

# 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.

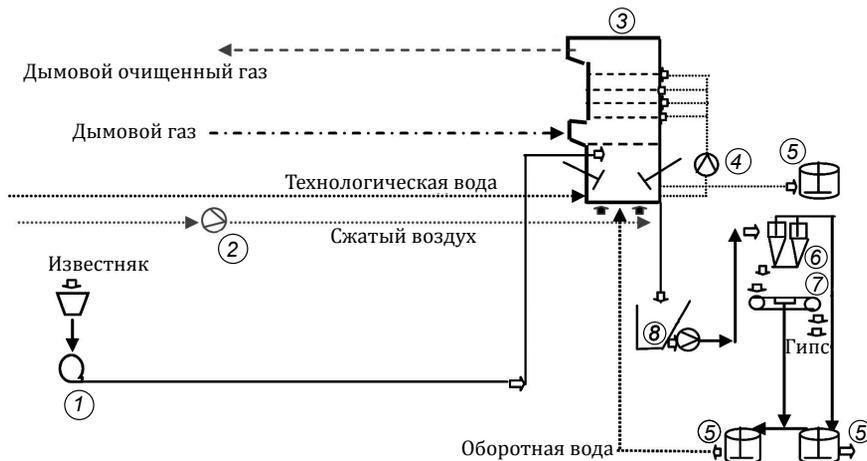
В Европе искусственный гипс, так называемый REA-Gips, производят уже 35 лет, причем за этот период реализовано 100 млн т. В настоящее время в европейских странах ежегодно получают 16 млн т гипса при очистке дымовых газов. Наиболее совершенные системы данной технологии разработаны в Германии. Неслучайно 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 % еже часно 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-

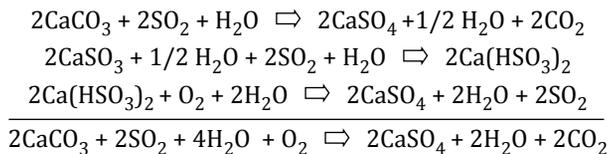
рую абсорбционную колонну (двухстадийная сероочистка). Очищенный от диоксидов серы и пыли дымовой газ на выходе из абсорбционного отделения имеет температуру не менее 130 °С. Известняк, поступающий для приготовления известкового рабочего раствора, предварительно измельчается сухим способом или в составе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

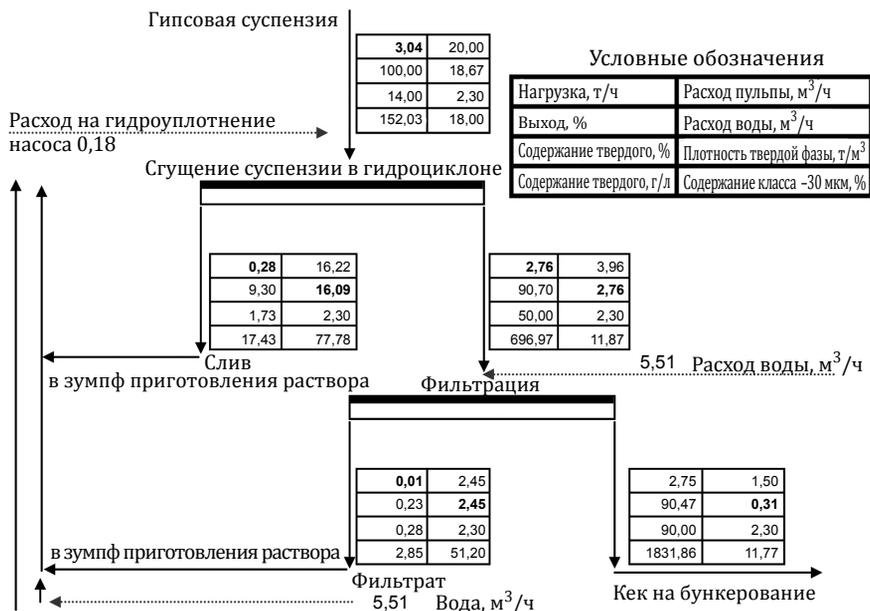


**Рис. 1.** Принципиальная схема одностадийной десульфурации дымовых газов: 1 – пневмотранспортная установка; 2 – воздуходувка; 3 – абсорбционная колонна; 4 – циркуляционный насос; 5 – емкости; 6 – гидроциклоны; 7 – фильтр; 8 – зумпф.

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.

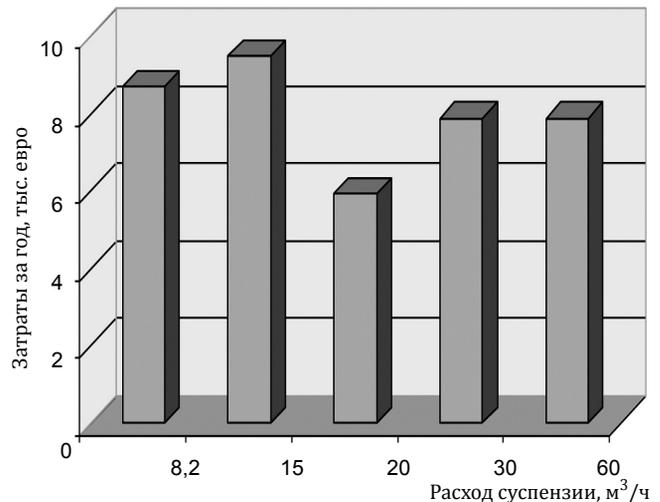
Согласно данным Минералого-петрографического института в Бонне [2], полученным на основании исследований роста кристаллов гипса в условиях натурной пробы фильтрата и раствора ДДС-гипса, гранулометрический состав кристаллов игольчатой формы отличается значительным количеством классов 20–60 мкм, доля которых 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  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\theta$  – 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/(см<sup>2</sup>·ч).

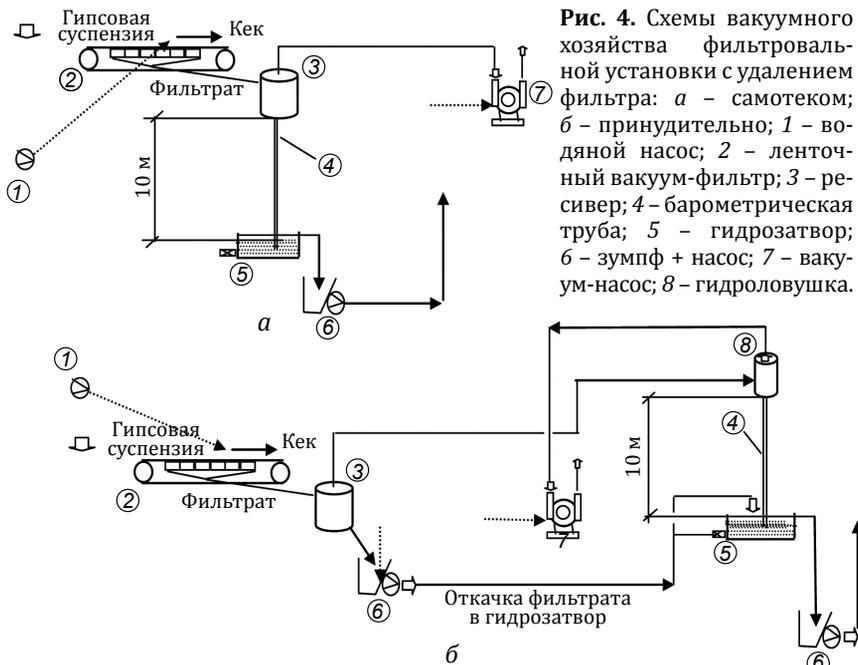


**Рис. 3.** Зависимость эксплуатационных затрат от расхода перерабатываемой гипсовой суспензии, поступающей в отделение ее обезвоживания.

Предварительно сгущенная и обесшламленная гипсовая суспензия самотеком направляется на ленточный вакуум-фильтр, удельная производительность которого в среднем составляет 1 т/(м<sup>2</sup>·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
<b>Итого</b>	<b>100,0</b>



**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 надежна 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, $\text{кг}/\text{м}^3$	1020	1000
Дисперсность частиц $d_{50}$ , %:		
> 90 мкм	32,9	0,2
> 30 мкм	59,3	53,5
Содержание, %:		
MgO	0,02	0,02
$\text{Na}_2\text{O}$	0,01	0,02
$\text{K}_2\text{O}$	0,02	0,01
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0,1	0,03
$\text{Al}_2\text{O}_3$	0,1	0,03
$\text{SiO}_2$	1,2	0,2
$\text{CaCO}_3$ и $\text{MgCO}_3$	2,7	0,3
Содержание хлоридов, $\text{мг}/\text{м}^3$	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 <sup>3</sup> /ч	1,50	0,169	1,331
Расход суспензии, м <sup>3</sup> /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/м<sup>3</sup>, 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 <sup>2</sup>	2,0
Продолжительность загрузки (выгрузки) центрифуги, мин	10
Рабочий объем, дм <sup>3</sup>	220
Максимальная частота вращения ротора, мин <sup>-1</sup>	800
Уровень шума, дБ	82
Мощность электродвигателя, кВт	37
Частота вращения ротора электродвигателя, мин <sup>-1</sup>	1000
Диаметр барабана, мм	1000
Масса с электродвигателем, т	4,6

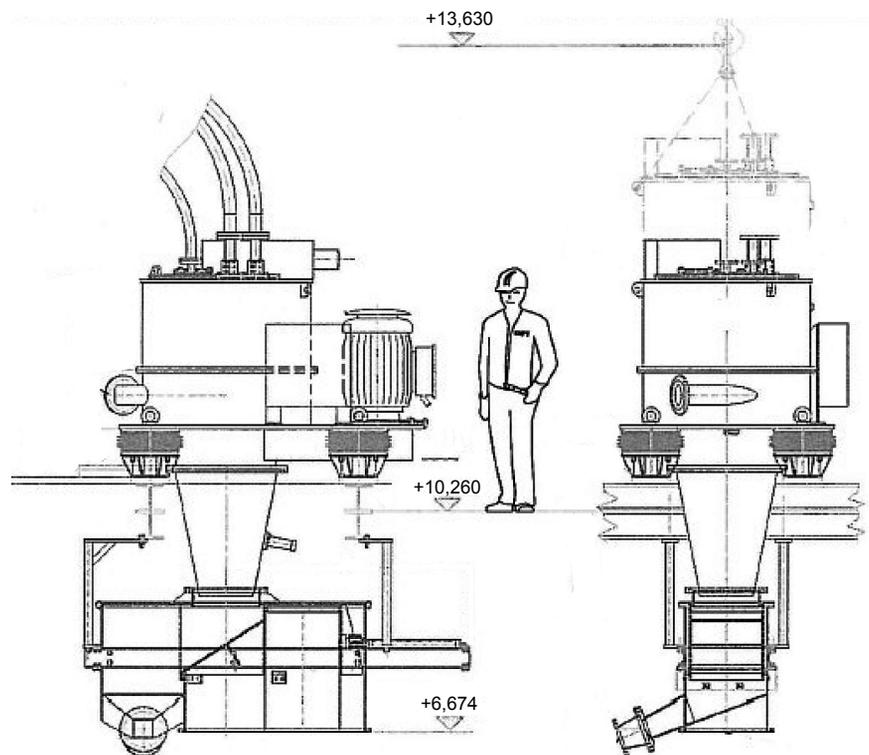


Рис. 5. Вертикальная фильтрующая центрифуга для обезвоживания гипса. Вверху показаны очертания корпуса для случая, когда производится ремонт.

# 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. Jurkowsch, R. Hüller. Neue Gipskartonplatten unter Verwendung von Naturgips und verschiedenen synthetischen Gipsen. Zement-Kalk-Gips International, 43 Jahrgang. – 1990. – Heft 12. – Seiten 583–58.