

# Разработка технологии обезвоживания тонких продуктов гидрометаллургического обогащения с применением излучения сверхвысокой частоты

**Н.А. Дубов**, заместитель директора по развитию АО «КАНЕКС ТЕХНОЛОГИЯ»

**К.К. Кадыров**, начальник производственно-технического отдела АО «Хиагда»

**Специалисты машиностроительной группы «КАНЕКС» предложили инновационную технологию сушки продуктов обогащения – с применением СВЧ-энергии, которая отличается большей эффективностью передачи энергии и высоким КПД.**

**Н**а сегодняшний день существует множество методов обезвоживания продуктов обогащения. Суть большей части сводится к прямому взаимодействию твердой фракции с теплоносителем, будь то нагретые элементы теплообменного устройства или подогретый газ. Являясь широко распространёнными, эти методы тем не менее обладают рядом недостатков, в первую очередь серьёзными относительными теплотерями, происходящими вследствие того, что передача энергии идёт не напрямую, а в результате взаимодействия с различными средами-посредниками: жидкостью, газом или паром обогревательных устройств.

Задача по сушке осложняется ещё и тем, что для предприятий, имеющих конечным продуктом мелкую кристаллическую или аморфную фракцию со сложными свойствами, общеприменимые методы могут оказаться малоэффективными. Контактная сушка может вызывать налипание материала на элементы теплообменника, снижая эффективность теплопередачи и блокируя транспортировку продукта, а конвективная модель может приводить к выносу мелкой фракции с потоком теплоносителя. Использование менее распространённых методов: сушки «кипящего слоя», вакуумирования и т.п. – зачастую требует усложнения системы обезвоживания.

Применение же в промышленности волновых методов сушки, широко распространённых сегодня в быту, по ряду причин сдерживается, и не в последнюю очередь из-за отсутствия качественной информации об этом.

Одним из таких методов является микроволновая сушка. К микроволнам условно отнесены электромагнитные волны с частотой колебаний от 300 МГц до 30 ГГц. На волновой шкале они расположены между радиоволнами и инфракрасным излучением и, по сравнению с тепловым излучением, имеют более высокую проникающую способность, а также более эффективное преобразование электромагнитной энергии в тепло. Излучение энергии производится специальными генераторами электромагнитного поля – магнетронами, имеющими мощность излучения от 1–2 кВт (бытовые) до 65–100 кВт (промышленные), с разрешенной для промышленного применения частотой 915 либо 2450 МГц, которые выпускаются многими производителями. Нагрев происходит за счёт возбуждения полярных составляющих нагреваемого материала (в первую очередь молекул воды), увеличения числа их колебаний и соударений с другими молекулами и, как следствие, ведет к высвобождению тепловой энергии и активному испарению влаги.

Преимуществом микроволновой сушки является способность производить нагрев в объёме вещества, т.е. передача энергии за счёт высокой проникающей способности излучения идёт по

всему объёму сухого твёрдого, точнее, по всему объёму, в котором есть влага. При этом температура внутри вещества выше, чем снаружи, т.к. наружный слой охлаждается за счёт интенсивного испарения влаги. Материал подвергается сушке в рабочей камере из радионепроницаемого материала, что повышает КПД, т.к. в процессе передачи энергии участвует не только прямое излучение, но и отражённое от стенок камеры.

В ряде отраслей в России СВЧ-сушка уже успешно используется: для сушки древесины, пищевых продуктов. В химической отрасли микроволновая технология применяется для вулканизации резины. Известно и применение СВЧ-методов в опытно-масштабном для интенсивного обезвоживания кристаллических продуктов обогащения редкометалльного сырья, прогрева грунтов для интенсификации разработок руд и других. Мировой опыт применения СВЧ-излучения для обезвоживания гораздо шире. Существуют предприятия, серийно выпускающие промышленные СВЧ-сушки для обезвоживания (например, угля), известно про активное применение метода в фармацевтике (рис. 1, 2).

Детальное изучение опыта ведущих мировых производителей из стран Западной Европы, Японии и США на основе открытых источников и патентных разработок показало большое разнообразие конструктивных решений, а также использование микроволн в комбинации с другими воздей-



**Рис. 1** Цилиндрическая СВЧ-сушка для древесины (Германия)



Рис. 2 Сборка 12-метровой промышленной СВЧ-сушки (Франция)

ствиями. В западной практике отдаётся предпочтение использованию промышленных магнетронов большой мощности (от 2–5 до 65–100 кВт). Данное решение обусловлено, по-видимому, исторически более высоким КПД таких магнетронов, возможностью их ремонта с восстановлением мощности. В то же время мощные магнетроны должны быть укомплектованы соответствующей системой обеспечения работоспособности, в первую очередь системой водяного охлаждения, а кроме того, они требуют значительного времени для разогрева и входа в рабочий режим (рис. 3).



Рис. 3 Система обеспечения работоспособности магнетрона мощностью 65 кВт

Сушильное устройство может быть непрерывным или циклическим. Последним отдаётся предпочтение при сушке, например, древесины; в этом случае большой массив сушимого материала закладывается на длительный срок (часы, иногда сутки). Преимущество такого режима в том, что можно обеспечить полную изоляцию рабочей камеры без потерь излучения, выходящего наружу. Недостаток – для предприятия с непрерывной работой такой режим может быть не совсем удобен и потребует организации накопительных узлов. Кроме того, отвод испаряющейся жидкости из большого массива мелкокристаллического материала может быть затруднён.



Рис. 4 Барабанная СВЧ-сушка

При выборе же непрерывной установки возможен широкий выбор конструкций, обусловленный в первую очередь многообразием вариантов транспортирования материала через рабочую камеру. Возможна самотранспортировка материала в наклонном вращающемся барабане (рис. 4), различные формы конвейеров, вибропитатели и другое. Но следует учитывать, что технологические отверстия для подачи и разгрузки материала могут быть как местом потери мелкого сухого материала, так и точкой выхода СВЧ-излучения. Для предупреждения этих потерь необходима разработка соответствующих конструктивных решений (экранов, фильтров) и следование определённой дисциплине при эксплуатации суши.

Выбор рабочей частоты излучения – 915 или 2450 МГц – обуславливается в каждом конкретном случае необходимым балансом между проникающей способностью излучения и его мощностью, а также возможностями и продуктовой линейкой конкретного производителя.

Для пилотного проекта группа «КАНЕКС» выбрала непрерывную установку конвейерного типа, т.к. пыление сухого мелкого материала весьма сильно и пересыпание его в процессе сушки нежелательно. При транспортировке же его на конвейере материал, не испытывая возмущений, практически не пылит (рис. 5).



Рис. 5 СВЧ-сушка конвейерного типа (Франция)





Рис. 6 Опытно-промышленная установка конвейерного типа

Было принято также решение использовать не самую распространённую многомагнетронную систему. Вместо одного двух мощных магнетронов применили систему из многих бытовых магнетронов мощностью 1–1,5 кВт. Расчёт поля в этом случае сильно усложняется, но система сильно выигрывает в стабильности: перегорание одного магнетрона не оказывает сильного влияния на общую мощность излучения; при этом для них достаточно воздушного охлаждения. Кроме того, круг производителей бытовых магнетронов значительно шире (рис. 6).

Продукт, подлежащий сушке, представлял собой мелкокристаллическую фракцию размером до 40 микрон, средним размером 12–15 микрон, что предопределяет повышенное пыление сухого материала. Материал имеет скорее аморфную текстуру, склонен к налипанию на металл, слёживаемости, сводообразованию при разгрузке свободным падением и тиксотропии. Вынос пыли концентрата вместе с газами аспирации вовне предприятия ввиду специфических свойств образующих минералов запрещён во избежание загрязнения окружающей среды.

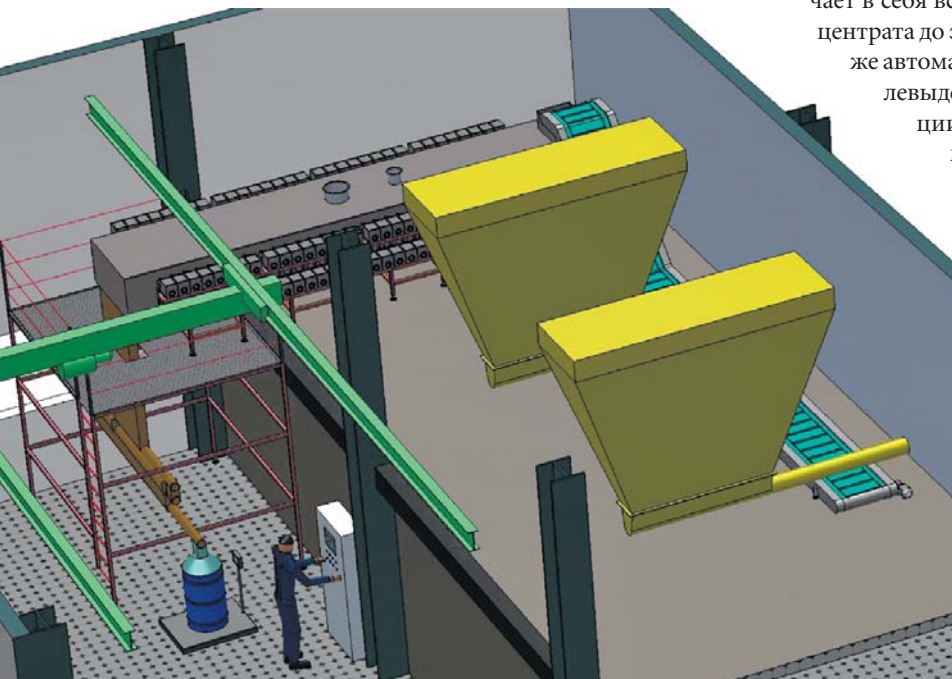


Рис. 7 Конструктивное решение. 3D-модель промышленной сушки

Проведение испытаний на лабораторной установке показало принципиальную возможность сушки продукта микроволновым методом, поэтому было принято решение провести опытно-промышленные испытания на предприятии на реальном сырье. Специалисты группы «КАНЕКС» выбрали опытную установку конвейерного типа с двадцатью рабочими магнетронами общей мощностью излучения 20 кВт, предприятие выделило участок в отделении затарки и обеспечило подачу сырья на опытную установку.

При проведении экспериментов изменялись следующие параметры: скорость движения ленты транспортёра через рабочую камеру, количество работающих магнетронов, толщина слоя материала на ленте. Контроль качества сушки осуществлялся на основании косвенных показателей: температуры и внешнего вида выходящего из рабочей камеры продукта. Контроль выноса пыли с отходящими парами испаряемой влаги производился раз в смену путём съёма и взвешивания осадка на внутреннем фильтре установки. Было проведено несколько серий испытаний, полученный в каждой серии обезвоженный продукт опробовался и тестировался на содержание влаги по стандартным весовым методикам.

Проведённые испытания показали, что при таком методе сушки требования потребителя по влажности вполне достижимы, а также подтвердили правильность выбранных решений по конструкции сушильного агрегата. Для сушеного материала было достигнуто снижение влажности продукта с 35% до 2%, а в ряде опытов – до менее чем 1%. Спекания продукта после сушки, как и других негативных последствий, не обнаружено. Отмечено, что при температуре свыше 110–120 °С продукт изменяет цвет и, по-видимому, претерпевает частичное термическое разложение, поэтому для промышленной эксплуатации рекомендовано не превышать температуру в 95–100 °С, вполне достаточную для испарения влаги.

Проба высушенного по СВЧ-методике готового продукта передана заказчику, замечаний по качеству и изменению физико-химического состава не получено.

В рамках пилотного проекта было разработано комплексное решение для сушки химического концентрата. Оно включает в себя все операции: от приёма отфильтрованного концентрата до затарки сухого готового продукта в бочки, а также автоматизацию процессов, защиту от излучения и пылевыведения, укомплектование системами стабилизации напряжения и пожаротушения. Ввиду минимального выноса пыли с отходящими парами возможно подключение к существующим на предприятии системам газоочистки и аспирации без их существенной модернизации.



АО «КАНЕКС ТЕХНОЛОГИЯ»

Москва, 2-я Звенигородская ул., д.13, стр.37

тел./факс: +7 (495) 708-43-30

e-mail: info@kanex-t.ru

<http://kanex-t.ru>

АО «КАНЕКС ТЕХНОЛОГИЯ» – подразделение группы компаний «КАНЕКС», осуществляющее поставку оборудования, запасных частей и материалов на предприятия ведущих отраслей промышленности.