

A. A. Parametrized kinematic schemes of flat lever mechanisms // Transport infrastructure of the Siberian region. - 2016. - Vol. 1. - Pp. 345-349.

5. Tikhonov A. F., Drozdov A. N., Demidov S. L. Principles of automation of control of the working mechanism of the soil-compacting machine / /

Mechanization of construction. - 2016. - Vol. 77. - No. 2. - Pp. 57-60.

6. Yarullin M. G., Isyanov I. R., Mudrov A. P. Kinematics of a flat two-moving five-link lever mechanism // Modern mechanical engineering. Science and education. - 2016. - No. 5. - Pp. 297-305.

## НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПО СОЗДАНИЮ ТЕХНОЛОГИИ ГРАНУЛЯЦИИ ШЛАКОВ МЕДНОГО ПРОИЗВОДСТВА

DOI: [10.31618/ESU.2413-9335.2020.4.71.600](https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2020.4.71.600)

**Хасанов А.С.**

заместитель главного инженера по науке  
АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат»,  
г.Алмалык, Узбекистан

**Толибов Б.И.**

PhD, доцент кафедры «Металлургия»  
Навоийского государственного горного института,  
г.Навои, Узбекистан

**Сирожов Т.Т.**

ассистент кафедры «Металлургия»  
Навоийского государственного горного института,  
г.Навои, Узбекистан

**Ахмедов М.С.**

магистрант кафедры «Металлургия»  
Навоийского государственного горного института,  
г.Навои, Узбекистан

### АННОТАЦИЯ

Новые технологические процессы пирометаллургического обеднения шлаков решают вопросы либо интенсификации, либо безотходности. Для решения вопросов интенсификации используется перемешивание расплава механическим способом или газом. Используются фурмы с верхним дутьем, а также барботаж восстановительным газом в печах типа ПВ. На опытных установках получены приемлемые результаты, но задачи безотходности не решены

### ANNOTATION

New technological processes of pyrometallurgical depletion of slag solve issues of either intensification or wastelessness. To solve the problems of intensification, melt mixing is used mechanically or by gas. Top tuyere lances are used, as well as sparging with reducing gas in PV type furnaces. Acceptable results were obtained at pilot plants, but non-waste tasks were not solved.

**Ключевые слова:** шлаки, грануляция, барботаж, обеднение шлаков, гранулятор, гранулят, обжиг, десульфуризация, форсунки

**Keywords:** slag, granulation, bubbling, depletion of slag, granulator, granulate, firing, desulfurization, nozzle.

Для решения проблемы безотходной переработки могут быть использованы следующие способы: восстановительно-сульфидирующий, карбонтермический, способ обеднения восстановительно-сульфидирующим комплексом, цементационная плавка с коксовым слоем и перемешиванием расплавов.

Восстановительно-сульфидирующий способ включает в себя двухстадийное обеднение шлаков с использованием штейна второй стадии в качестве сульфидизатора для первой. Шлаки с содержанием меди менее 0,1% используются для переработки на чугун и кальциево-силикатный шлак, пригодный для производства строительных материалов [2].

Плазмохимические процессы не имеют никаких серьёзных преимуществ перед обычной электротермийей, хотя в этом направлении был проведен ряд исследований.

Карбонтермический способ основан на обеднении шлаков шихтой, состоящей из оксида

кальция и коксика. При температуре выше 1400°C идет образование карбидакальция, более эффективного восстановителя, чем коксик. При составе шихты, в которую входят 2-2,5% коксика и 12% известняка, были получены шлаки, содержащие 0,06-0,02% меди, и сплав, содержащий 6,9% меди.

Цементационный способ основан на взаимодействии шлака с чугуном, активность углерода в котором близка к единице. Способ характеризуется высокой скоростью реакций и более эффективным использованием восстановителя (углерода) при введении его в чугун, чем в шлак. Кроме того, решается вопрос о настылеобразовании при температуре ниже 1150°C, благодаря снижению температуры плавления извлекающей фазы за счет науглероживания [3].

Обеднение восстановительно-сульфидирующим комплексом (ВСК) включает в

себя следующие основные стадии: глубокое обезмеживание (до 0,1%) с применением ВСК разного состава в противоточном режиме; рафинирование шлакового расплава от серы продувкой его воздухом или кислородом с добавкой оксида кальция; электропечное восстановление шлака с получением железосодержащего сплава, содержащего менее 0,3% меди и 0,05% серы, и шлака с содержанием 40% оксида кальция, 40% оксида кремния, менее 10% оксида железа; производство ферросилиция; получение комплексных минеральных удобрений, стройматериалов и других изделий [5-7].

Этими способами получают бедный штейн, либо медно-железный сплав (чугун). Использование медно-железных сплавов для цементации меди из растворов является единственным способом их применения. Рафинирование чугуна (сплава) от меди является дорогим и малоэффективным процессом.

Переработка шлакового остатка может быть произведена рядом способов. При высоком содержании железа в обезвоженном шлаке он может быть использован в качестве шлакового щебня (самый простой способ) или в качестве добавки в шихту цементных заводов. При более низком содержании железа высоком – оксида кальция, шлак может быть использован в качестве добавки к цементу при его размоле. Для производства шлакового литья и других изделий требуется дополнительная подшихтовка для достижения требуемого состава.

Анализ приведенных данных показывает:

-глубокое обеднение шлаков (до 0,1% меди) можно осуществить любым способом;

- конечное содержание меди определяется степенью восстановления железа, скоростью

обеднения, физико-химическими закономерностями процесса и конструкцией установки. Наилучшие результаты достигаются при нескольких последовательных стадиях переработки;

- все процессы отвечают требованиям комплексности использования сырья.

Исходя из вышеизложенного, рациональность способа комплексной переработки шлаков определяется конкретными условиями по месту нахождения предприятия, в т.ч. экономическими параметрами, спросом на продукты переработки, географическим положением.

Однако невозможность получения чугуна из жидких шлаков и высокая стоимость электротермической обработки твердых шлаков, в сочетании со сложностью выделения меди из железомедных сплавов или медистых чугунов делают это направление малоэффективным.

Для исследования измельчаемости гранулята использовалась лабораторная мельница. Загрузка мельницы по шарам составляла 7 кг, по шлакам 1 кг. После измельчения в течение определенного времени измельченные грануляты подвергались ситовому анализу на наборе стандартных сит. Шаровая загрузка, скорость вращения и загрузка шлака были постоянными при всех опытах для наилучшего сопоставления данных.

Для опытно-промышленных испытаний технологии грануляции шлаков был разработан, изготовлен и смонтирован гранулятор (рис.1).

Грануляцию шлаков проводили в опытно-промышленном грануляторе с отбором шлака из желоба при выпуске и воздушной раздувкой для окисления сульфидов.

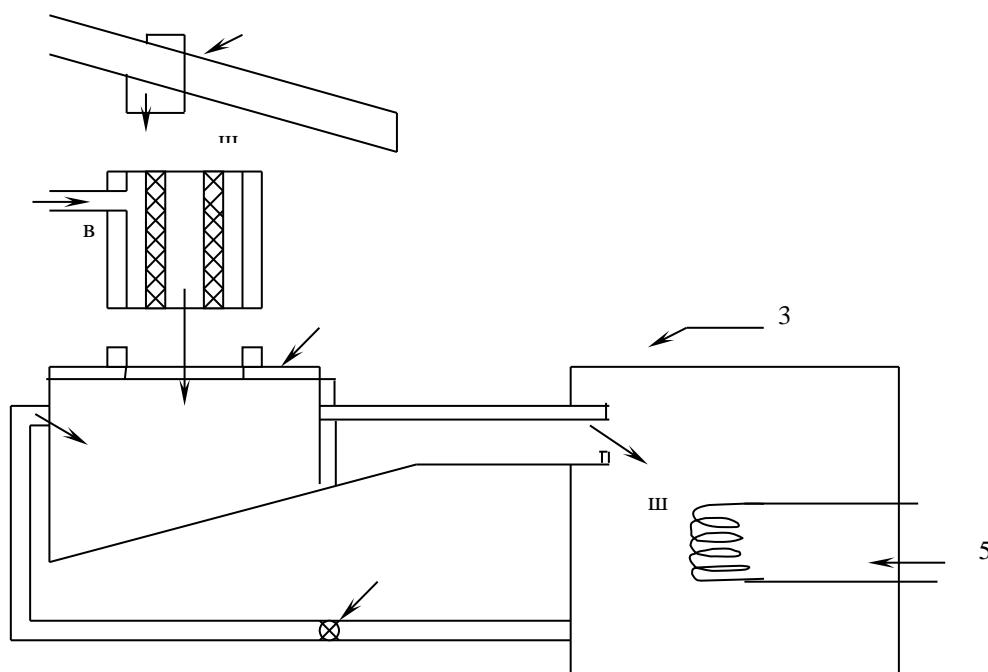


Рис. 1. Опытно-промышленный гранулятор: 1 – делитель струи; 2 – основной бак; 3 – дополнительный бак; 4 – насос для перекачивания известкового молока; 5 – охлаждающий змеевик.

Масса гранулированного шлака в каждом опыте составляла 20-30 кг и определялась некоторым количеством воды или 10%-го известкового молока в охладительном баке установки. На измельчение были отобраны навески массой 4 кг. Продолжительность измельчения составляла 10-60 мин.

В связи со значительной стоимостью строительства грануляционной установки, опытно-промышленные испытания были проведены на макетной установке периодического действия

бассейнового типа, ёмкостью по гранулирующему агенту  $\approx 5$  м<sup>3</sup>, производительностью по гранулируемому шлаку до 0,5 т за операцию.

В качестве бассейна использовалась отработавшая свой срок эксплуатации ванна для электролиза меди, которая была установлена на шлаковом отвале МПЗ АГМК. Схема опытно-промышленной установки и методика проведения опытно-промышленных испытаний приведена на рис. 2.

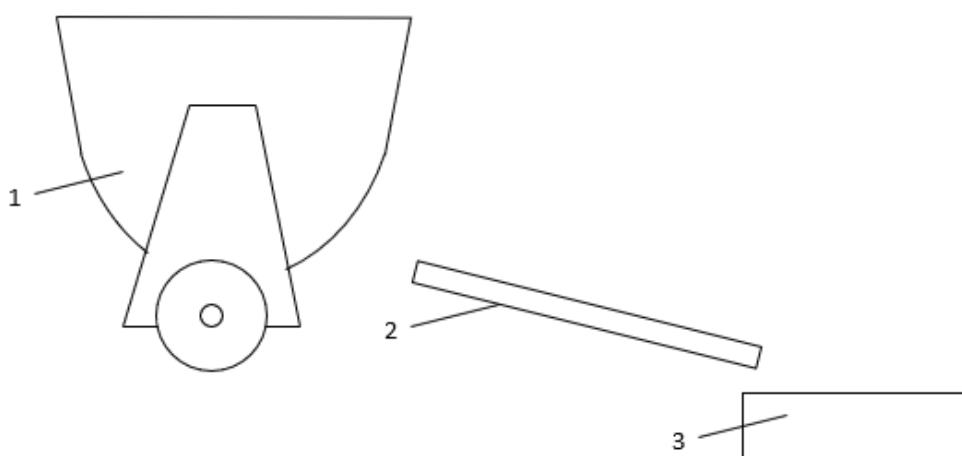


Рис. 2. Схема проведения опытно-промышленных испытаний по бассейновой грануляции шлаков:  
1 – шлаковозная чаша; 2 – желоб; 3 – грануляционный бассейн.

В бассейн заливали воду и готовили раствор известкового молока. Шлаки из шлаковозной чаши направляли в грануляционный бассейн по футерованному желобу.

После прекращения заливки и выдержки в течение 30-60 мин шлак изымали из бассейна и направляли на исследование качества грануляции и

измельчаемости. Для исследования величины десульфуризации шлака после грануляции использована лабораторная установка, схема которой изображена на рис. 3. Установка включает в себя герметичную емкость, куда поступает исследуемый шлак и поглощается сера из газов (NaOH, CaO) в специальном аллонже.

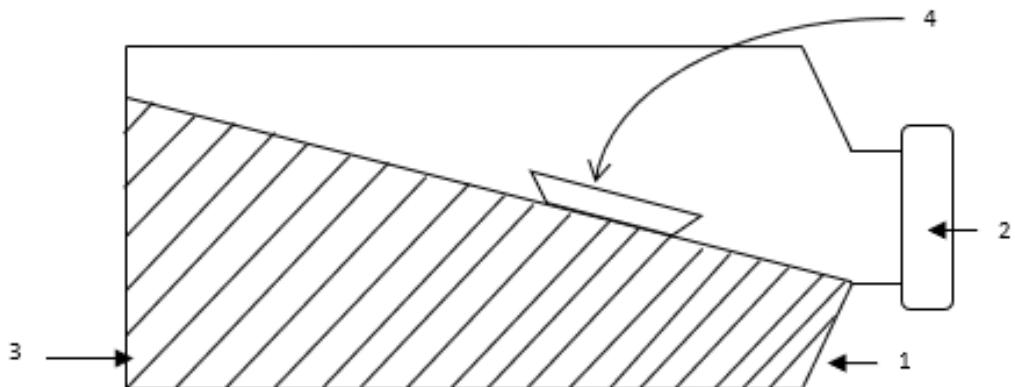


Рис. 3. Схема лабораторной установки для изучения десульфуризации шлака: 1 – емкость; 2 – герметичная крышка; 3 – шлак после грануляции; 4 – аллонж с навеской обожженнего мела.

Контроль температуры при грануляции осуществлялся оптическим пиromетром. Шлак подавали по канаве-желобу в грануляционный бассейн, где была установлена термопара, позволяющая определять температуру гранулирующего агента. При температуре выше 70°C эксперимент прекращали для недопущения закипания в ванне.

Во время испытаний варьировалось содержание Ca(OH)<sub>2</sub> в гранулирующем агенте, которое имело значения 0; 5; 7,5; 10%.

При оптимальном значении 7,5% грануляты исследовались на измельчаемость в сопоставлении с гранулятом водной грануляции. Все исследования грануляции проводились в течение 24 ч после проведения испытаний.

Таблица 1.

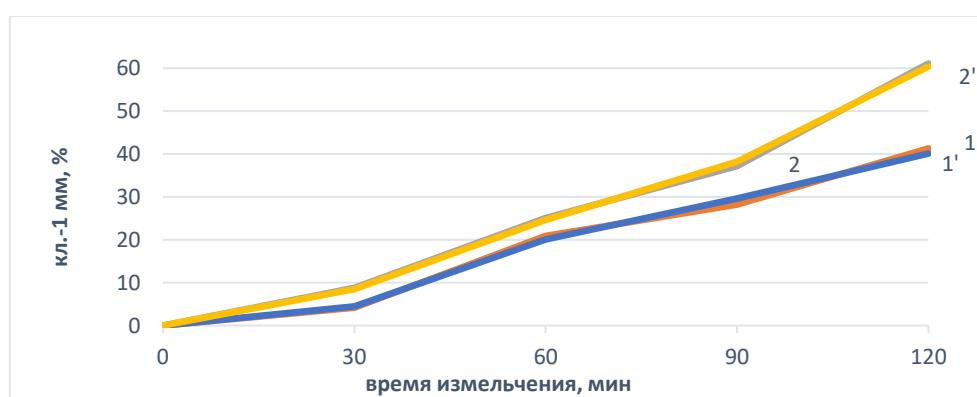
**Результаты опытно-промышленных испытаний бассейновой грануляции шлаков ОП при проведении ситового анализа через 30 суток после грануляции**

Температура шлака при грануляции, °C	Крупность гранул, мм	Содержание $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в гранулирующем агенте, %			
		0	5	7,5	10
1150-1175	+20	2,4	0,6	0,1	0,1
	+10	48,2	45,2	38,1	37,9
	+5	37,3	32,7	31,9	32,1
	+3	7,5	15,3	19,0	18,5
	+2	2,4	2,5	3,4	4,0
	+1	1,2	1,8	4,4	4,2
	-1	1,0	1,9	3,1	3,2
	Всего	100	100	100	100
1250-1270	+20	0,3	0,1	-	-
	+10	35,2	32,1	26,1	26,4
	+5	42,0	34,5	24,1	23,7
	+3	10,0	18,1	30,6	32,5
	+2	4,1	4,4	5,2	5,6
	+1	4,2	5,3	7,1	7,0
	-1	4,2	5,5	6,9	6,8
	Всего	100	100	100	100

Определение возможности образования  $\text{SO}_2$  (десульфуризации) в твердых шлаках было подробно изучено авторами данной статьи.

Термодинамика реакции типа  $\text{MnSm} + \text{Mef} + \text{Me} + \text{SO}_2 \uparrow$  имеет возможность протекать ниже с 500-600°C, в то время как затвердевание шлака оканчивается при 700-800°C, кроме того, при грануляции верхняя часть шлаковых кусков изначально находится в твердом состоянии из-за закалки. Для проверки возможного разрушения кусков гранулята за счет внутреннего давления газа, сразу после грануляции его подвергали исследованию по десульфуризации (газообразованию). Было проведено 4 опыта со шлаком КФП и 4 опыта со шлаком ОП,

гранулированных при разных температурах. Было показано, что десульфуризация при охлаждении имеет место, но в крайне незначительных количествах, ее наличие можно установить только качественно, количественную характеристику получить не удалось. Результаты опытно-промышленных испытаний по грануляции шлаков КФП и ОП показали соответствие с теоретической концепцией. Лабораторные опыты также подтвердили правильность выбранного процесса в соответствии с критерием измельчения – выход класса -1 мм, по результатам исследований измельчаемости были построены графики, представленные на рис. 4-6.



*Рис. 4. Выход класса -1 мм в зависимости от времени измельчения для шлаков ОП и КФП, гранулированных в воде при 1150-1170°C и 1250-1270°C (в течение 24 ч после грануляции): Шлак ОП: 1 – 1150-1175°C; 2 – 1250-1270°C; Шлак КФП: 1' – 1150-1175°C; 2' – 1250-1270°C.*

Как видно из представленных материалов, оптимальное содержание  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в известковом молоке 7,5%. Увеличение температуры, а, следовательно, и снижение вязкости приводит к улучшению качества грануляции. Фиксированный состав шлаков не позволяет, как в случае с синтетическими шлаками, разделить влияние температуры и вязкости.

Результаты опытно-промышленных испытаний близки к результатам маломасштабных опытно-промышленных испытаний.

Грануляция в воде хуже, чем грануляция в известковом молоке во всех случаях.

Измельчаемость шлаков возрастает с ростом температуры, при которой проводится грануляция.

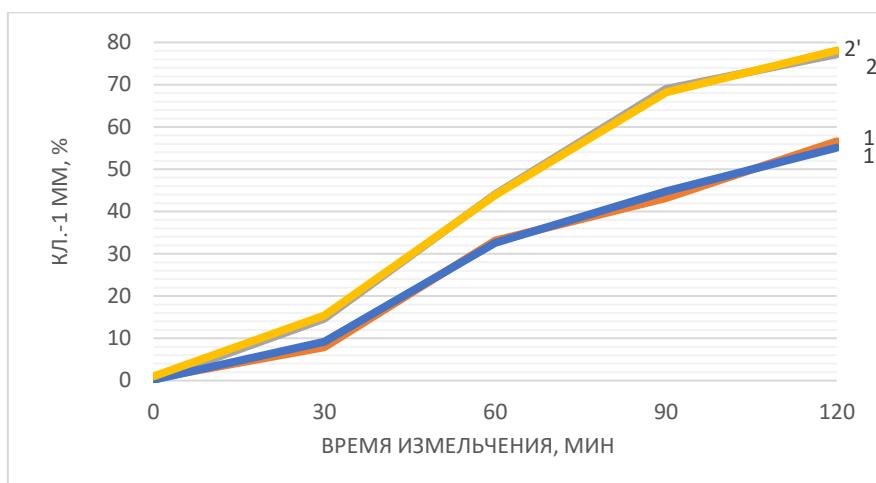


Рис. 5. Выход класса -1 мм в зависимости от времени измельчения для шлаков ОП и КФП, гранулированных в известковом молоке при 1150-1170°C и 1250-1270°C (в течение 24 ч после грануляции). Шлак ОП: 1-1150-1175°C; 2-1250-1270°C; Шлак КФП: 1'-1150-1175°C, 2'-1250-1270°C.

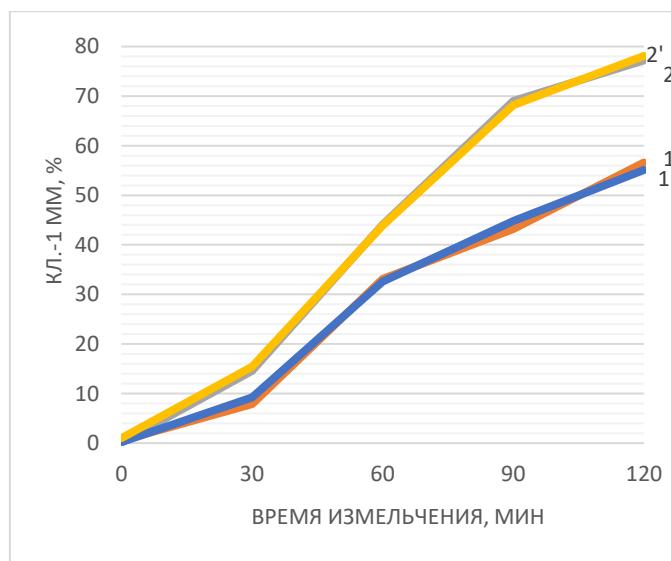


Рис. 6. Выход класса -1 мм в зависимости от времени измельчения для шлаков ОП и КФП, гранулированных в известковом молоке при 1150-1170°C и 1250-1270°C (в течение 30 ч после грануляции). Шлак ОП: 1-1150-1175°C, 2-1250-1270°C. Шлак КФП: 1'-1150-1175°C, 2'-1250-1270°C.

Таким образом, результаты опытно-промышленных испытаний хорошо согласуются с результатами лабораторных опытов, за исключением исследования полусухой грануляции, которое в промышленных масштабах опробовано не было из-за отсутствия необходимого оборудования и значительных затрат на его создание.

Самоизмельчение шлаков при температуре выдержки действительно имеет место, и фракционный состав при этом действительно лучше, чем сразу после окончания грануляции. При

этом эффект самоизмельчения несколько возрастает с ростом температуры.

Однако суммарная измельчаемость шлаков при отсутствии самоизмельчения практически не меняется, это говорит о том, что энергия термических напряжений может быть использована как вовремя, так и до измельчения примерно с одинаковым результатом.

Проверка заторможенной десульфуризации на закаленных шлаках показала, что ее величина крайне незначительна (количественного значения получить не удалось, хотя она и имеет место),

поэтому ее влияние на измельчаемость не является значимым.

Самоизмельчению, с образованием мелких фракций, в основном подвергаются крупные фракции, средние фракции практически не самоизмельчаются.

Обсуждение результатов приведено выше. Для подтверждения полученных результатов на промышленных шлаках КФП и ОП были проведены лабораторные исследования:

- гранулируемости шлаков КФП и ОП в воде и известковом молоке при заливке в гранулятор свободной струей (маломасштабные опытно-промышленные испытания с использованием отбора шлака из струи промышленной печи и укрупненного лабораторного гранулятора);

- гранулируемости шлаков в зависимости от толщины струи при 1200 и 1300 °C;

- полусухой грануляции шлаков КФП и ОП с измельчением полученных гранулятов.

В других главах приведены результаты опытно-промышленных испытаний по грануляции шлака в воде и известковом молоке с изучением его последующей гранулируемости.

Был установлен эффект дополнительной самоизмельчаемости шлака и показано, что в основном он связан с использованием энергии термических напряжений, законсервированных при закалке на дробление крупных фракций шлака.

Таким образом, изучая процесс грануляции после термогравитационного обеднения жидких шлаков медного производства, проводя множество лабораторных и опытно-промышленных испытаний, авторы пришли к следующим выводам:

Показатели полусухой грануляции, при которых формирование гранулятов связано с механической разбивкой струи гранулирующим агентом, лучше, чем показатели бассейновой грануляции, с точки зрения качества гранулята, однако выше и энергозатраты.

Теоретический анализ показывает, что грануляция шлаковой струи может происходить либо механически (полусухая грануляция), либо путем разрушения кусков шлака термическими напряжениями, возникающими при его быстром охлаждении.

Для повышения эффективности грануляции необходимо, чтобы процесс грануляции происходил на возможно меньшей поверхности контакта между шлаком и гранулирующим агентом, с целью предотвращения турбулизации контактного слоя. Снижение параметров теплообмена приведет к бесполезному расходованию механической энергии струи на турбулизацию охлаждающего агента вместо грануляции. В то же время удельная поверхность контакта между шлаком и охлаждающим агентом должна быть больше на единицу массы шлака для интенсивного теплообмена.

Для максимизации теплообмена и улучшения разрушения шлаковой струи при контакте с гранулирующим агентом требуется снижение вязкости шлака и увеличение его прилипаемости к

охлаждающему агенту, т.е. шлак и охлаждающий агент должны обладать высокой взаимной смачиваемостью или низкой величиной межфазного натяжения.

Необходимым свойством интенсификации теплообмена за счет более высокой смачиваемости по сравнению с водой обладают многие охлаждающие агенты, но с точки зрения экономичности и доступности в условиях АО «Алмалыкский ГМК» наиболее рациональным является использование известкового молока.

Лабораторные и маломасштабные промышленные опыты по грануляции шлаков КФП и ОП показали практически те же результаты, что и лабораторные опыты по грануляции синтетических шлаков. Гранулируемость шлаков в этом случае повышается со снижением вязкости и ростом температуры, так же как и измельчаемость гранулята, разделение факторов методически не представляется возможным. Дополнительные опыты по влиянию толщины струи на качество гранулята при температуре 1200-1300°C подтверждают, что оно увеличивается с ростом температуры и уменьшением толщины струи. Показатели грануляции в известковом молоке выше, чем в воде.

Опытно-промышленные испытания грануляции шлаков КФП и ОП на полупромышленной бассейновой грануляционной установке МПЗ АГМК показали те же закономерности, что и лабораторные исследования, а также исследования грануляции на опытно-промышленном грануляторе. Оптимальное содержание  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в известковом молоке 10%. Результаты грануляции в воде хуже, чем в известковом молоке. Испытания проводились при температурах 1150-1170°C и 1250-1275°C.

Установлен эффект частичного самоизмельчения крупных фракций шлаков. Самоизмельчение крупных кусков происходит под действием законсервированных при закалке крупных фракций термических напряжений. Суммарная эффективность измельчения при этом не изменяется, поскольку энергия термических напряжений расходуется на разрушение шлаковых кусков, производя одинаковое измельчение их до размола или во время размола.

Исходя из ранее изложенных результатов, можно рекомендовать создание на МПЗ АГМК опытно-промышленной установки по полусухой грануляции после модифицированной отражательной плавки и после термогравитационного обеднения шлаков КФП. Наиболее оптимальной технологией грануляции будет полусухая грануляция в известковом молоке, но для подтверждения этого требуются дополнительные опытно-промышленные испытания. Для их проведения необходимо проектирование, монтаж и наладка опытной установки, что выходит за рамки настоящей работы.

**Литература:**

Состояние, перспективы и технико-экономические показатели производства меди за рубежом. ЦНЦМЭИ, 1988.

Прохоренко Г.А., Санакулов К.С., Хасанов А.С., Атаканов А.С. Комплексная переработка шлаков с получением меди, железа и других металлов пирометаллургическим способом: Тезисы докладов на конференции г. Алматы. 20.04.2002г. – с. 24-26.

Гончаров С.И., Лукомская Г.А., Хасанов А.С. Получение железа из отвальных шлаков МПЗ способом электродуговой плавки // Республиканская конференция, –Ташкент, 2001 г.

Пашинкин А.С. Комплексное использование минерального сырья// 1984. №1. С. 46-48.

Юсупходжаев А.А., Хасанов А.С. Некоторые вопросы переработки шлаков МПЗ АГМК // ЦНИИ цвет.мет.эконом.информации, М. 1986. № 3 (173) 158 с.

Попель С.И., Сотников А.И., Бороненков В.И. Теория металлургических процессов. М.: Металлургия. 1986. 463 с.

Санакулов К.С., Хасанов А.С., Мамасидикова Р.А., Аскаров М.М. Переработка клинкера АЦЗ АГМК с получением меди и углеродсодержащего материала Ташкент. 2001. С. 39-40.

Хасанов А. С., Толибов Б. И. Исследование возможности процесса окисления сульфидных материалов в печи для интенсивного обжига // Горный журнал №9, 2018. –С85-89. <http://www.rudmet.ru/journal/1758/article/30103/> DOI: 10.17580/gzh.2018.09.14.

A.S.Hasanov, B.I.Tolibov, F.G.Pirnazarov. Advantages of low temperature roasting of molybdenum cakes // International correspondence scientific and practical conference “International scientific review of the problems and prospects of modern science and education”. Boston, USA, 2019. – P17-19. <https://cyberleninka.ru/article/n/advantages-of-low-temperature-roasting-of-molybdenum-cakes>

---

## АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ МИКРОКЛИМАТА ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ С ПОРЦИОННОЙ СИСТЕМОЙ ПОДАЧИ ВОЗДУХА И ЛОКАЛЬНЫМИ СРЕДСТВАМИ ЭЛЕКТРООБОГРЕВА

---

**Туник Василий Анатольевич**

Бакалавр 4 курса факультета энергетики  
Кубанского Государственного  
Аграрного Университета.

**Хазнаферова Наталья Викторовна**

Бакалавр 4 курса факультета энергетики  
Кубанского Государственного  
Аграрного Университета

**Мкртчян Вануш Аведисович**

Бакалавр 4 курса факультета энергетики  
Кубанского Государственного  
Аграрного Университета

В современном промышленном животноводстве с высокой плотностью содержания животных актуальна задача перевода существующих технологий на безотходный цикл содержания крупного рогатого скота в животноводческих помещениях. При существующих уровнях энергопотребления в сельскохозяйственном производстве в настоящее время более 30 % электроэнергии потребляется на обогрев животноводческих и птицеводческих помещений в осенне-зимний периоды года.

Отечественная промышленность выпускает следующие типы отопительно-вентиляционных установок для создания нормативного микроклимата в станках с животными: паровые котлы сельскохозяйственного назначения, которые могут работать на жидкое топливо КВ - 300 М, КВ - 300 У, КВ - 300 Л, на твердом топливе КТ - Ф - 300 и на природном газе КГ - 300, Д - 721 А. Хотя котлы и нашли широкое распространение в качестве средств отопления животноводческих помещений, они имеют ряд существенных недостатков: низкий КПД котлов из-за больших потерь на теплотрассах составляет 50 - 60 %. [1] Следовательно, это

приводит к нерациональному расходу высококачественного топлива; для перевозки топлива необходим транспорт, для хранения - специальные склады; без применения теплоаккумуляторов при периодическом сжигании топлива в течение суток возможны резкие колебания температуры; при эксплуатации котлов требуется постоянное присутствие обслуживающего персонала, что ведет к значительному увеличению трудозатрат. Промышленностью выпускаются теплогенераторы серии ТГ, которые имеют более высокий КПД, чем у котлов и могут полностью работать в автоматическом режиме. В остальном им свойственны те же недостатки, что и котлам сельскохозяйственного назначения. [2]

В сельском хозяйстве до недавнего времени применялась приточно-вытяжная установка типа ПВУ. Этой установке присущи следующие недостатки: нельзя правильно выбрать число ПВУ одновременно по расходу воздуха и теплоты; достаточно применять приточную механическую вентиляцию, а вытяжная - шахты естественной вентиляции (более дешевые); характерна малая