

И.А. Баранник ⁽¹⁾, вед. научн. сотрудник, к.т.н.

Г.А. Колобов ⁽²⁾, профессор, к.т.н.

Д.Е. Свиридов ⁽¹⁾, инженер

А.М. Башмаков ⁽³⁾, гл. технолог

СОВРЕМЕННАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ ЛИНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ГРАНУЛ ИЗ МАГНИЯ И ЕГО СПЛАВОВ

⁽¹⁾ Государственный научно-исследовательский и проектный институт титана, г. Запорожье,

⁽²⁾ Запорожская государственная инженерная академия,

⁽³⁾ ООО «Титанпроект», г. Запорожье

Подано опис апаратурно-технологічної схеми комплексної промислової лінії для виробництва гранул магнію з різної сировини (магнію-сирцю, магнієвих сплавів і скрапу) продуктивністю 8000 тон на рік. Подано коротку технічну характеристику основного нестандартизованого технологічного обладнання

Представлено описание апаратурно-технологической схемы комплексной промышленной линии для производства гранул магния из различного сырья (магния-сырца, магниевых сплавов и скрапа) производительностью 8000 тонн в год. Дана краткая техническая характеристика основного нестандартизованного технологического оборудования

Гранулированный магний с момента начала его промышленного производства и до настоящего времени широко используют в качестве основного реагента-десульфуратора доменного чугуна [1-3]. Новым импульсом для его дальнейшего применения в последнем десятилетии явилось распространение на металлургических заводах КНР украинской технологии десульфурации чугуна чистым гранулированным магнием [4,5].

Естественно, что с развитием теоретических основ применения гранулированного магния как реагента-десульфуратора и совершенствованием апаратурного оформления и технологических приемов, обеспечивающих максимально эффективное использование магния, продолжалось развитие и совершенствование способов производства магниевых гранул – частиц преимущественно сферической формы крупностью от 0,4...0,5 до 2,0 мм.

Наряду с технологией производства гранул из магния-сырца по способу, предложенному в 1968-1972 г.г. и обеспечившему разработку самой эффективной на сегодня технологии внепечной десульфурации чугуна чистым гранулированным магнием [6], в настоящее время предложены новые способы получения гранул из магния и его сплавов, в основном, сплавов системы «магний-алюминий»: диспергированием жидкого металла в атмосфере инертных газов (*Ar*, *He*) или обкаткой получаемых при фрезеровании осколочных частиц магния [2]. Однако оригинальная технология получения гранул магния в окислительной атмосфере воздуха остается конкурентоспособной и в настоящее время.

Отличительной особенностью данного процесса является диспергирование жидкого магния (или его сплавов) и охлаждение гранул в атмосфере воздуха без применения инертных газов. Это стало возможным в результате подбора соответствующих геометрических параметров центробежного гранулятора, способа подачи металла в гранулятор и состава солевого расплава – сфериодизатора [7].

Основные преимущества данного способа получения гранул из магния и его сплавов:

- пожаро- и взрывобезопасность технологического процесса и получаемого продукта – гранулированного магния в солевой оболочке [8];
- высокая производительность (до 10000 т/год);
- возможность регулирования гранулометрического состава частиц в интервале диаметров от 0,4 до 2,5 мм.

Первая специализированная промышленная установка [9,10] была введена в эксплуатацию в 1974 г. на магниевом заводе Калушского химико-металлургического комбината [1]; она проработала без капитального ремонта до полной остановки магниевых заводов (2004 г.).

В 90-ые годы прошлого столетия в Институте титана были разработаны новые проекты промышленных комплексов получения гранул из электролитического магния-сырца (для Израиля и КНР, г. Минхэ), а также для получения гранул из силико-термического магния (КНР, г. Дашицяо).

В прошедшем десятилетии подготовлены еще два проекта производственных комплексов получения гранул из магниевых сплавов при переплаве магниевых скрапов. Один из них успешно реализован в г. Житомире (фирма «ОНВИ») [11], по второму проекту подготовлена к пуску промышленная линия на одном из предприятий КНР.

Последним проектом предусмотрена возможность производства гранул, как из чистого магния, так и синтетических сплавов системы «магний-алюминий», а также из вторичных магниевых сплавов, получаемых при переплавке магниевых скрапов.

Основные технологические операции, осуществляемые в этом комплексном производстве:

- приготовление (плавка, нагрев, рафинирование) магния и магниевых сплавов;
- приготовление (плавка, нагрев, отстаивание) солевого расплава;
- подготовка жидкого металлического расплава и его передача в центробежный гранулятор;
- подогрев и передача солевого расплава в гранулятор одновременно с металлом;
- гранулирование металлосолевой смеси центробежным гранулятором внутри грануляционной камеры;
- охлаждение гранул в камере встречными потоками атмосферного воздуха;
- сбор и эвакуация из камеры твердых гранул при помощи сжатого воздуха;
- классификация гранул рассевом на ситах барабанного грохота;
- мониторинг представительных проб товарной фракции гранул на соответствие требованиям стандарта;
- расфасовка и упаковка товарной продукции.

Вышеперечисленные технологические операции осуществляют в трех отделениях:

- приготовления жидкого металла и солевого расплава;
- гранулирования;
- классификации и упаковки гранулированного магния.

Аппаратурно-технологическая схема такой комплексной промышленной линии представлена на рис. 1.

С учетом специфики технологии получения гранул из жидкого магния с соевым расплавом оптимальным вариантом территориального размещения такой про-

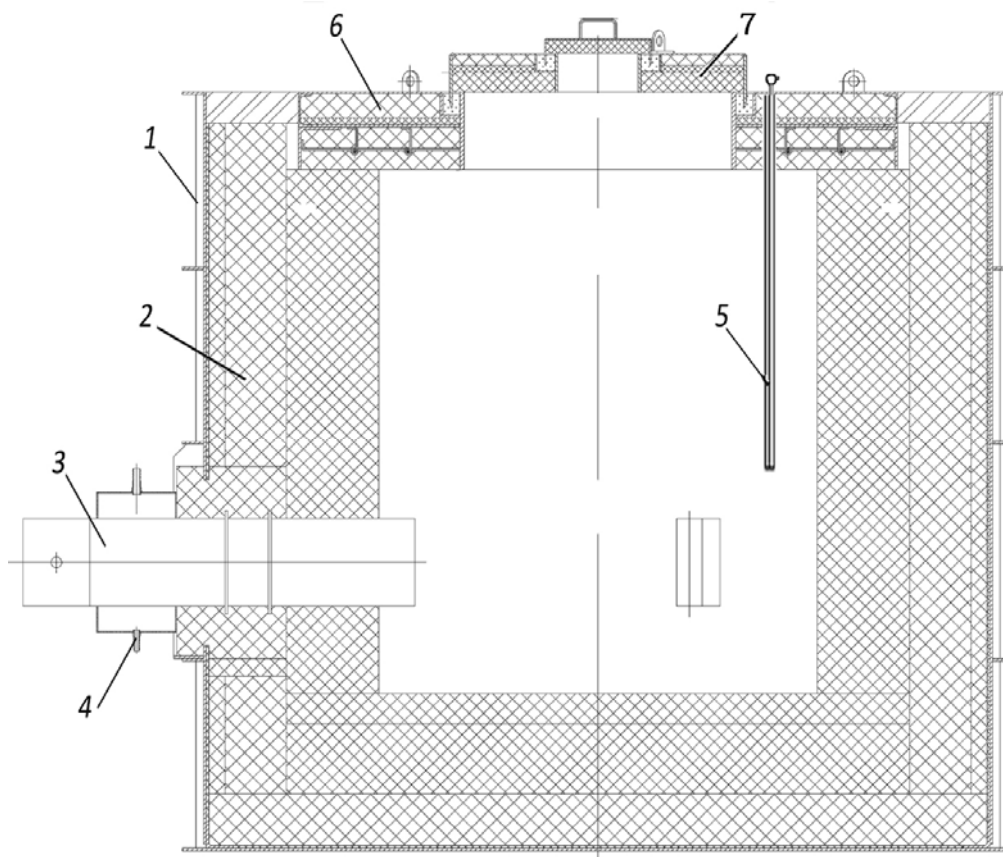
мышленной линии является литейное отделение магниевого завода по производству магния-сырца электролизом его хлорида. Это наиболее энергетически и технологически простой, и экономичный вариант производства гранул, так как позволяет использовать жидкий магний-сырец, извлекаемый из электролизеров (исключается процесс рафинирования металла), и солевой расплав, в качестве которого служит отработанный электролит (5...8 % $MgCl_2$, 20...40 % $NaCl$, KCl – остальное).

Для плавки скрапа или приготовления синтетических сплавов используются также печи литейного отделения (с электрическим или газовым обогревом). Образующиеся отходы, состоящие, в основном, из мелких частиц солевого расплава, также применяются в литейном отделении в качестве защитного флюса.

При размещении линии на заводах с силикотермическим способом производства магния солевой расплав необходимо наплавлять в отдельной печи из твердой шихты, при этом предпочтительнее использовать в качестве основы отработанный электролит, реализуемый магниевыми заводами в качестве калийного удобрения.

Проектом предусмотрены механизация и автоматизация производства с программным управлением большинством технологических операций. Для контроля управления предусмотрено использование промышленного телевидения.

При размещении линии в литейном отделении магниевого завода приготовление жидкого металла осуществляют с использованием стандартного печного оборудования и технологических приемов, применяемых при производстве товарного магния и магниевых сплавов [12,13]. Магниевый скрап после предварительной сортировки также плавят в печах, где готовят первичные (синтетические) магниевые сплавы.



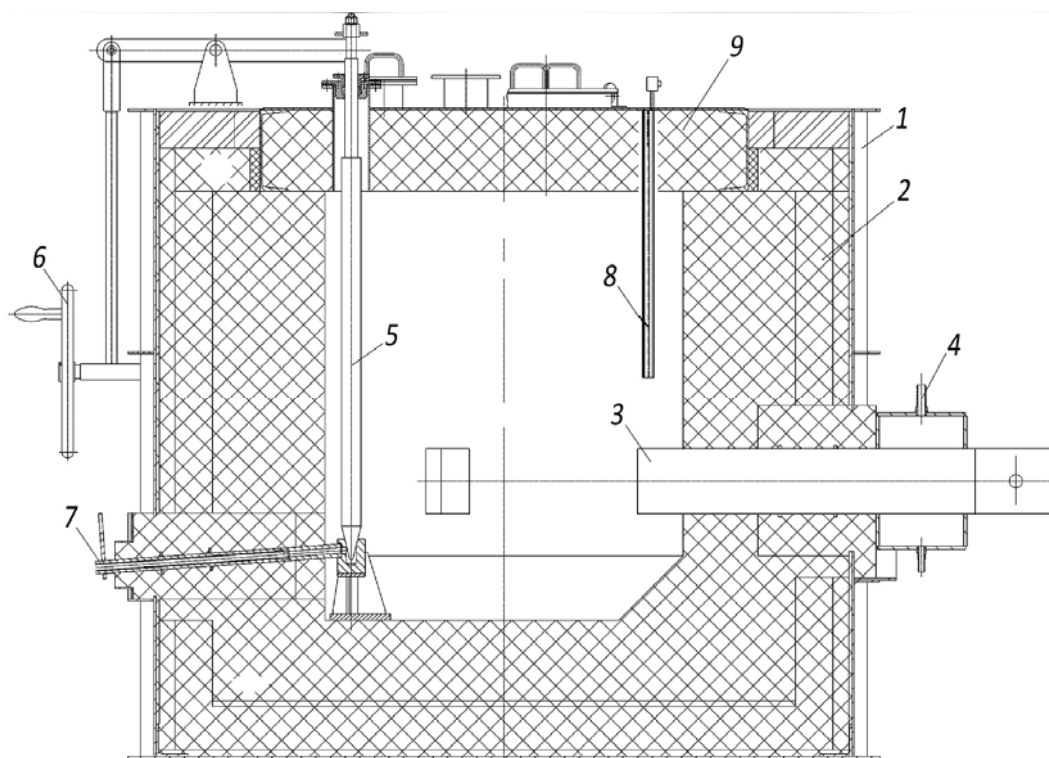
1 - стальной кожух; 2 - огнеупорная футеровка; 3 - стальные электроды (3 шт.);
4 - охлаждение электродов; 5 - термопара типа ХА; 6 - перекрытие;
7 - технологический проем с крышками

Рисунок 2 – Солевая печь

В качестве раздаточной печи для жидкого металла (магния или его сплавов с алюминием) нами выбрана электрическая тигельная печь с нихромовыми спиралями. По соображениям удобства в обслуживании и создания более равномерной нагрузки на перекрытие камеры принята овальная форма стального тигля и, соответственно, корпуса печи. При размещении подобной установки в литейном отделении магниевого завода с электролитическим способом производства предпочтительнее использовать более экономичные печи с солевым обогревом [14]. Расплавленный магний (или магниевый сплав) из раздаточной печи передают при помощи сифона (или центробежного насоса) в смесительную воронку (рис. 1, поз. 5), куда одновременно поступает в заданном соотношении солевой расплав из сливной летки раздаточной печи солевого расплава.

Для приготовления солевого расплава из твердой шихты разработали специальную солевую печь (рис. 2) производительностью до 250 кг/ч с температурой нагрева расплава до 800 °С. Полученный расплав в реторте с донным сливом (рис. 1, поз. 12), вмещающей ≈ 600 кг солевого расплава, мостовым краном транспортируют к установке грануляции и передают в раздаточную печь солевого расплава.

Напротив раздаточной печи для металла размещают раздаточную печь для солевого расплава (рис. 3).



- 1 - стальной кожух; 2 - огнеупорная футеровка; 3 - стальные электроды (2 шт.);
 4 - охлаждение электродов; 5 - шток; 6 - штурвал; 7 - сливная летка;
 8 - термонара типа ХА; 9 - перекрытие

Рисунок 3 – Раздаточная печь солевого расплава

Данная печь конструктивно похожа на вакуумный ковш для извлечения магния из электролизеров [15], но имеет ряд существенных отличий: оборудована леткой для управляемого слива солевого расплава и снабжена двумя стальными греющими электродами, питающимися током напряжением менее 40 В от сухого однофазного трансформатора. Сливную летку печи перед ее открытием разогревают тем же печным

трансформатором путем ее кратковременного подключения вместо одного из греющих электродов.

Готовый солевой расплав поступает в раздаточную печь либо из отделения электролиза магниевых заводов, либо наплавляется в солевой печи (рис. 2) из твердых солей (отработанный электролит).

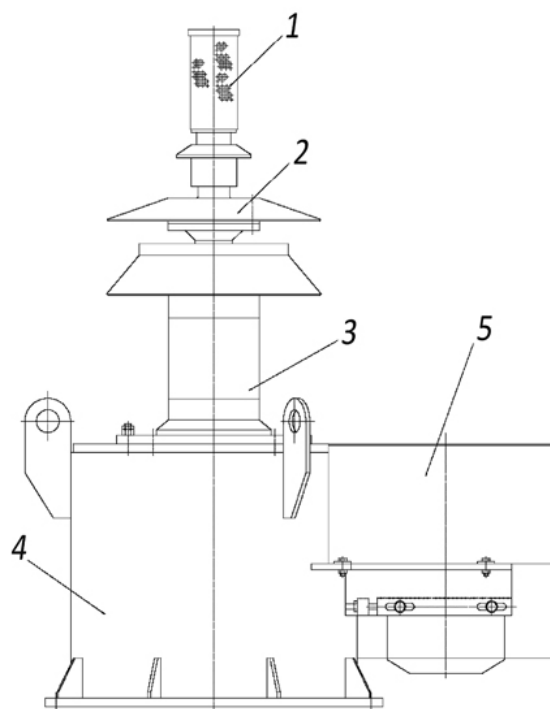
Центральным элементом аппаратурно-технологической схемы комплекса данной промышленной линии является установка грануляции, основным конструктивным элементом которой служит грануляционная камера. На перекрытии камеры размещаются раздаточные печи для магния и солевого расплава, пульт контроля и управления процессом гранулирования. Внутри камеры, строго по центру, на специальной опоре установлен центробежный гранулятор, а в ее нижнюю часть встроены кольцевой скребковый транспортер, к которому подсоединен эжектор. Кольцевой скребковый транспортер осуществляет сбор и эвакуацию из камеры гранул, образующихся при работе центробежного гранулятора. Непосредственно под днищем кольцевого транспортера расположена приемная камера эжекционного насоса, который при помощи осушенного сжатого воздуха подает гранулированный магний по трубопроводу в бункер-накопитель (рис. 1, поз. 13) барабанного грохота (рис. 1, поз. 15), которые размещены в отделении классификации и упаковки товарной продукции.

Диаметр и высота камеры приняты по результатам теоретического расчета, скорректированного по фактическим результатам пуска ранее сооруженных промышленных установок (г.г. Калуш, Дашиця, Минхэ и Житомир). Основное требование – обеспечение полного затвердевания гранул диаметром до 2 мм в камере до столкновения с ее твердой поверхностью. При этом следует учитывать и возможность воспламенения мелких частиц магния и, в особенности, из магниевых сплавов, имеющих на 30...50 °С более низкие температуры ликвидуса и солидуса [11]. Практикой установлено, что для чистого магния температура охлаждения гранул в камере должна быть ниже 450 °С, а для сплавов – ниже 400 °С.

В центре грануляционной камеры установлена опора для размещения центробежного гранулятора, вокруг которой расположен бункер в форме перевернутого конуса для улавливания смеси мелкодисперсных гранул из солевого расплава и металла. Данная смесь по конической стенке бункера попадает в кубель для отходов и возвращается для повторного использования. Основная масса гранулята оседает на дне кольцевого транспортера.

Центробежный гранулятор (рис. 4) осуществляет разбрызгивание расплавленной смеси металла и солевого расплава при вращении перфорированного стакан-диспергатора с отверстиями диаметром 1,2...1,5 мм. Стакан гранулятора закреплен на валу водоохлаждаемого подшипникового узла. Электропривод вращения стакана гранулятора – асинхронный электродвигатель с регулируемой частотой вращения вала в интервале 0...2200 мин⁻¹.

Применение центробежного способа гранулирования наиболее эффективно для легкоплавких металлов и сплавов. Дополнительное преимущество заключается в сравнительной долговечности и простоте конструкции основного рабочего элемента – перфорированного стакана, изготавливаемого из листовой стали марки 1Х18Н9Т толщиной 0,8...1,0 мм. Производительность гранулятора в зависимости от геометрии стакана и частоты его вращения составляет 2,5...3,5 т/ч.



1 - стакан-диспергатор; 2 - козырек; 3 - вал; 4 - стойка; 5 - двигатель

Рисунок 4 – Центробежный гранулятор

Пуск установки гранулирования осуществляют в следующем порядке. При помощи насоса заполняют раздаточную печь расплавленным магнием (магниевым сплавом), а при помощи реторты с донным сливом подают в раздаточную печь для солевой добавки ~800 кг солевого расплава. Перфорированный стакан гранулятора, смесительная воронка и сливной желоб раздаточной печи для солевого расплава перед пуском и во время работы центробежного гранулятора обогревают природным газом при помощи трех переносных газовых горелок. Открывают сливную летку печи для солевого расплава, а затем производят запуск сифона для передачи магния при помощи вакуумного насоса. Плавно увеличивают частоту вращения стакана гранулятора до заданной величины (от 1600 до 2100 мин⁻¹). Расход солевого расплава при необходимости регулируют в пределах 10...15 % от массы металлического расплава, сливаемого в смесительную воронку.

Для прососа через камеру охлаждающего воздуха вентилятор включают одновременно с включением газовых горелок. Запуск эжекционного питателя и кольцевого скребкового транспортера осуществляют в момент поступления в смесительную воронку металлической струи из сливной трубы сифона. Металлосолевая смесь из смесительной воронки поступает во вращающийся перфорированный стакан-диспергатор, из которого под действием центробежной силы разбрызгивается в объеме грануляционной камеры с образованием гранул сферической формы.

Продолжительность одного цикла определяется емкостью раздаточной печи для жидкого металла (3,0...3,5 т) и производительностью гранулятора (2,5...3,5 т/ч).

После прекращения передачи металла из сифона закрывают сливную летку печи для солевого расплава, отключают горелки и останавливают кольцевой конвейер. Далее прекращают подачу сжатого воздуха в эжекционный питатель, а через 5...10 мин отключают вытяжной вентилятор.

Для повторения производственного цикла раздаточные печи заполняют соответственно металлом и солевым расплавом, а перфорированный стакан гранулятора промывают солевым расплавом.

Отделение классификации и упаковки гранул магния оборудовано бункером-накопителем с системой аспирации отработанного воздуха в рукавном фильтре, барабанным грохотом с системой аспирации запыленного воздуха и бункером товарной продукции.

Данное оборудование размещено на стальном каркасе в виде этажерки с площадками для обслуживания бункеров, грохота и рукавного фильтра. Бункера, а также грануляционная камера выполнены из малоуглеродистой стали, для защиты от коррозии ее внутренние и внешние стенки покрыты термо- и коррозионностойкой эмалью.

Барабанный грохот состоит из вращающегося барабана диаметром 1300 мм (частота вращения 16 мин⁻¹), обтянутого сетками из нержавеющей стали с ячейками размером (0,5 x 0,5) мм и (2,0 x 2,0) мм. Поступление гранулята во вращающийся барабан грохота осуществляется из бункера-накопителя через дозатор. В барабане грохота по мере продвижения гранул через последовательно расположенные сита (0,5 x 0,5) мм и (2,0 x 2,0) мм происходит рассев на три фракции: -0,5 мм («отсевки»), +0,5...-2,0 мм (товарный продукт) и +2,0 мм («сходы»). Товарный продукт по трубе самотеком поступает в бункер товарной продукции, «отсевки» и «сходы» по соответствующим течкам – в контейнеры для отходов.

Бункер товарной продукции снабжен специальным пробоотборником, обеспечивающим автоматический отбор представительной пробы гранулята для оценки его качества. После получения результатов анализа гранулят упаковывают в соответствующую тару или загружают в вагон-цементовоз, который может одновременно служить передвижным складом и расходным бункером.

Проектом предусмотрена возможность получения различной по химическому и гранулометрическому составу продукции (табл. 1).

Таблица 1 – Характеристика гранулированного магния

Марка (условное наименование)	Крупность гранул, мм	Содержание в грануляте, % масс		
		Магний, не менее	алюминий	Сl', *
МГП1	0,5...1,6	93	0,02 *	3,0
МГП2	0,5...1,2	92	0,02 *	3,0
МГС5	0,5...1,6	85	5...6	3,0
МГС10	0,5...1,6	82	9...10	3,0

Примечание: * максимальное количество

Насыпная плотность гранул магния изменяется в пределах 1000...1050 кг/м³, угол естественного откоса не превышает 30°.

Заключение. Разработан проект современной промышленной линии производства гранул из различных видов магниевых сырья: магния-сырца, магниевых сплавов и скрапа. Приведены основные технические характеристики и особенности основного технологического оборудования. Проектная мощность линии составляет до 8000 т/год по гранулированному магнию, содержащему не менее 92 % магния.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранник, И. А. – Гранулированный магний – лучший реагент для внепечной десульфурации чугуна [Текст] / И. А. Баранник // *Металлургическая и горнорудная промышлен-*

ность. – 2005. – № 2 (226). – С. 109-110.

2. *Баранник, И. А.* История и перспективы производства гранулированного магния [Текст] / И. А. Баранник, И. М. Комелин, Ю. И. Савенец // Цветные металлы. – 2008. – № 3. – С. 66-71.
3. *Barannik, I. A.* Granulated magnesium and practice of using in for molten metal treatment [Text] / I. A. Barannik, A. F. Shevchenko, Yu. M. Riabukhin // Proc. of 51 World Magnesium Conf. IMA. – Berlin, 1994. – Pp. 82-90.
4. Аппаратурно-технологический комплекс нового поколения десульфурации чугуна в заливочных ковшах вдуванием гранулированного магния [Текст] / *А. Ф. Шевченко, Б. В. Двоскин, В. А. Александров и др.* // Сталь. – 2003. – № 8. – С. 21-25.
5. *Большаков, В. И.* Создание и развитие рациональных технологий внепечной десульфурации чугуна [Текст] / В. И. Большаков, // Сталь. – 2009. – № 4. – С. 13-20.
6. *Воронова, Н. А.* Десульфурация чугуна магнием [Текст] / Н. А. Воронова. – М. : – Металлургия, 1980. – 239 с. – Библиогр. : с. 232-237.
7. Центробежное распыление расплавов магния с солевой добавкой [Текст] / *И. А. Баранник, В. А. Полоус, А. Ф. Трухин и др.* // Получение, свойства и применение распыленных металлических порошков : сборник научных трудов. – Киев : ИПМ АН УССР, 1982. – С. 23-27.
8. *Олишевец, В. А.* Пожаро- и взрывоопасность гранулированного магния в условиях производства [Текст] / В. А. Олишевец – М. : ЦНИИЦветмет, 1981. – 28 с. – Библиогр.: с. 27.
9. *Баранник, И. А.* Промышленная установка для получения гранулированного магния в окислительной атмосфере [Текст] / И. А. Баранник, В. А. Полоус, Н. Ф. Трухин // Технология легких сплавов : труды ВИЛСА. – 1981. – № 3. – С. 55-57.
10. *Баранник, И. А.* Переработка скрапа магниевых сплавов в гранулированный магний для десульфурации чугуна [Текст] / И. А. Баранник, Д. Е. Свиридов // Цветные металлы. – 2010. – № 5. – С. 113-118.
11. *Эмли, Е. Ф.* Основы технологии производства и обработки магниевых сплавов [Текст] / Е. Ф. Эмли. – М. : Metallurgia, 1972. – 488 с. – Библиогр. : с. 481-487.
12. *Колобнев, И. Ф.* Цветное литье из легких сплавов [Текст] / И. Ф. Колобнев, В. В. Крытов, А. В. Мельников. – М. : Машиностроение, 1974. – 416 с. – Библиогр. : с. 402-403.
13. *Barannik I. A.* Furnaces with salt heating for magnesium refining [Текст] / I. A. Barannik, I. L. Sikorskaya [Text] / Proc. of the First Israeli Inter. Conf. Magnesium: Science and Technology. – Dead Sea, Israel, 1997. – Pp. 15-18.
14. *Байбеков, М. К.* Магниетермическое производство губчатого титана [Текст] / М. К. Байбеков, В. Д. Попов, И. М. Чепрасов. – М. : Металлургия, 1984. – 96 с. – Библиогр. : с. 94-95.