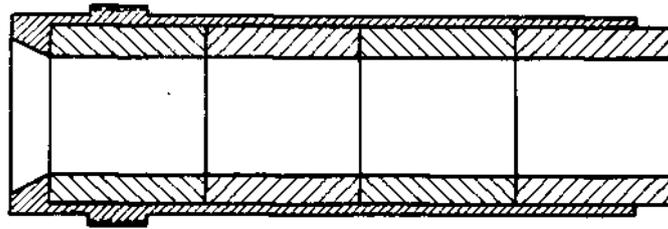


Рис. 1. Кольцевая футеровка разгонной трубки эжектора

Для снижения трудоемкости эксплуатации футеровочных колец коллективом Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова предложена модель разгонной трубки эжектора [3], оснащенная съемным корпусом, внутри которого расположена футеровка. Кроме того, имеется футеровка, выходящая за пределы корпуса и образующая входной раструб (рис. 2).

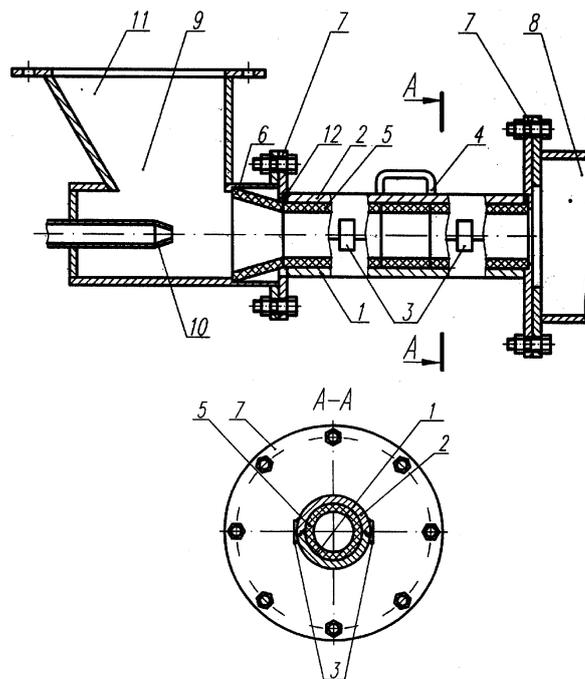


Рис. 2. Разгонная трубка эжектора:

- 1 – нижняя часть корпуса разгонной трубки; 2 – съемная верхняя часть корпуса;
- 3 – защелки; 4 – ручка для удобства снятия верхней части корпуса; 5 – футеровочные кольца;
- 6 – входной раструб; 7 – элементы крепления, выполненные в виде фланцев;
- 8 – помольная камера; 9 – приемная камера; 10 – сопло; 11 – загрузочное отверстие;
- 12 – уплотнения

Известна конструкция струйной мельницы с самофутерующейся камерой помола [4], которая содержит емкость с футеровочным материалом, прикрепленную к патрубку пылеуноса (рис. 3). Создание самофутерующейся камеры

помола позволяет заменять отбойную плиту без остановки мельницы, добавляя футеровочный материал в специальную емкость по мере его расходования.

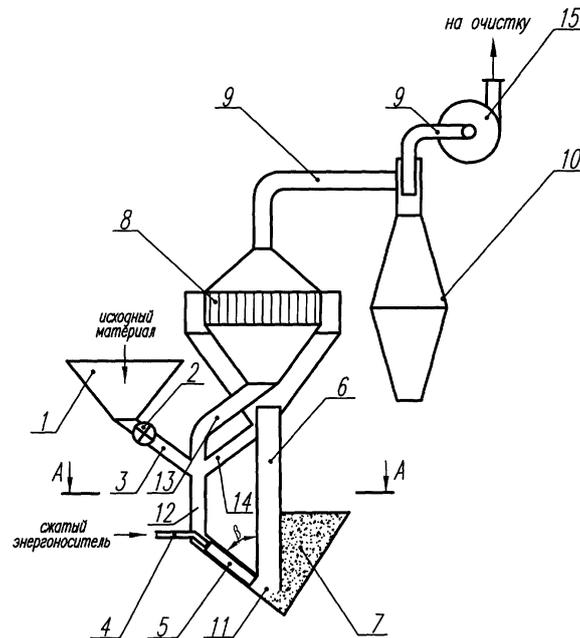


Рис. 3. Струйная мельница с самофутерующейся камерой помола:

- 1 – загрузочный бункер; 2 – питатель; 3 – наклонная течка; 4 – сопла энергоносителей; 5 – разгонные устройства; 6 – патрубок пылеуноса; 7 – емкость с футеровочным материалом; 8 – сепаратор; 9 – воздуховод; 10 – пылесадительное устройство; 11 – самофутерующаяся камера помола; 12 – эжекторный узел; 13, 14 – патрубки возврата недоизмельченного материала; 15 – вентилятор

В качестве футеровки разгонных трубок мельницы обычно используют такие абразивостойкие материалы, как металло- и минералокерамика [5].

Футеровка помольной камеры выполняется, как правило, из нескольких литых плит, изготовленных из хромистого или бористого чугуна, износостойкой марганцевой стали или резины. Иногда футеровка содержит отверстия для удаления измельченного продукта.

Достоинством данного метода является относительно небольшая стоимость материалов для футеровки по сравнению с материалами, из которых изготавливаются рабочие органы мельницы.

Вместе с тем футеровочный материал достаточно хрупок по отношению к ударному воздействию крупных включений, в частности керамики, корунда и т.д. К тому же футеровка обеспечивает лишь кратковременную защиту конструкции и требует периодической замены, что влечет за собой остановку производства. Кроме того, футеровку желательно изготавливать из материалов, подобных измельчаемым, как например, карбидовых колец при измельчении карбида, кремния, кварцевого песка или колец из спеченной двуокиси циркония при измельчении циркона.

## **Підготовчі процеси збагачення**

*Кольцевой эжектор.* Не менее эффективным способом защиты конструкции струйных мельниц от износа в процессе измельчения является применение кольцевых эжекторов.

Основным отличием кольцевого эжектора от классической схемы является расположение сопел подачи высоко- и низконапорного потоков: в центральной (осевой) части устройства находится канал подачи частиц твердой фазы (эжектируемый поток), а сопло эжектирующего газа расположено по периферии канала. Благодаря такому расположению сопел поток твердых частиц оказывается "внутри" газового потока, препятствующего взаимодействию измельчаемого материала со стенками канала.

Сверхзвуковой кольцевой эжектор струйной мельницы представлен на рис. 4. Потоки первичного сыпучего материала 1 и материала после классификатора 2 поступают в патрубок центрального тела 3 эжектора, после чего, подхваченные потоком рабочего тела 4, поступают в разгонную трубку 5, а затем – в помольную камеру 6. В центральное тело эжектора подается дополнительный поток газа 7 с давлением, равным давлению рабочего тела на входе в эжектор. При этом ось потока частиц из патрубка 3 смещена относительно оси рабочего тела на размер 8, выбранный из условий одновременного взаимодействия частиц по периметру выходного сечения разгонной трубки. [6].

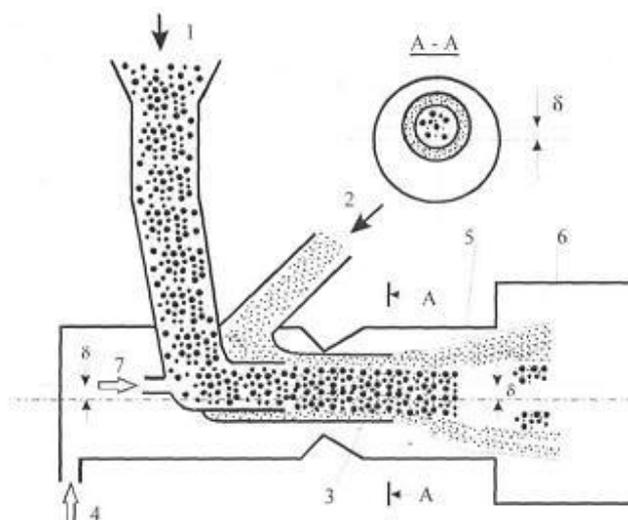


Рис. 4. Сверхзвуковой кольцевой эжектор струйной мельницы:

- 1 – потоки первичного сыпучего материала; 2 – недоизмельченный материал после классификатора; 3 – патрубок центрального тела эжектора; 4 – поток рабочего тела;
- 5 – разгонная трубка; 6 – помольная камера; 7 – дополнительный поток газа;
- 8 – размер смещения оси потока

На рис.5 представлен кольцевой эжектор, состоящий из профилированного сверхзвукового сопла эжектирующего газа 1, сменного центрального тела 2, выполненного в виде тела вращения произвольной формы, канала подвода эжектируемого потока 3 [7]. На внешней поверхности центрального тела под

углом к плоскости образующей расположены продольные пазы. Данная конструкция позволяет защитить стенки эжекторного устройства от контакта с эжектируемым материалом, добиться более равномерного распределения твердых частиц по потоку и обеспечить управление свойствами получаемых смесей.

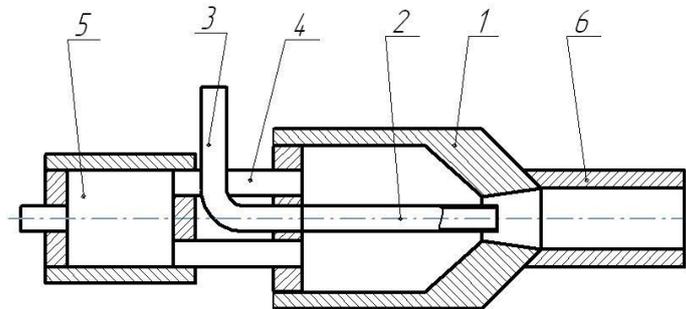


Рис. 5. Кольцевой эжектор струйной мельницы:

- 1 – кольцевое профилированное сверхзвуковое сопло эжектирующего газа;
- 2 – центральное тело; 3 – канал подвода эжектируемого потока; 4 – трубопровод;
- 5 – ресивер; 6 – трубопроводы

Однако конструкция кольцевого эжектора довольно сложна в расчете и проектировании. К тому же она требует более высокоточного оборудования для изготовления, в противном случае эффективность защиты стенок разгонного канала существенно снижается. Кроме того, практически отсутствуют конструкции кольцевых эжекторов для промышленных струйных мельниц, предполагающих большой расход измельчаемого материала.

*Эжектор с дополнительным подводом массы энергоносителя.* В последнее время все большей популярностью в качестве защиты элементов конструкции, позволяющей значительно снизить загрязнение материала продуктами износа струйной мельницы, пользуется создание дополнительного подвода массы энергоносителя в эжекторном узле.

Суть данного метода состоит в том, что в периферийную часть разгонной трубки эжектора вводят дополнительный поток энергоносителя, который препятствует воздействию основного потока на стенки конструкции.

Подвод дополнительного потока газа для защиты стенок разгонного канала эжекторного узла может осуществляться дискретно (точечно) или в виде щелевых зазоров, которые образуются сегментальными элементами разгонной трубки.

На рис. 6 изображен блок помольной камеры противоточной струйной мельницы с эжекторным узлом, оснащенный каналом дополнительного подвода газа [8].

Исходный материал, поступающий из бункера 1 в эжектор 2, захватывается потоком газа, который подают в сопло 3, и поступает в разгонные трубки 4 в виде двухфазного потока. В кольцевые сопла 5, образованные секциями разгонных трубок 4, подают дополнительный энергоноситель, который разгоняет-

## **Підготовчі процеси збагачення**

ся в соплах 5 до высоких скоростей и поступает в проточные каналы трубок 4, образуя защитный слой газа. При этом напор дополнительного газа ускоряет твердые частицы перед входом в помольную камеру и отодвигает их от стенок разгонного канала, препятствуя износу последних.

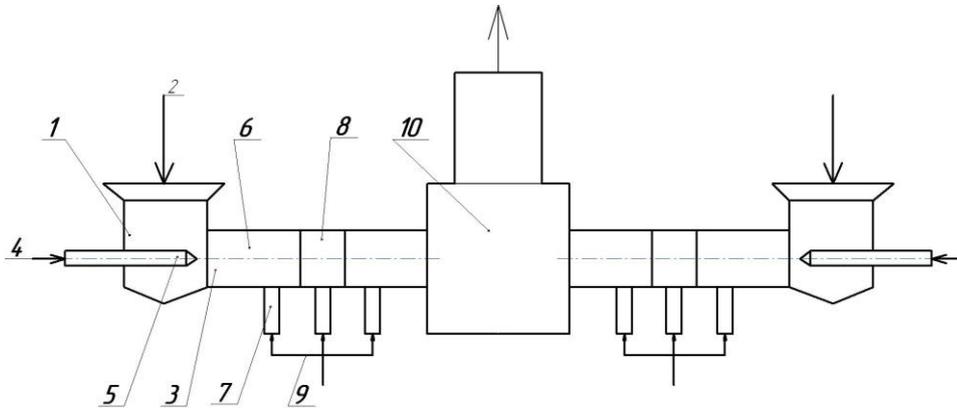


Рис. 6. Блок помольной камеры струйной мельницы:

- 1 – бункер питателей дисперсного материала; 2 – бункер подачи дисперсного материала;
- 3 – центральный эжектор; 4 – подача основного энергоносителя; 5 – центральное сопло эжектора;
- 6 – разгонная трубка; 7 – патрубки подачи дополнительного энергоносителя;
- 8 – сменные сопловые секции-блоки; 9 – подача дополнительного энергоносителя;
- 10 – помольная камера

Недостатком данного метода является возникновение запаздывания частиц, движущихся в центральной части канала, скорость которых значительно меньше, чем скорость частиц, движущихся по периферии. Это приводит к уменьшению энергии частиц материала для их столкновения во время измельчения в помольной камере.

Наиболее рациональным конструктивным решением, при котором износ конструкции будет минимальным, а процесс наиболее эффективным, является сочетание элементов кольцевого эжектора и дополнительного подвода потока энергоносителя в разгонный канал (рис. 7).

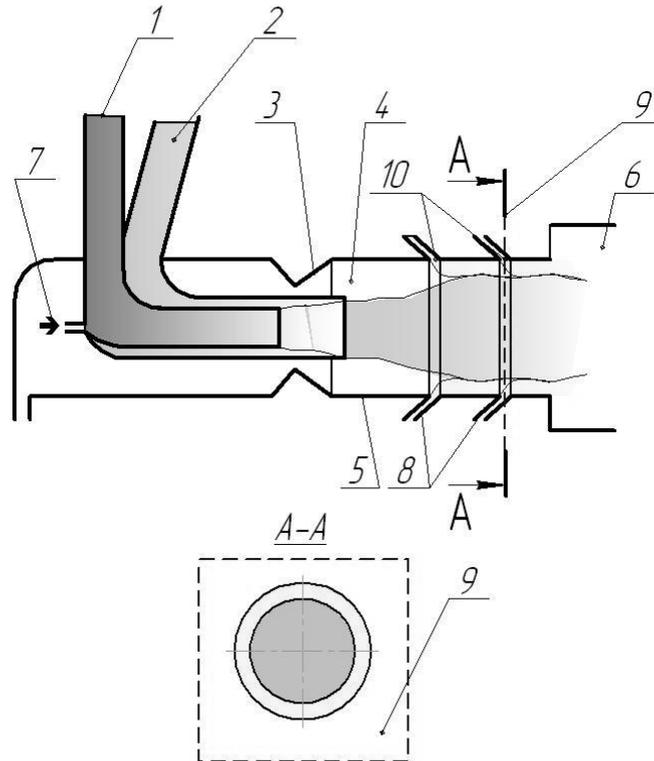


Рис. 7. Схема эжекторного узла струйной мельницы с дополнительным подводом газа:  
 1 – потоки первичного материала; 2 – сыпучий материала после классификатора;  
 3 – патрубков центрального сопла эжектора; 4 – потоки рабочего тела; 5 – разгонная трубка;  
 6 – помольная камера; 7 – дополнительный поток энергоносителя;  
 8 – канал подвода дополнительного потока газа; 9 – распределительное кольцо;  
 10 – щелевые отверстия

В Институте технической механики НАНУ и ГКАУ разработана конструкция кольцевого сверхзвукового эжектора [9]. В патрубок центрального сопла 3 эжектора подаются потоки первичного сыпучего материала 1 и материала 2, который необходимо измельчить после классификатора. Затем, подхваченные потоком рабочего тела 4, частицы материала поступают в разгонную трубку 5 и после – в помольную камеру 6. По оси потока частиц, истекающих из центрального сопла 3 эжектора, подается дополнительный поток 7 рабочего тела, ускоряющий поток сыпучего материала на входе в разгонную трубку 5. Через канал подвода дополнительного потока энергоносителя 8 газ, равномерно распределяясь по сечению кольца 9, поступает в разгонную трубку через щелевые отверстия 10 в стенке трубки, расположение которых выбирается из условий достижения начала прилипания частиц сыпучего материала к внутренней стенке разгонной трубки.

Таким образом достигается двойная защита разгонных трубок эжектора струйной мельницы от износа, а также равномерное ускорение частиц сыпучего материала перед встречей двухфазных потоков в помольной камере.

### **Список літератури**

1. Прядко Н.С. Об износе разгонных трубок при газоструйном измелении / Н.С. Прядко, Н.Д. Коваленко, Г.А. Стрельников, В.А. Грушко, Н.Ю. Пясецкий, Н.П. Сироткина // *Техническая механика*. – 2009. – № 4. – С. 94-101.
2. Постникова И.В. Струйные мельницы / И.В. Постникова, В.Н. Блиничев, Я. Кравчик // *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*. – 2015. – №2 (42). – С. 144-151.
3. Патент на полезную модель 46203 РФ, МПК В02С 19/06. Разгонная трубка эжектора / Уваров В. А., Карпачев Д. В., Хлудеев В. И., Ярыгин А. А., Овчинников И. А.; заявитель и патентообладатель Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова. – 2005 100091/22; заявл. 11.01.2005; опубл. 27.06.2005; Бюл. № 18. – 2 с.
4. Патент на полезную модель 49736 РФ, МПК В02С 19/06. Струйная мельница с самофутерующейся камерой помола / Уваров В. А., Карпачев Д. В., Хлудеев В. И., Ярыгин А. А.; заявитель и патентообладатель Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова. – 2005 119449/22; заявл. 22.06.2005; опубл. 10.12.2005; Бюл. 34. – 2 с.
5. Акунов В.И. Струйные мельницы. Изд. 2-ое / В.И. Акунов. – М.: Машиностроение, 1967. – 264 с.
6. Патент 98363 Україна, МПК В 02С 19/06. Спосіб подачі сипучого матеріалу через кільцевий надзвуковий ежектор газоструминного подрібнювача / Прядко Н. С., Коваленко М. Д., Стрельніков Г. О., Гупало М. Т., Грушко В. О., Пясецький М. Ю., Ризун В. П.; заявник і патентоволодар Інститут технічної механіки НАНУ і ДКАУ. – а 2010 08037; заявл. 29.06.2010; опубл. 10.05.2012; Бюл. № 9. – 5 с.
7. Патент на корисну модель 31326 Україна, МПК F04F 5/00, В02С 19/06, G01М 9/00. Кільцевий ежекторний пристрій / Тинина С.В., Астапов А.І., Чаплиц О.Д., Тоцка Н.І., Яцук Ю.С.; заявник і патентоволодар Акціонерне товариство закритого типу "Свт сервіс"; Починок Олександр Борисович. – u2007 06582; заявл. 12.06.2007; опубл. 10.04.2008; Бюл. № 7. – 4 с.
8. Патент 100638 Україна, МПК В02С 19/06 (2006.01). Ежектор струменевого млина / Грабовський Г.Г., Григору В.І., Кирпач М.С., Недбаєв М.Я.; заявник і патентоволодар Київський національний університет ім. Т. Шевченка. – а 2011 14119; заявл. 29.11.2011; опубл. 10.01.2013; Бюл. № 1. – 10 с.
9. Патент на корисну модель 112144 Україна, МПК В02С 19/06. Спосіб подачі сипучого матеріалу через кільцевий надзвуковий ежектор газоструминного подрібнювача / Шевельова Г. М., Прядко Н. С. Грушко В. О.; заявник і патентоволодар Інститут технічної механіки НАНУ і ДКАУ. – u 2016 04604; заявл. 25.04.2016; опубл. 12.12.2016, Бюл. № 23. – 5 с.

© Шевелёва А.М., 2018

*Надійшла до редколегії 05.03.2018 р.  
Рекомендовано до публікації д.т.н. Л.Ж. Горбець*