

УДК 620.92

ТЕХНОЛОГИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ CO_2 ИЗ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ
 CO_2 RECOVERY TECHNOLOGIES FROM COMBUSTION PRODUCTS

Игнатович Р. С., Седнин В. А., д-р техн. наук, профессор,
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь
R. Ignatovich, V. Sednin, Doctor of Technical Sciences, Professor, Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация. В данной работе осуществляется сравнение физических и химических технологий извлечения CO_2 из продуктов сгорания твердого топлива. Анализ эффективности технологий осуществляется на базе расчетных моделей, построенных в программном пакете Aspen Hysys.

Abstract. In this paper, the physical and chemical technologies of CO_2 extraction from solid fuel combustion products are compared. The analysis of the effectiveness of technologies is carried out on the basis of computational models built in the Aspen Hysys software package.

Ключевые слова: энергетика, декарбонизация, биомасса, углекислый газ, Hysys
Keywords: power engineering, decarbonization, biomass, carbon dioxide, Hysys

ВВЕДЕНИЕ

Согласно постановлению Совета министров Республики Беларусь об утверждении концепции энергетической безопасности страны от 23 декабря 2015 года [1] энергетическая безопасность республики должна основываться в первую очередь на максимальном использовании потенциала местных видов топлива (МВТ). Исходя из этого можно сделать вывод, что, на сегодняшний день, развитие технологий сжигания МВТ и когенерационной выработки энергии в Республике Беларусь остаются актуальными. Однако, как известно, сжигание твердого топлива сопровождается большим количеством выбросов в атмосферу загрязняющих веществ, чем при сжигании, например, природного газа. А так как Республика Беларусь присоединилась к Парижскому соглашению по климату, и взяла на себя обязательства, направленные на снижение выброса парниковых газов, то развитие и внедрение технологий извлечения углекислого газа из продуктов сгорания МВТ является актуальной задачей. Извлеченный из продуктов сгорания CO_2 может быть использован в промышленности или в технологиях производства синтетического природного газа.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

На сегодняшний день можно выделить 2 широко используемых промышленных метода извлечения углекислоты из продуктов сгорания: физический и химический. Самым широко применяемым методом среди физических является метод водной абсорбции. Наибольшее распространение среди химических

методов нашел метод абсорбции растворами аминов (например, абсорбция водным раствором моноэтаноламином (МЭА), диэтаноламином (ДЭА)).

На рис. 1 представлена принципиальная схема водной абсорбции углекислоты из продуктов сгорания.

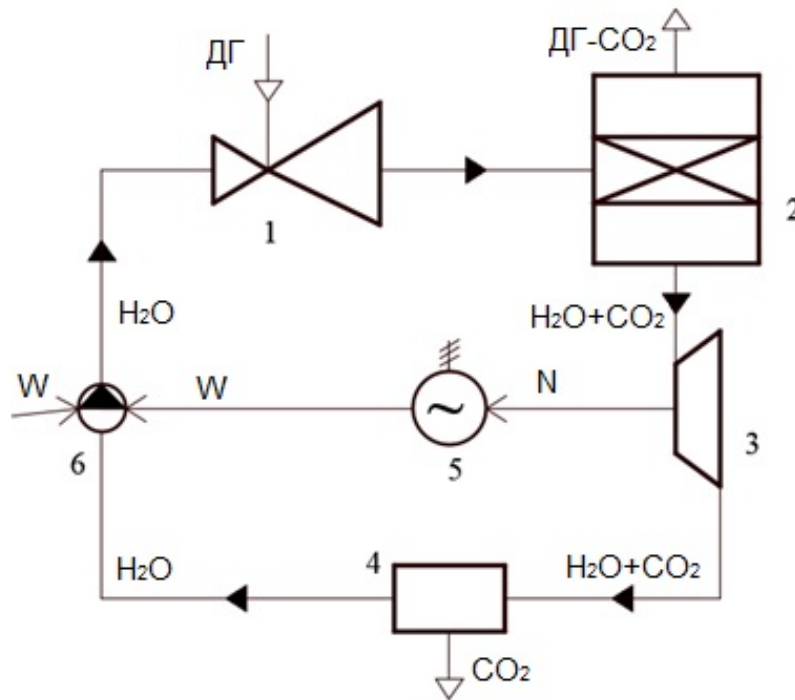


Рисунок 1 – Принципиальная схема водной абсорбции CO_2 под давлением

Принцип водной абсорбции заключается в следующем: дымовые газы (ДГ) поступают в контур с абсорбентом (водой). Осуществляется это через струйный аппарат (1) куда поступает вода высокого давления и ДГ. Полученная смесь поступает в абсорбер (2). Абсорбцию ведут при давлении 1,6–3,0 МПа [2], а абсорбер представляет из себя насадочный скруббер. В работе [4] давление абсорбции в 3,0 МПа обозначается оптимальным и будет использоваться в аналитической модели. В абсорбере большая часть CO_2 растворяется в воде. Газы не растворенные в воде сбрасываются в атмосферу. В результате абсорбции в воде растворяются не только углекислота, но также и азот, однако, его в растворе несопоставимо меньше. Сама же углекислота находится преимущественно в свободном состоянии, а невысокая температура снижает воздействие коррозии от высокой кислотности среды.

Для осуществления десорбции CO_2 из воды осуществляется понижение ее давления до 0,1 МПа. Для этого смесь воды и углекислого газа проходят через водяную турбину (3), находящуюся на одном валу с насосом (6) и электродвигателем. Турбина используется для компенсации затрачиваемой электрической энергии (ЭЭ) на привод насоса. После турбины давление снижается до атмосферного в расширителе (4), в результате чего выделяется растворенный в воде газ. Степень чистоты полученного углекислого газа варьируется и помимо CO_2 в смеси присутствует азот, пары воды, а также сера.

Химический метод абсорбции CO_2 из ДГ основан на протекании химической реакции. Молекулы газа вступают в реакцию с активным веществом (МЭА) при низкой температуре и происходит их абсорбция. Для извлечения из раствора амина растворенных газов осуществляется нагрев раствора, в результате которого происходит десорбция. Принципиальная схема химической абсорбции МЭА представлена на рис. 2.

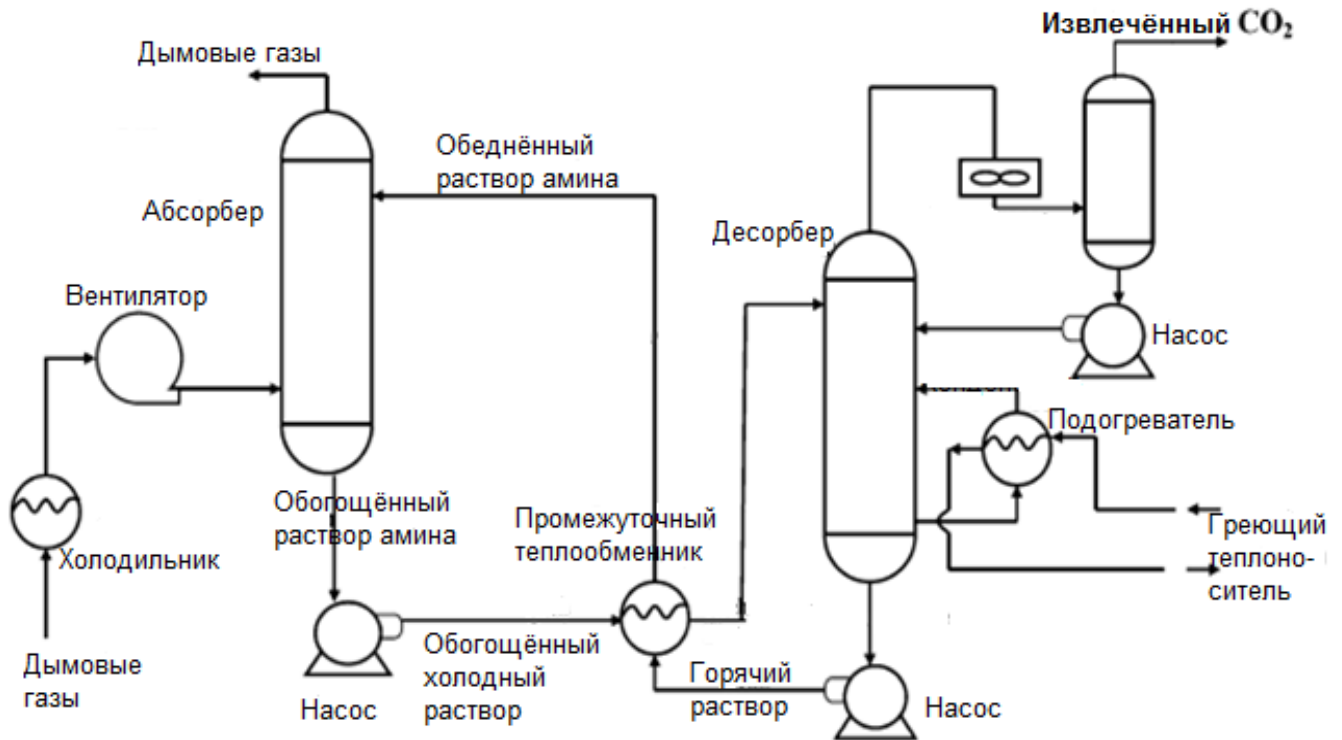


Рисунок 2 – Принципиальная схема химической абсорбции CO_2

ДГ после экономайзера поступают в холодильник. В случае химической абсорбции раствором МЭА холодильник применяется контактный, до и после которого, чаще всего, устанавливаются скрубберы для очистки газа от твердых частиц. Температура ДГ в холодильнике опускается, в том числе и до температур ниже точки росы. Температура газов на входе в абсорбер не должна превышать $60\text{--}70\text{ }^\circ\text{C}$ в связи с тем, что при данной температуре начнет протекать десорбция. Колебания температур ДГ на входе от 30 до $60\text{ }^\circ\text{C}$ существенно не влияет на процесс абсорбции, но на практике стремятся использовать как можно более низкую температуру в связи с увеличением потерь МЭА при увеличении температуры. После очистки и охлаждения ДГ направляются в абсорбер. На практике абсорберы выполняются как насадочные колонны. ДГ поступают в них снизу и поднимаются вверх. Холодный раствор амина подается и разбрызгивается в верхней части абсорбера и движется вниз. При этом протекает реакция поглощения CO_2 из дымовых газов.

Для обеспечения оптимальной работы абсорбера необходимо подбирать оптимальный состав раствора абсорбента. Максимальный коэффициент абсорбции имеет место при концентрации МЭА около 30% , однако, согласно [3] на практике применяют растворы концентрацией по массе от 8 до 13% . Это

связано в первую очередь со стремлением понизить потери МЭА, которые увеличиваются с увеличением температуры и концентрации раствора.

Обогащенный раствор амина насосом подается в десорбер, который состоит из двух частей: подогревателя и дефлегматора. Греющим теплоносителем (чаще всего используют водяной пар) осуществляется нагрев раствора амина, в результате чего извлекаются растворенные в нем газы, а также пары воды и амина. На практике, согласно [3], оптимальными с точки зрения энергетической эффективности, химических свойств амина и степени извлечения газов считаются давление десорбции 170–230 кПа и температура 115–23 °С. Извлеченные в десорбере газы сепарируются и охлаждаются. Обедненный горячий раствор охлаждается, а затем направляется на рециркуляцию в абсорбер. Для экономии теплоты, подводимой для десорбции и охлаждения потока обедненного раствора амина, используется промежуточный теплообменник (регенератор), в котором теплота потока после десорбера передается обогащенному раствору, идущему в него.

Для сравнения описанных технологий извлечения CO_2 из продуктов сгорания при помощи программного пакета *Aspen Hysys* были построены аналитические расчетные модели. Преимуществом использования данного пакета является наличие библиотеки свойств аминов, а также возможность рециркуляции потоков. В качестве исходных данных был использован поток ДГ, полученный при сжигании щепы на реальном промышленном объекте. Для водной абсорбции был использован пакет свойств *Sour PR*. Для модели поглощения CO_2 раствором амина использован пакет свойств *Acid Gas*. Построение моделей основывалось на принципах работы, описанных выше. Исходные данные исходного потока ДГ представлены в табл. 1.

Таблица 1 – ИД исходного потока ДГ

Массовый расход, кг/ч	1987
Температура, °С	110
Давление, бар	1,3
Состав дымовых газов, мольн. %	
N_2	70,57
CO_2	11,15
H_2O	13,90
O_2	4,33
H_2S	0,05

На рис. 3 представлены основные полученные аналитические зависимости для водной абсорбции CO_2 из ДГ.

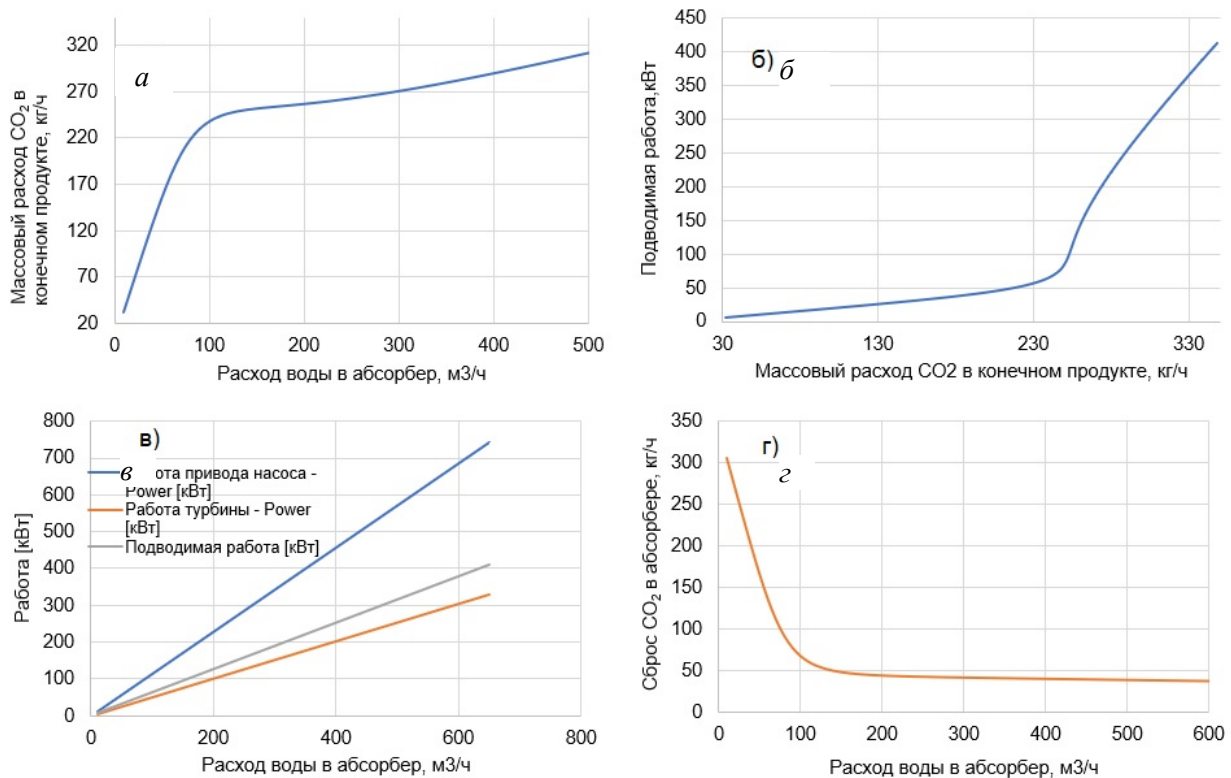


Рисунок 3 – Аналитические зависимости:

a – массового расхода CO_2 в конечном продукте от расхода воды в абсорбере;
б – подводимой работы от массового расхода CO_2 в конечном продукте; *в* – затрачиваемой работы от расхода воды в абсорбере; *з* – сброса CO_2 в абсорбере от расхода воды при водной абсорбции CO_2

На рис. 4 представлены основные аналитические зависимости для химической абсорбции CO_2 из ДГ. Следует отметить, что колебание результатов расчета вызвана особенностями расчета ректификационной колонны в программе *Aspen Hysys*. По этой причине анализ результатов производится по линии тренда, построенной по полученным результатам.

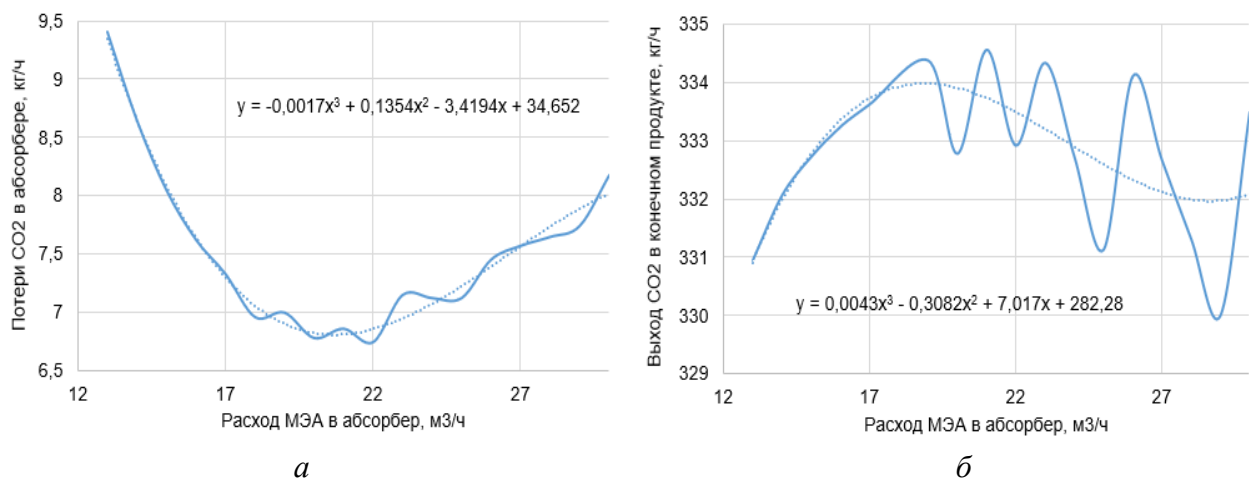


Рисунок 4 – Аналитические зависимости:

a – потери CO_2 в абсорбере в зависимости от расхода МЭА в абсорбере при химической абсорбции; *б* – выхода CO_2 в конечном продукте в зависимости от расхода МЭА в абсорбере при химической абсорбции

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что у водной абсорбции CO_2 из потока ДГ имеется ярко выраженный экстремум с максимальной эффективностью, где наблюдается линейный рост количества получаемого углекислого газа от расхода воды, подаваемый в абсорбер. В данном конкретном случае экстремум наступает при расходе воды в абсорбер равном $95 \text{ м}^3/\text{ч}$. При этом затрачиваемая на привод насоса работа растет также линейно. При увеличении расхода воды в абсорбер после достижения данного экстремума затрачиваемая работа увеличивается квадратично, а увеличение расход CO_2 замедляется. Химический метод абсорбции также имеет экстремум, характеризуемый минимальными потерями CO_2 в абсорбере, и определяется оптимальным выбором расхода и концентрации МЭА. В данном случае наиболее оптимальный расход 13 процентного раствора МЭА составляет $20 \text{ м}^3/\text{ч}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании полученных результатов можно сделать вывод, и технология водной абсорбции CO_2 и абсорбции раствором МЭА применимы для извлечения углекислоты из продуктов сгорания. Однако, методу водной абсорбции для извлечения такого же количества CO_2 как при абсорбции раствором МЭА необходимо работать с большим перерасходом электрической энергии на привод насоса. Также в потоке, полученном физическим методом извлечения, наблюдается большее содержание азота и паров воды, чем при химическом методе. Таким образом можно сделать вывод, что технология абсорбции раствором МЭА лучше подходит для промышленного извлечения углекислоты из потока продуктов сгорания ввиду большей производительности, а метод водной абсорбции, как более дешевый, может быть использован для снижения выбросов парниковых газов и получения CO_2 при меньших расходах ДГ. Также технология водной абсорбции должна быть использована при высоком содержании серы в продуктах сгорания, так как это не приводит к снижению эффективности процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Об утверждении концепция энергетической безопасности Республики Беларусь: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 23 дек. 2015 г., № 1084 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2015. – № 5/41477.
2. Абсорбция газов [Текст] / В. М. Рамм. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : «Химия», 1976. – 655 с.
3. Пименова Т. Ф. Производство и применение сухого льда, жидкого и газообразного диоксида углерода. Москва. «Легкая и пищевая промышленность», 1982. – 208 с.
4. Очистка технологических газов [Текст] / под ред. Т. А. Семеновой. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : «Химия», 1977. – 488 с.