

Технология производства синтетического гипса при десульфурации дымовых газов угольных электростанций



А. С. КИРНАРСКИЙ,
доктор техн. наук
(«Инжиниринг Доберсек ГмбХ»,
Германия)

Одно из условий природоохранного режима работы разных типов теплоэлектростанций, работающих на угле, – эффективная очистка продуктов сгорания от диоксидов серы, для чего применяют десульфурацию дымовых газов, основной побочный продукт которой – искусственный гипс (ДДС-гипс). Для Украины, ископаемые угли которой отличаются повышенным содержанием серы, проблема очистки дымовых газов актуальна, так как обогащение высокосернистых пластов часто нерентабельно.

В Европе искусственный гипс, так называемый REA-Gips, производят уже 35 лет, причем за этот период реализовано 100 млн т. В настоящее время в европейских странах ежегодно получают 16 млн т гипса при очистке дымовых газов. Наиболее совершенные системы данной технологии разработаны в Германии. Неслучайно на немецких электростанциях, работающих на буром и каменном угле, ежегодно производят 7,5 млн т искусственного гипса, используемого в строительной промышленности в качестве заменителя природного гипса. На одной из электростанций мощностью 750 МВт, в топках которой сжигается обогащенный энергетический каменный уголь с содержанием серы от 0,6 до 1 %, при эффективности улавливания диоксидов серы мокрым известняковым способом 95 % ежечасно получают 9–14 т высококачественного ДДС-гипса. Его широко применяют в процессе производства бетона и гипсокартонных плит при условии, что он удовлетворяет требованиям по влажности (не более 10 %) и белизне (Стандарт ФРГ VGB-M 701e, 1991).

Десульфурация дымовых газов известковым раствором. Согласно традиционной технологии очистки дымовых газов на первом этапе, применяя электрофильтры, удаляют механические примеси – летучую золу, инертные компоненты. Коэффициент пылеулавливания таких устройств 95 %.

На втором этапе происходит химическое взаимодействие диоксидов серы (SO_2) с карбонатом кальция, подаваемым циркуляционными насосами в абсорбционную колонну в виде 10–20 %-го раствора, при этом дымовые газы после противоточной обработки рабочим карбонатным раствором вытяжным вентилятором выбрасываются в атмосферу (одностадийная сероочистка, рис. 1) или направляются на перечистку во вто-

рую абсорбционную колонну (двухстадийная сероочистка). Очищенный от диоксидов серы и пыли дымовой газ на выходе из абсорбционного отделения имеет температуру не менее 130 °С. Известняк, поступающий для приготовления известкового рабочего раствора, предварительно измельчается сухим способом или в составе суспензии в шаровой мельнице, работающей в замкнутом цикле с гидроциклонами.

До настоящего времени нет единого мнения о механизме поглощения диоксидов серы. В частности, не совсем ясно, как протекает процесс: в одну или несколько стадий. Так, Штраус и Цвигарт [1] считают, что химическое взаимодействие диоксида серы, карбоната кальция и кислорода проходит ступенчато в такой последовательности: сначала карбонат кальция вступает в реакцию с диоксидом серы и водой, в результате получают полугидрат сульфата кальция. На второй стадии процесса полугидрат сульфата кальция взаимодействует с диоксидом серы и водой с образованием гидросульфита кальция, который при наличии кислорода и воды обра-

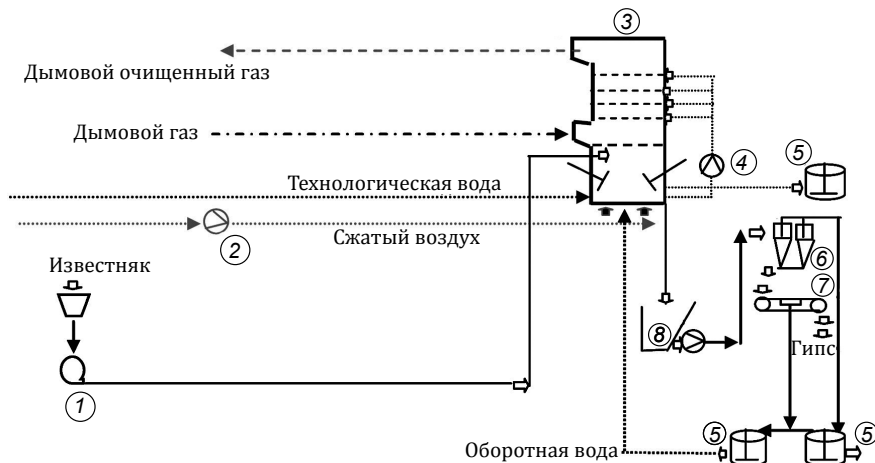
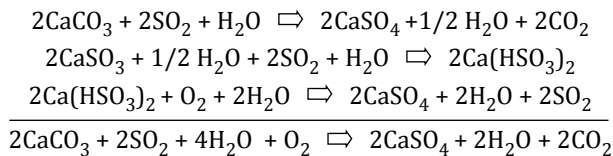


Рис. 1. Принципиальная схема одностадийной десульфурации дымовых газов: 1 – пневмотранспортная установка; 2 – воздуходувка; 3 – абсорбционная колонна; 4 – циркуляционный насос; 5 – емкости; 6 – гидроциклоны; 7 – фильтр; 8 – зумпф.

зует дигидрат сульфата кальция или гипс, что можно представить химическими уравнениями:



В абсорбционных колоннах дымовые газы эффективно очищаются от диоксидов серы и в результате получается синтетический гипс высокого качества. При этом технологический режим десульфурации контролируется по содержанию твердого в гипсо-

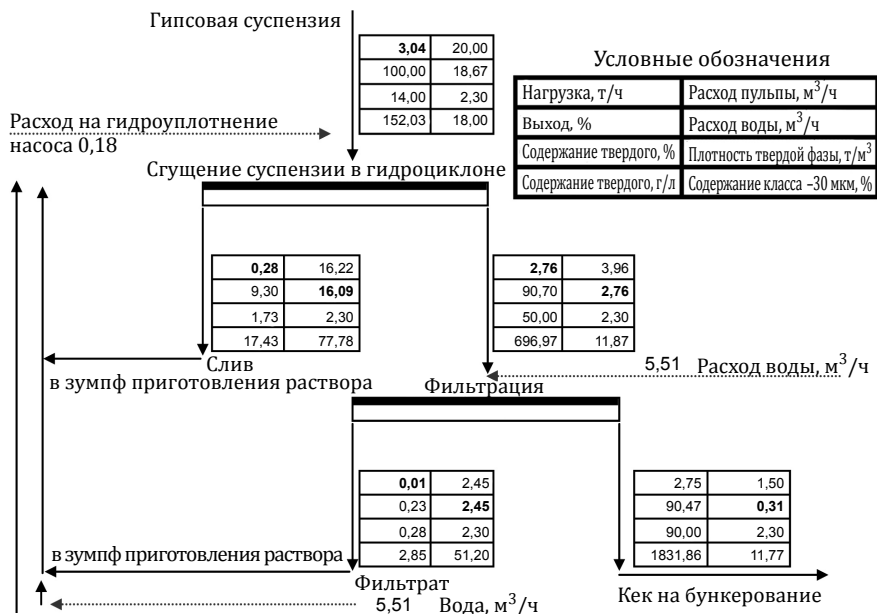


Рис. 2. Водно-шламовая схема обезвоживания гипсовой суспензии.

вой суспензии и концентрации водородных ионов (рН-среды). Полученный искусственным путем гипс в виде гипсовой суспензии поступает на обезвоживание.

Обезвоживание гипсовой суспензии с неглубоким осветлением оборотной воды, поступающей на приготовление известкового раствора. Гипсовая суспензия, поступающая из абсорбционных колонн на обезвоживание, содержит 11–15 % твердой фазы. Гранулометрический состав твердых кристаллов гипса изменяется в зависимости от того, сколько времени и в каком режиме суспензия циркулирует в системе мокрого известкового улавливания диоксидов серы. Исходя из разжижения и дисперсности твердой фазы, обычно предпочитают двухстадийную схему обезвоживания.

На *первой стадии* происходит предварительное сгущение суспензии до содержания твердого 45–55 %, для чего применяют гидроциклоны малого диаметра или радиальные сгустители. В некоторых случаях слив гидроциклонов дополнительно перечищается в гидроциклонах, слив которых сбрасывается в виде отвальных отходов. На *второй стадии* сгущенный продукт обезвоживается до влажности менее 10 %. Для этого устанавливают ленточные вакуум-фильтры или фильтрующие центрифуги, работающие в периодическом режиме. Схема с применением гидроциклонов показана на рис. 2.

В случае определения оптимальной подачи на гидроциклонную установку исхо-

дили из зависимости объема перерабатываемой гипсовой суспензии от уровня эксплуатационных затрат (рис. 3). При этом рассчитывали расход электроэнергии во время подачи гипсовой суспензии на гидроциклоны и фильтровании ее на ленточном вакуум-фильтре, а также расход фильтроткани на указанном фильтре в зависимости от коэффициента использования оборудования.

Согласно данным Минералого-петрографического института в Бонне [2], полученным на основании исследований роста кристаллов гипса в условиях натурной пробы фильтрата и раствора ДДС-гипса, гранулометрический состав кристаллов игольчатой формы отличается значительным количеством классов 20–60 мкм, доля которых достигает 62 % (табл. 1) [2]. Если содержание тонких классов крупностью менее 5 мкм, то надо учитывать механические примеси в составе твердой фазы суспензии, оставшиеся после пылеулавливания в электрофильтрах и представленные инертными или зольными частицами, остатками сажи и разными органическими составляющими.

При разжижении суспензии до 14 % перед гидроциклонированием рассчитывают эффективность гидроклассификации, пользуясь традиционной формулой Ханкока–Луйкена–Дина

$$\eta = \{(\alpha - \theta)(\beta - \alpha) / [\alpha(1 - \alpha)(\beta - \theta)]\} \cdot 100 \%,$$

где α , β , θ – содержание расчетного класса крупностью менее 30 мкм соответственно в питании (0,18), сливе (0,778) и песках (0,1178) гидроциклона, в долях единицы.

Полученная 38,2 % эффективность указывает на то, что гидроциклон выполняет функцию сгустительного устройства, при этом содержание твердого в песках колеблется в пределах 45–55 %. Вспомогательная функция гидроциклона сводится к обесшламливанию гипсовой суспензии от тонкодисперсных частиц, отрицательно влияющих на показатели последующего фильтрования, в частности на удельную производительность аппарата и достигаемую влажность кека. Диаметр гидроциклонов составляет 50–100 мм при размере песковой насадки 10–15 мм. Удельная нагрузка на песковую насадку по сгущенному продукту не превышает 1,2 т/(см²·ч).

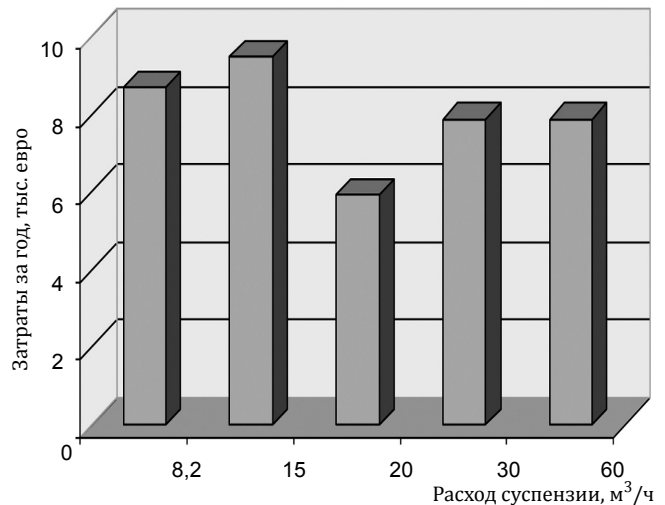


Рис. 3. Зависимость эксплуатационных затрат от расхода перерабатываемой гипсовой суспензии, поступающей в отделение ее обезвоживания.

Предварительно сгущенная и обесшламленная гипсовая суспензия самотеком направляется на ленточный вакуум-фильтр, удельная производительность которого в среднем составляет 1 т/(м²·ч), а глубина вакуума поддерживается на уровне 0,5 бар. Оптимальная толщина кека на фильтрующей поверхности 40 мм. Упомянутые технологические показатели во многом обусловлены правильной организацией фильтровального хозяйства, которое в зависимости от расположения вакуум-фильтра – на верхних или

Таблица 1

Класс крупности, мкм	Выход классов, %
120–500	4,0
110–120	7,0
100–110	9,50
90–100	5,0
80–90	7,0
70–80	6,0
60–70	7,50
50–60	14,0
40–50	16,0
30–40	17,0
20–30	15,0
10–20	2,50
0,0–10	0,50
Итого	100,0

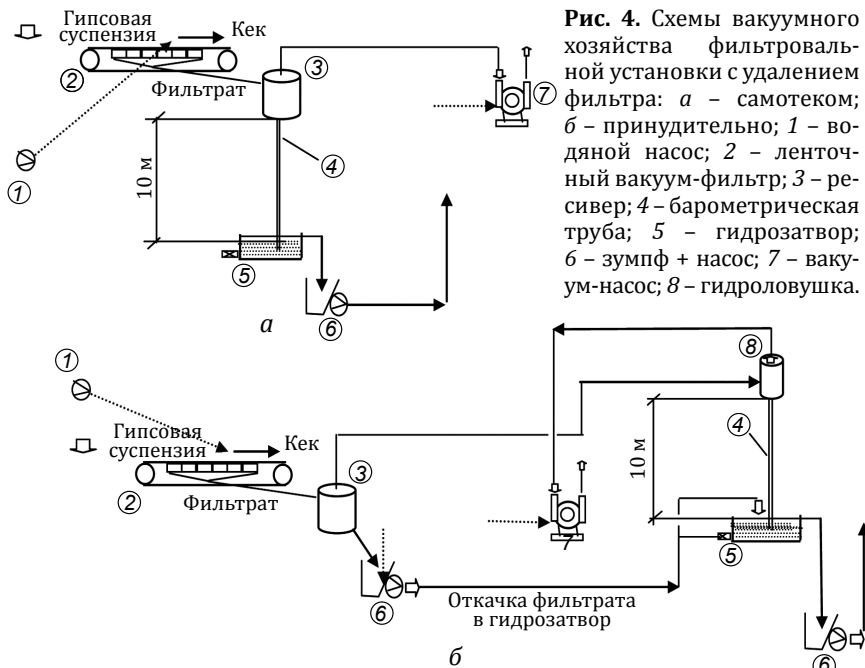


Рис. 4. Схемы вакуумного хозяйства фильтровальной установки с удалением фильтра: *а* – самотек; *б* – принудительно; 1 – водяной насос; 2 – ленточный вакуум-фильтр; 3 – ресивер; 4 – барометрическая труба; 5 – гидрозатвор; 6 – зумпф + насос; 7 – вакуум-насос; 8 – гидроловушка.

та, т. е. применить схему, показанную на рис. 4, *а*, которая требует меньше энергетических затрат, оборудования и вакуумных коммуникаций и более надежная ввиду наличия барометрического затвора при истечении фильтра из ресивера. Во избежание закупоривания ячеек фильтровального полотна и уменьшения его износа используется фильтроткань из полиэстера или полипропилена.

Гипсовый осадок вакуум-фильтра ленточным конвейером транспортируется в бункер, откуда без термической обработки поступает в сушилку или отгружается в автотранспорт. В случае применения термической сушки необходимо использовать установки кипящего слоя, при этом сушонку иногда подвергают дроблению и последующей упаковке. Характеристика искусственного гипса, получаемого при десульфурации дымовых газов [3], приведена в табл. 2.

Рассмотренная схема может работать непрерывно и периодически, в ней не применяют химические реагенты типа флокулянтов для осветления оборотной воды – это ее достоинство. Недостатки такого технологического решения – громоздкость и значительное энергопотребление фильтровального хозяйства, частая замена фильтроткани и наличие примесей в составе оборотной воды, поэтому в последнее время на завершающей стадии обезвоживания применяют схему с центрифугой.

Обезвоживание гипсовой суспензии с глубоким освет-

нижних этажах фабрики – предусматривается соответственно с самотечным или принудительным удалением фильтра.

Вакуумная система фильтровальной установки (рис. 4) состоит из вакуум-насоса водокольцевого типа, ресивера с барометрической трубой, гидроловушки, гидрозатвора и насоса для откачки фильтра и воды после промывания полотна.

Вакуум-фильтр предпочтительнее размещать на отметках выше 10 м, что обеспечивает самотечное удаление фильтра-

Таблица 2

Параметры	Натуральный гипс	ДДС-гипс
Содержание $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, %	95,3	93–96
pH	7,0	6,5
Запах	Нейтральный	
Насыпная плотность, кг/м ³	1020	1000
Дисперсность частиц d_{50} , %:		
> 90 мкм	32,9	0,2
> 30 мкм	59,3	53,5
Содержание, %:		
MgO	0,02	0,02
Na ₂ O	0,01	0,02
K ₂ O	0,02	0,01
Fe ₂ O ₃	0,1	0,03
Al ₂ O ₃	0,1	0,03
SiO ₂	1,2	0,2
CaCO ₃ и MgCO ₃	2,7	0,3
Содержание хлоридов, мг/м ³	20,0	60,0

Параметры	Исходный продукт	Осадок	Фугат
Производительность, т/ч	1,560	1,517	0,043
Выход по массе, %	100,00	97,24	2,76
Содержание твердого: %	50,98	90,00	3,123
г/л	716,17	1831,86	71,82
Расход воды, м ³ /ч	1,50	0,169	1,331
Расход суспензии, м ³ /ч	2,178	9,828	1,350

лением оборотной воды, поступающей на приготовление известкового раствора. Гипсовая суспензия из абсорбционных колонн направляется в сгуститель, где при подаче флокулянта осветляются верхние слои и сгущаются нижние. Сгущенный продукт сгустителя поступает в вертикальную фильтрующую центрифугу (рис. 5), разработанную специально для обезвоживания гипса в периодическом режиме.

Основной материал всех гуммированных частей вертикальной центрифуги – нержавеющая сталь. Гуммирование выполняют твердой резиной слоем толщиной 3 мм. На тех частях центрифуги, которые подвергаются значительному абразивному износу, предусмотрено многослойное мягкое гуммирование толщиной 5 мм. Части установки, которые не гуммированы, но контактируют с материалом, изготовлены из нержавеющей стали или полипропилена.

Баланс продуктов центрифугирования, рассчитанный при нагрузке на центрифугу 1,56 т/ч и плотности гипса 2,3 т/м³, приведен в табл. 3.

Определив баланс продуктов центрифугирования, можно разработать водно-шламовую схему при перио-

Техническая характеристика фильтрующей центрифуги

Производительность по гипсу влажностью менее 10 %, т/ч	1,5
Площадь фильтрующей корзины центрифуги, м ²	2,0
Продолжительность загрузки (выгрузки) центрифуги, мин	10
Рабочий объем, дм ³	220
Максимальная частота вращения ротора, мин ⁻¹	800
Уровень шума, дБ	82
Мощность электродвигателя, кВт	37
Частота вращения ротора электродвигателя, мин ⁻¹	1000
Диаметр барабана, мм	1000
Масса с электродвигателем, т	4,6

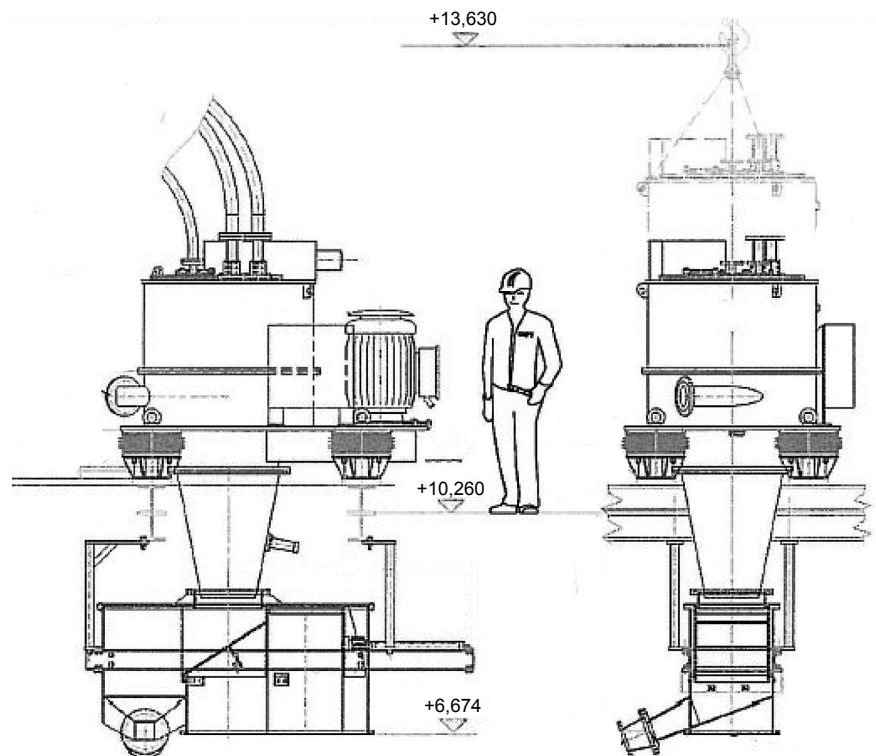


Рис. 5. Вертикальная фильтрующая центрифуга для обезвоживания гипса. Вверху показаны очертания корпуса для случая, когда производится ремонт.

ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ



Рис. 6. Водно-шламовая схема с глубоким осветлением оборотной воды.

дическом обезвоживании гипсовой суспензии, на первой стадии которой – осаждение частиц твердой фазы в радиальном сгустителе. Предусматривается применение пастового сгустителя. В целях сокращения площади осветления за счет интенсификации осаждения целесообразно использовать флокулянты. Сгущенный продукт радиального сгустителя на второй стадии подвергается обезвоживанию в фильтрующей центрифуге с выделением кондиционного гипсового осадка влажностью менее 10 % и фугата, содержащего не только инертные и зольные примеси, но и тонкодисперсные кристаллы гипса. Поэтому его возвращают на сгущение в сгуститель, на сливе которого получают чистый слив, направляемый на приготовление рабочего раствора известняка (рис. 6).

Преимущества данной схемы обезвоживания гипсовой суспензии – возможность получения чистой оборотной воды, использования рабочей емкости сгустительного устройства не только для осветления и сгущения суспензии, но и в це-

лях усреднения кристаллической твердой фазы и дополнительного роста кристаллов, что облегчает их последующее отделение в фильтрующих центрифугах. Применение последних упрощает структуру вспомогательного хозяйства водно-шламовой схемы. К недостаткам схемы можно отнести применение флокулянтов, что сопряжено с повышением эксплуатационных затрат и предполагает влияние на протекание технологического процесса в абсорбционных колоннах, а также периодический режим работы оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. J. Strauß, T. Zwigart. Die Rauchgasentschwefelung bei Block 5, KW Altbach/Deizisau der Neckarwerke Elektrizitätsversorgungs-AG, Esslingen VDF. – 1993. – P. 5–6.
2. C. Zamponi, B. Rennert. Einfluß von die eingetragenen Kühlwasserconditionierungsmitteln auf die Gipskristallisation. Studie / RWE Energie AG. – 1997.
3. H. Jurkowisch, R. Hüller. Neue Gipskartonplatten unter Verwendung von Naturgips und verschiedenen synthetischen Gipsen. Zement-Kalk-Gips International, 43 Jahrgang. – 1990. – Heft 12. – Seiten 583–58.