

Энергоэффективная технология сушки песка в аппарате с псевдооживленным слоем

Хвастухин Ю.И., Костогрыз К.П.

Институт газа НАН Украины, Киев

Проведен анализ существующих технологий сушки песка. Приведены данные по энергозатратам при сушке песка с использованием различных технологий. Приведены результаты исследований разработанной линии сушки и классификации песка с аппаратом псевдооживленного слоя желобного типа. Указаны пути решения технологических проблем в аппаратах псевдооживленного слоя для сушки песка. Описана технологическая линия с низким потреблением топлива для сушки песка и удаления из него мелкой фракции.

Ключевые слова: сушка песка, аэродинамическая классификация, энергоэффективность, аппарат с псевдооживленным слоем.

Проведено аналіз існуючих технологій сушіння піску. Наведено дані щодо енерговитрат при сушінні піску з використанням різних технологій. Наведено результати досліджень розробленої лінії сушіння та класифікації піску з апаратом псевдозрідженого шару желобного типу. Вказано шляхи вирішення технологічних проблем у апаратах псевдозрідженого шару для сушіння піску. Описано технологічну лінію з низькими витратами палива на сушіння піску та видалення з нього дрібної фракції.

Ключові слова: сушіння піску, аеродинамічна класифікація, енергоефективність, апарат з псевдозрідженим шаром.

Растущие требования к качеству продукции, высокая конкуренция на рынке и увеличение стоимости энергоносителей вызывают необходимость повышения эффективности производства. Это касается не только внедрения энергоэффективных технологий, но и повышения технологичности оборудования. В этой связи разработка новых высокоэффективных и энергосберегающих технологий сушки дисперсных материалов как одного из наиболее энергозатратных процессов является актуальной.

Сухие строительные смеси (ССС) появились на украинском рынке в конце 1990-х гг. и быстро его завоевали. С их помощью выполнение строительных работ ускоряется в несколько раз, кроме того, смеси очень удобны в применении. Они в несколько раз превышают технические возможности обычных растворов, поэтому за несколько лет превратились в продукт массового потребления. В октябре 2006 г. введены в действие новые нормы на строительные смеси [1], в которых предъявляются достаточно суровые требования к составу и свойствам готовой продукции, а также регламентируются методы производства и применения ССС. В 2007 г. темпы роста отечественной строительной отрасли составляли не менее 42 % [2].

При сушке песка для производства ССС наряду с достижением конечной влажности не

более 0,2 % ставится задача отделения мелкодисперсной глины и мелкой песчаной пыли (< 63 мкм) от исходного сырья. Присутствие глины приводит к образованию трещин в оштукатуренной поверхности. Мелкая фракция кварцевого песка 0,1 мм является ценным продуктом, особенно для ССС, а при отделении глинистой фракции на стандартных промышленных грохотах она может быть утеряна. Кроме того, часть глины достаточно прочно держится на поверхности частицы кварцевого песка и для ее отделения необходимо использовать оттирание. В псевдооживленном слое процессы оттирания и отдува идут параллельно.

Аналогичная проблема существует и в литейном производстве [3]. Наиболее широко применяемым способом получения отливок являются песчаные формы. От их прочности при высоких температурах и физико-химического взаимодействия с жидким металлом зависит качество получаемых отливок. В свою очередь, качество форм определяется в основном качеством формовочных песков: величиной их зерен, содержанием в них глины и вредных примесей, соотношением между размерами зерен и др. Примеси в песке снижают адгезию связующего к поверхности песчинок, что влечет за собой неоправданное увеличение его содержания в

смеси. При этом снижается прочность и растет газотворность смеси, увеличивается опасность разупрочнения форм жидким металлом, что приводит к ухудшению качества отливок.

Для уменьшения содержания связующего, повышения прочности смеси и уменьшения ее разупрочнения при контакте с жидким металлом применяют обогащенные пески после удаления из них глины, вредных примесей и пылевидной фракции, что делает их в 2 раза дороже природных.

При производстве стекла нежелательным элементом в составе шихты являются оксиды железа. По мере выработки существующих карьеров с низким содержанием железа проблема становится все острее. Существующие технологии магнитной сепарации малоэффективны, поскольку оксиды железа прочно держатся на поверхности крупинок кварца и в кавернах. Химическое обезжелезивание, как и флотационное обогащение, является затратным и неэкологичным [4].

Приведенное выше свидетельствует о необходимости разработки энергоэффективной технологии сушки и сепарации песка, что является актуальной проблемой для различных отраслей промышленности.

На производствах ССС исходный песок может иметь начальную влажность до 15 % и содержать в качестве примесей глинистые, пылеватые частицы и крупнозернистые включения. К обогащенному песку предъявляются следующие требования: влажность — не более 0,2 %; температура — не более 50 °С; определенный фракционный состав; отделение мелкодисперсной (менее 63 мкм) пылевидной фракции, преимущественно состоящей из глины, и сохранение при этом фракции ≥ 100 мкм.

Таким образом, линия подготовки песка (рис.1), кроме сушильного аппарата, в качестве которого, как правило, используются вращающиеся барабаны, должна быть обеспечена холодильником для охлаждения песка и системой барабанных сит или грохотов. Недостатками такой технологической линии будут повышенный расход топлива на сушку во вращающемся бараба-

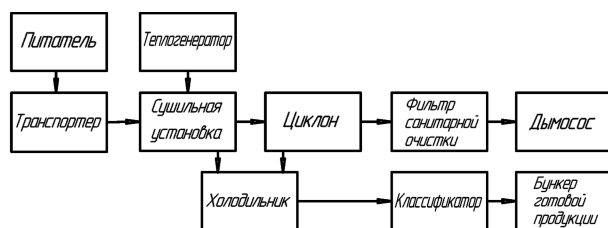


Рис.1. Технологическая схема производства сухого обогащенного песка.

не, большой расход энергии на приводы сушилки и холодильника, проблемы с отсевом мелкой глинистой фракции на ситах и значительные размеры занимаемого пространства.

Существуют альтернативные технологии обогащения и сушки песка. Так, Украинская горная компания (г. Днепропетровск) для сушки предлагает использовать вибрационную сушильную установку, нагрев воздуха в которой осуществляется газовой горелкой WG-30 компании Weishaupt (Германия) мощностью 350 кВт. Обогащение песка предлагается проводить на вибрационных грохотах ГВМ или центробежном классификаторе ЦК.

ЗАО НИПКБ «Стройтехника» (Санкт-Петербург, Россия) предлагает аналогичную технологию с сушилками виброкипящего слоя ВКС и виброобеспылителем или пневмокласификатором, который является также холодильником для продукта.

Сушилки с виброкипящим псевдооживленным слоем изготавливает и ООО «Консит-А» (Москва) — одна из ведущих организаций, разрабатывающих вибросушилки для пищевой и медицинской промышленности. Для производства ССС эта фирма рекомендует в качестве сушильного агрегата использовать вращающийся сушильный барабан [5], так как в вибросушилках не возможно использовать высокотемпературный теплоноситель.

ЗАО «Урал-Омега» (г. Магнитогорск, Россия) в качестве классификатора предлагает использовать каскадно-гравитационные классификаторы (так называемый воздушный классификатор «Зиг-заг» [6]) и заявляет о «практически» 100 %-м выделении фракции 5 мкм.

Аналогичную линию с каскадно-гравитационными классификаторами более простой конструкции предлагает ООО «НПП Баскей» (г. Новосибирск, Россия). Для сушки продукта предлагается использовать вихревую мельницу-сушилку. Для осаждения оставшегося после отделения крупных фракций продукта используются аппараты со встречными закрученными потоками (ВЗП).

ПТПФ «Новотех» (г. Артемовск) предлагает для сушки различных сыпучих продуктов аппарат с псевдооживленным слоем, который используется для сушки поваренной соли. Температура сушильного агента на входе в аппарат с псевдооживленным слоем не превышает 250 °С, начальная влажность поваренной соли не должна превышать 4–6 %. Аппарат работает с существенным выносом частиц < 200 мкм.

Экономическая эффективность сушильных комплексов с использованием вибрационных

сушилок или вихревых аппаратов вызывает сомнение, поскольку для сушки используется низкотемпературный теплоноситель 250 °С, а снижение температуры отработанных газов ниже 80–90 °С невозможно, поскольку на этапе санитарной очистки возможно образование конденсата. Очевидно, что КПД таких сушильных агрегатов не может быть высоким.

Для работы вихревых аппаратов необходимо весьма высокое давление в воздухоподводящих магистралях (то есть в качестве дутьевых машин необходимо использование высокомогущных воздуходувок, имеющих также высокую стоимость), с чем связан повышенный расход электроэнергии.

В линиях сепарации с каскадно-гравитационными классификаторами невозможно регулировать тепловую мощность подогревателя теплоносителя, поскольку при этом будет изменяться скорость в воздуховедущих трактах системы осаждения продукта, из-за чего снизится качество фракционирования. Отсутствие такого регулирования в зависимости от влажности поступающего на сушку продукта вызовет перерасход топлива. Кроме того, вихревые сушилки не способны работать на высоковлажном сырье (выше 12 %) из-за изменения аэродинамики в аппарате, связанной со слипанием частиц материала. Введение активаторов-мешалок усложнит аэродинамику и снизит надежность аппарата из-за наличия трущихся частей и возможного попадания внутрь аппарата крупных плотных кусков породы (например, камней). Сложная аэродинамика, насыщенность аппаратами, каждому из которых в разных условиях необходим определенный аэродинамический режим, делает настройку сушильно-сепарационного комплекса сложной задачей. Вероятна также возможность возникновения непредсказуемых аэродинамических эффектов при длительной эксплуатации или после ремонта, которые способны сделать линию неработоспособной [7]. Все выше перечисленное делает рассматриваемые технологические линии не самым лучшим выбором для сушки и сепарации песков.

За рубежом ситуация аналогичная. Предлагаются вращающиеся сушильные барабаны, сушилки с вибропсевдооживленным слоем, мельницы-сушилки или обезвоживающие грохота. Так, карьерная сушилка песка с псевдооживленным слоем номинальной производительностью до 50 т/ч предлагается фирмой Specialprojects Ltd. Сушка ведется теплоносителем с температурой до 222 °С, который вырабатывается теплогенератором мощностью 9 МВт, предусмотрена рекуперация тепла отходящих газов.

Удельный расход тепла в пересчете на природный газ (около 18 м³ природного газа на 1 т песка) превышает расход газа при сушке во вращающихся барабанах, что вызвано низкой температурой теплоносителя и соответственно низким КПД.

Институтом газа для решения существующей проблемы по сушке и обеспыливанию песка для нужд различных производств предложено разработать технологическую линию сушки с использованием аппаратов с псевдооживленным слоем желобного типа (АПСЖТ). Повышение энергетической эффективности (снижение расхода топлива) было решено обеспечить использованием для сушки максимально возможной температуры теплоносителя. Температура уходящих газов должна быть как можно ниже, но такой, чтобы не допустить образования конденсата. Поскольку АПСЖТ представляют собой вытянутый в длину желоб, по которому движется материал, продуваемый снизу горячим теплоносителем, в нем осуществляется процесс по принципу перекрестного тока [8]. Таким образом, температура отходящих дымовых газов будет ниже, чем у материала на выходе. Время нахождения материала в аппарате, достаточное для сушки до заданной остаточной влажности, регулируется количеством загружаемого продукта. При прохождении материала через желоб частицы материала трутся друг об друга, и с их поверхности удаляется глина, которая вместе с мелкой фракцией уносится проходящим через слой теплоносителем. Размер уносимых частиц зависит от скорости прошедшего через слой потока, зависящей от площади горизонтального сечения аппарата.

Для решения поставленной задачи были выполнены следующие работы: экспериментальное исследование аэродинамической классификации; экспериментальные исследования процесса сушки на лабораторной установке; проведение расчетов и разработка конструкции пилотной установки для сушки и обеспыливания песка.

Экспериментальное исследование аэродинамической классификации дисперсных материалов проводили на лабораторных установках Института газа. Цель исследования — определение возможности разделения исходного полидисперсного материала по фракциям и качеству такого разделения в аппарате желобного типа. Определяли также влияние на чистоту выделяемых фракций характерных особенностей материала, скорости псевдооживляющего потока, конфигурации аппарата и других конструктивных параметров классификатора.

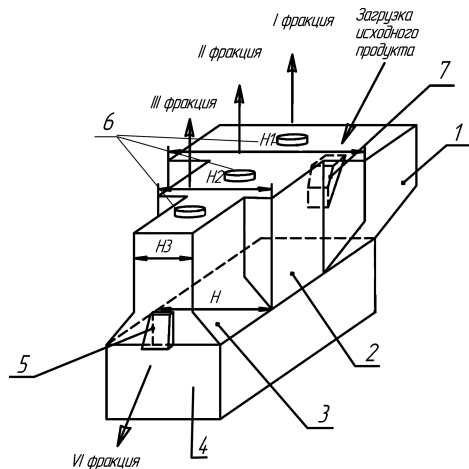


Рис.2. Принципиальная схема аэродинамического классификатора псевдооживленного слоя желобного типа: 1–3 – первая, вторая и третья сепарационные камеры; 4 – нижняя камера; 5 – выгрузочное устройство; 6 – отводящие запыленный газ патрубки; 7 – загрузочное устройство.

Все используемые в эксперименте аппараты имели конфигурацию [9], показанную на рис.2. Общей для всех аппаратов особенностью являлась нижняя камера, вытянутая в длину в виде желоба, поэтому нами предложено называть их «аппаратами желобного типа», в соответствии с классификацией С.С.Забродского [8], что также согласуется с американской терминологией. Нижняя камера отделена от рабочих сепарационных камер газораспределительной решеткой. Различными были количество сепарационных камер (зон классификации) и их ширина. Сепарационные камеры могли быть шире или уже нижней камеры. В зависимости от этого принято такое обозначение отношения скорости газа в сепарационном пространстве к скорости на уровне газораспределительной решетки: $j_1 = H_1/H$; $j_2 = H_2/H$; $j_3 = H_3/H$.

Полидисперсный материал подают в рабочую камеру классификатора через загрузочное устройство. Благодаря уменьшению поперечного сечения сепарационных зон по направлению от загрузки к выгрузке в первой зоне, где скорость воздушного потока наименьшая, выделяется самая мелкая фракция, в следующих секциях выделяются средние, а самая крупная выгружается через выгрузочное устройство в конце аппарата. Выделенные в сепарационных камерах фракции выносятся из аппарата воздушным потоком и осаждаются в циклонах.

В качестве материала для исследований использовали песок карьерный 2,5–0 мм (Беляевское месторождение, Одесская обл.) и 1–0 мм (Цюрюпинское месторождение, Херсонская обл.).

На рис.3 приведены результаты эксперимента, выполненного на лабораторной уста-

новке, по классификации песка Беляевского месторождения, особенно загрязненного глиной. С мелкой фракцией удалось отделить почти всю глину с содержанием оксидов железа. Полученный после классификации песок можно использовать для производства стекла.

Песок Цюрюпинского месторождения, представленный компанией «Хенкель-Баутехник Украина», предполагалось после сушки использовать в производстве сухих строительных штукатурных смесей. Здесь, кроме отдува глины (фракция < 0,063 мм), очень важно сохранить фракцию песка 0,1 мм, без которой нельзя получить высокое качество продукции.

Результаты рассева исходного песка на лабораторной установке показали, что при малых скоростях псевдооживления пики фракций выделяются более четко. Помимо рабочей скорости дутья, параметром влияния является отношение ширины сепарационного пространства к ширине рабочей камеры на уровне решетки для каждой из рабочих камер классификатора (j). Таким образом, габариты классификатора и рабочая скорость дутья могут быть подобраны для получения заданного размера частиц во фракции.

По результатам экспериментов была определена рабочая скорость для максимального выноса глинистой пылевидной фракции из песка Цюрюпинского месторождения. После этого был проведен эксперимент по сушке и параллельному отдуву глинистой фракции на опытной установке.

При сушке песка в опытной установке температуру в псевдооживленном слое поддерживали 110 ± 5 °С, под решеткой – 320 °С. По мере накопления слоя материала в аппарате началась выгрузка через переливной порог выгрузочного устройства. Одновременно из аппарата выносилась мелкая фракция песка и глинистых частиц, которая затем осаждалась в циклоне.

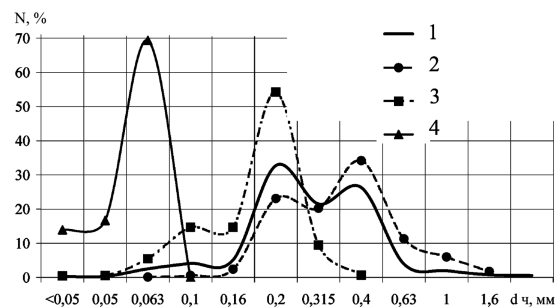


Рис.3. Дифференциальные кривые распределения частиц кварцевого песка N по размеру в аппарате с $j_1 = 1 : 4$, $j_2 = 1,75 : 1$ при скорости псевдооживления 0,375 м/с: 1 – исходный продукт; 2 – фракция I; 3 – фракция II; 4 – фракция III.

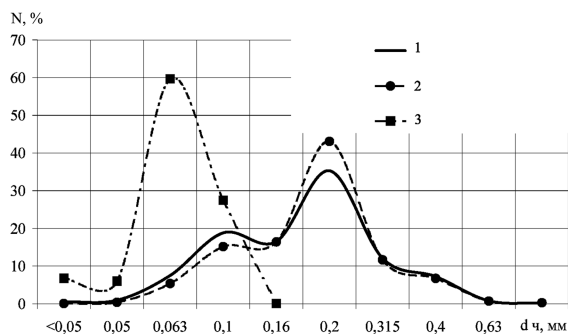


Рис.4. Дифференциальные кривые распределения частиц песка N по размеру при скорости псевдооживления $0,6 \text{ м/с}$ в опытной установке: 1 — исходный продукт; 2 — фракция I; 3 — фракция II.

После прекращения загрузки мокрого песка включали подачу газа и воздуха и осматривали рабочую камеру, чтобы определить, не образуются ли при сушке агломераты, в которых связкой является глина. Результаты гранулометрического анализа фракций высушенного и отсепарированного в опытной установке песка приведены на рис.4.

По результатам экспериментов были сделаны следующие выводы: а) температура в слое $110 \text{ }^\circ\text{C}$ достаточна для проведения процесса сушки: влажность песка на выходе не превышала $0,2 \%$; б) для сохранения товарной фракции $-0,1 \text{ мм}$ необходима установка в своде сушилки отбойной решетки; в) при загрузке влажного песка на горячую решетку в сушилку, в которой отсутствует псевдооживленный слой песка, наблюдалось образование завалов в результате слипания частиц между собой. При загрузке песка в сушилку, в которой уже существовал кипящий слой, завалов не было, однако в выгружаемом высушенном продукте содержались агломераты сухого песка размером $3\text{--}7 \text{ мм}$, которые рассыпались при легком нажатии.

Для проверки возможности предупреждения образования завалов в загрузочной части лабораторной установки были проведены эксперименты с использованием перемешивающего устройства. В результате было установлено, что введение в рабочую камеру перемешивающего устройства не решает полностью проблемы агломерации частиц песка. При загрузке сырого песка в пустую камеру сушилки с псевдооживленным слоем в результате контакта комков песка с горячей поверхностью газораспределительной решетки происходило мгновенное «схватывание» комков. Следовательно, загрузку сырого продукта необходимо осуществлять в уже существующий псевдооживленный слой нагретых песчинок, а также применять механический ворошитель.

С учетом этих замечаний была разработана сушилка песка с псевдооживленным слоем производительностью до 14 т/ч по сухому продукту, позволяющая параллельно с сушкой вести процесс отделения мелкой фракции песка и глинистой пыли [10, 11]. Отличительной особенностью сушилки является наличие в ее загрузочной части ворошителя и оборудование ее верхней части отбойной решеткой. Обязательным условием начала работы сушилки является наличие в рабочей камере псевдооживленного слоя из сухого прогретого песка. В производственных условиях это будет неполностью выгруженный из сушилки песок после остановки. Внешний вид сушилки показан на рис.5, ее технические характеристики приведены ниже.

С использованием разработанной в Институте газа проектной и рабочей конструкторской документации фирмой ООО «ТКС Сервис» был смонтирован комплекс для производства ССС, состоящее из трех технологических линий сушки песка производительностью по 14 т/ч , на заводе по производству сухих строительных смесей ООО с ИИ «Хенкель Баутехник Украина» в г. Цюрушинск Херсонской обл., а также производство в г. Николаев Львовской обл.

Технологическая линия сушки песка [12] приведена на рис.6. Сырой песок с питателя подается в загрузочную воронку сушилки, отку-



Рис.5. Сушилка песка в составе линии по производству сухих строительных смесей.

Технические характеристики сушилки песка

Производительность	—	$10\text{--}14 \text{ т/ч}$
Гранулометрический состав частиц	—	до 3 мм
Расход природного газа	—	до $160 \text{ м}^3/\text{ч}$
Расход воздуха	—	до $6500 \text{ м}^3/\text{ч}$
Температура сушки	—	$90\text{--}110 \text{ }^\circ\text{C}$
Удельный расход природного газа	—	$6,8\text{--}7,9 \text{ м}^3/\text{т}$
Начальная влажность продукта	—	$7\text{--}11 \%$
Конечная влажность продукта	—	$< 0,2 \%$
Габаритные размеры	—	$3,5 \times 2,8 \times 3,6 \text{ м}$

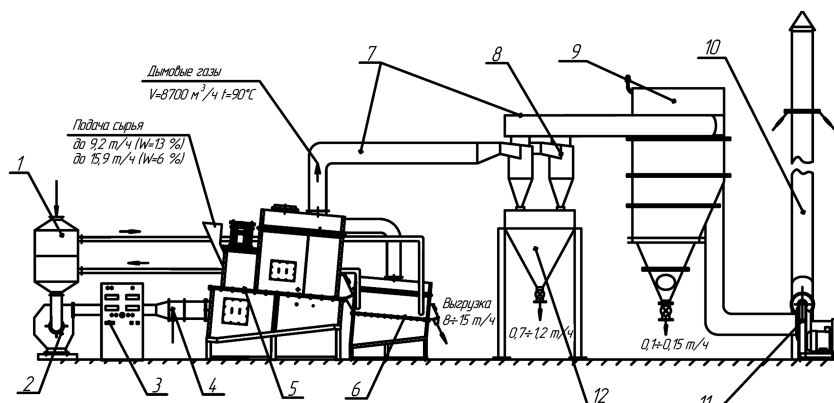


Рис. 6. Технологическая линия сушки песка с АПСЖТ: 1 – рекуперативный подогреватель; 2 – дутьевой вентилятор; 3 – щит автоматики; 4 – теплогенератор; 5 – сушилка с псевдоожиженным слоем; 6 – холодильник с псевдоожиженным слоем; 7 – воздухопроводы; 8 – групповой циклон; 9 – фильтр рукавный; 10 – труба; 11 – дымосос; 12 – бункер накопитель пыли.

да самотеком поступает в рабочую камеру. Для предупреждения слипания влажных частиц песка и образования агломератов в малой секции рабочей камеры сушилки установлен ворошитель. Вращающиеся стержни ворошителя разрушают образовавшиеся агломераты, препятствуя возникновению завалов. Сушка песка ведется струями горячего воздуха, выходящими из отверстий в колпачках газораспределительной решетки.

В нижнюю камеру сушилки песка горячий теплоноситель подается от теплогенератора ТГ-160, работающего на природном газе. Расход газа на теплогенератор регулируется системой автоматического управления, расположенной в щите автоматики.

Воздух на теплогенератор подается от дутьевого вентилятора. Предварительный подогрев воздуха (до 60 °С), поступающего на вентилятор, ведется в рекуперативном подогревателе, в который подается на охлаждение агент, используемый в холодильнике с псевдоожиженным слоем. Холодильник предназначен для охлаждения песка после сушилки.

Сушилка песка и холодильник имеют наклон 3–5° в сторону выгрузки, что обеспечивает

стабильное перемещение высушиваемого материала. Высушенный материал с влажностью 0,2 % пересыпается через переливной порог сушилки и перегружается в холодильник, в котором расположена охлаждающая трубная насадка. Пройдя через холодильник, сухой песок, охлаждается до 55–60 °С. Рабочая камера сушилки и холодильника кверху расширяются, благодаря чему уменьшается скорость потока, что препятствует выносу полезной фракции песка. Кроме того, в верхней части сушилки установлена отбойная решетка,

являющаяся сепаратором ударного действия и также предназначенная для предотвращения выноса полезной фракции. Скорость потока в верхней части рабочей камеры такова, что из нее выносятся частицы песка < 0,063 мм и частицы глины, которые отделяются от песка при соударении песчинок друг о друга в потоке струй теплоносителя.

Из сушилки отработанные газы вместе с мелкими частицами песка и глины удаляются по газоходу и поступают в батарейный циклон, составленный из четырех центробежных циклонов ЦН-15. В нем осаждаются 90 % частиц, вынесенных из слоя. Осажденный продукт накапливается в бункере.

Наиболее мелкие частицы, не уловленные в батарейном циклоне, по газоходу направляются в рукавный фильтр ФРИР-70. В нем дымовые газы, проходя через фильтровальные рукава, окончательно очищаются от пыли. Регенерация-встряхивание пыли с рукавов производится сжатым воздухом автоматически. После фильтра содержание пыли в дымовых газах не превышает 20 мг/м³. Дымовые газы дымососом ДН-10 удаляются через дымовую трубу в атмосферу.

Технико-экономические показатели технологических линий по сушке и обогащению песка

Тип сушильного аппарата	Удельные затраты тепла на сушку, кДж/кг влаги	Расход топлива		Объемное напряжение по влаге, кг/(м³·ч)	Удельный расход электроэнергии, кВт/т сырья
		мазут, кг/т влаги	природный газ, м³/т влаги		
Сушильный барабан	4200–5800	104–143	118–163	50–100	4,6–8
Сушилка кипящего слоя традиционной формы	5000–6500	123–161	141–183	150–200	4,9–8,3
Сушилка виброкипящего слоя	4000–5000	99–124	113–141	150–200	5,08–8,8
Виброгрохот Ultimate Screener	2800–3000	69–74	79–84	1000	нет данных
Сушилка-классификатор с псевдоожиженным слоем желобного типа ИГ	2600–2900	64–72	73–82	200–250	4,5–6,0
Мельница-сушилка «Баскей»	3300–4000	82–99	93–113	600–800	10,2–13,3

Удельные затраты топлива на сушку песка в разработанной установке на 15–30 % ниже, чем во вращающейся барабанной сушилке. Это достигается вследствие реализации схемы теплообмена перекрестного тока в псевдооживленном слое желобного типа, в результате чего средняя температура уходящих дымовых газов на 30 °С ниже температуры высушенного песка, и подогрева на 25–30 °С воздуха на входе в дутьевой вентилятор. Температура уходящих газов в барабанных прямоточных сушилках на 30–40 °С выше температуры высушенного материала.

Для сравнения в таблице приведены технико-экономические показатели технологических линий по сушке и обогащению песка производительностью 10 т/ч и начальной влажностью 10%. Теплотворная способность природного газа — 35485 кДж/м³, мазута — 40400 кДж/кг.

Очевидно преимущество линии с сушилкой псевдооживленного слоя желобного типа. Малые расходы имеют также виброгрохот с подсушкой Ultimate Screener и мельница-сушилка «Баскей». Однако, на виброгрохоте низкие удельные расходы топлива были получены, по-видимому, при подсушке маловлажного песка, а мельница-сушилка имеет большие расходы электроэнергии.

Список литературы

1. ДСТУ-П Б В.2.7-126:2006. Будівельні матеріали. Суміші будівельні сухі модифіковані. Загальні технічні умови. — Введ. 27.04.06, пак. № 149.
2. Максютя С. Обзор рынка сухих строительных смесей // Конкретно о строительстве. — 2009. — № 1–2. — С. 16–19.
3. Шуляк В.С. Литье по газифицируемому моделям. — СПб.: НПО «Профессионал», 2007. — 408 с.
4. Ткачев П.П., Хайт О.Д. Сырье, оптимизация промышленных составов шихт и стекол (SiO₂–R₂O₃–RO–R₂O) с целью снижения себестоимости и улучшения качества продукции. Некоторые проблемы управления качеством продукции // Сб. докл. IX Междунар. семинара «Применение магнитных сепараторов в промышленности», г. Ровно, Укр., янв. 2005 г. — Ровно: НПФ «Продэкология», 2005.
5. Чурилин Б.Б., Захарова Е.Б., Зайцева И.В. Комплект оборудования по производству ССС производительностью до 20000 тонн в год // Строит. материалы. — 2003. — № 8. — С. 81–82.
6. Jordan C.E., Sullivan G.V., Davis B.E. (1980). Pneumatic Concentration of Mica Report of Investigation R18457. U. S. Bureau of Mines. — 24 p.
7. Сизиков С.А., Вяткин Г.М. Оборудование для производства сухих строительных смесей // Строит. материалы. Technology: Прилож. № 2. — 2003. — № 11. — С. 1–20.
8. Забродский С.С. Гидродинамика и теплообмен в псевдооживленном слое. — М.; Л.: Госэнергоиздат, 1963. — 488 с.
9. Пат. 51157 А Укр., МКІ7 В 07 В 4/08, F 26 В 17/10. Установка для розподілу дрібнодисперсних матеріалів у псевдозрідженому шарі / Ю.І. Хвастухін, М.К.Когута, С.М.Роман, Л.В.Алексеева. — Опубл. 15.11.02, Бюл. № 11.
10. Хвастухин Ю.И., Костогрыз К.П., Собченко В.В., Собченко А.А. Аппараты с псевдооживленным слоем в производстве теплоизоляционных материалов // Тез. докл. V Междунар. конф. «Проблемы промышленной теплотехники», Киев, 22–26 мая 2007 г. — Киев: Ин-т техн. теплофизики, 2007. — С. 229–230.
11. Пат. 33768 Укр., МКІ8 F 26 В 17/10, F 26 В 17/20. Установка з псевдозрідженим шаром для сушіння сипучих вологих матеріалів / Ю.І.Хвастухін, М.К.Когута, К.П.Костогрыз та ін. — Опубл. 10.07.08, Бюл. № 13.
12. Пат. UA 32265 А Укр., МКІ8 F 26 В 17/10. Сушарка для сипких матеріалів / О.В.Завірюха, Ю.І.Хвастухін. — Опубл. 12.05.08, Бюл. № 9.

Поступила в редакцию 26.02.10

Energy Efficiency Technology of Sand Drying in Fluidized Bed Apparatus

Khvastukhin Ju.I., Kostogryz K.P.

The Gas Institute of NASU, Kiev

The analysis of available sand drying technologies is conducted. The data of power and fuel consumption for different technologies of sand drying are resulted. The investigation results of the developed drying and sand grading line with fluidized bed channel type apparatus are adduced. The methods of solution of technological problems in fluidized bed sand drying apparatus are indicated. The technological line of sand drying and crushed fines removing with low fuel consumption is described.

Key words: sand drying, aerodynamical classification, energy efficiency, fluidized bed apparatus.

Received February 26, 2010