

ЕКОЛОГІЯ ECOLOGY

УДК 662.963

А.М. Ковальчук, канд. техн. наук; М.П. Клопот
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ ДИМОВИХ ГАЗІВ ВІД ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ ВОДНИМИ РОЗЧИНАМИ АМІНІВ

У статті проаналізовано результати комп'ютерного моделювання процесу очищення димових газів від вуглекислого газу. Відтворення процесу здійснювалось для різних умов та параметрів, досліджено їх вплив на ефективність процесу. Показано, що такі параметри процесу, як температура регенованого розчину аміну, кількість ступенів абсорбційної та десорбційної колони, тиск і температура у випарнику, впливають на продуктивність процесу. Зроблено висновки про можливість застосування комп'ютерної моделі у дослідженні процесу очищення димових газів від діоксиду вуглецю.

Ключові слова: абсорбер, вуглекислий газ, десорбер, моделювання процесу, моноетаноламін, Aspen HYSYS.

Вступ. Глобальне потепління, як наслідок підвищення концентрації вуглекислого газу в атмосфері, вважається однією з найбільших кліматичних проблем, з якими сьогодні стикається світ. Існують численні методи та технології уловлювання вуглекислого газу після спалювання палива, зокрема хімічне та фізичне абсорбційне очищення, мембранна сепарація, адсорбція, криогенний поділ [1]. Системи хімічної абсорбції вуглекислого газу водними розчинами амінів є найбільш дослідженими та вважаються найперспективнішими на даний час [2]. Найпоширенішими розчинами, що використовуються для видалення CO₂ з димових газів є розчини моноетаноламіну (MEA), діетиламіну (DEA) і дигліколяміну (DGA) [3].

Мета та завдання. Оскільки повномасштабне тестування процесу є дуже дорогим, доцільним є створення моделі та відтворення процесу очищення димових газів від вуглекислого газу за допомогою спеціального програмного забезпечення, наприклад, Aspen HYSYS. Моделювання процесу дає змогу оцінити та проаналізувати роботу системи уловлювання CO₂, знайти оптимальні параметри роботи, дослідити можливості зниження енергоспоживання системою тощо. Завданням даної статті є побудова моделі процесу абсорбційного очищення димових газів підприємства від вуглекислого газу водним розчином MEA та його аналіз при різних умовах протікання.

Матеріал і результати досліджень. На рис. 1 зображено блок-схему процесу очищення димових газів від вуглекислого газу водним розчином аміну, змодельованого в Aspen HYSYS.

Процес очищення димових газів проходить наступним чином. Охолоджені до температури 30...40°C і відмиті від механічних домішок і сірчистих сполук димові гази, що містять CO₂, подаються знизу в абсорбер, де контактують з розчином моноетаноламіну, який подається в абсорбер зверху. Насичений вуглекислим газом розчин з абсорбера подається насосом через рекуперативний теплообмінник в десорбер. У теплообміннику збагачений розчин нагрівається за рахунок охолодження регенованого розчину, відведеного з десорбера. У десорбері діоксид вуглецю видаляється з розчину. Концентрований потік вуглекислого газу направляється для стиснення, а регенований розчин відправляється назад в абсорбер через теплообмінник. У випарнику в нижній частині десорбера розчин частково випаровується і отримана пара рухається знизу вверх назустріч розчину, поглинаючи з нього CO₂. Конденсатор у верхній частині колони забезпечує охолодження та відділення рідини від вуглекислого газу. Відведена в конденсаторі рідина повертається у верхню частину колони десорбера [4]. В ході процесу певна частина води та моноетаноламіну неминуче втрачається. Тому після проходження регенованого розчину через теплообмінник, у нього домішуються вода та MEA для підтримання сталої концентрації.

На ефективність даного процесу очищення димових газів впливають різні фактори, наприклад, температура, тиск... Різні параметри можуть бути оптимізовані з метою підвищення загальної продуктивності процесу. Для даної роботи в середовищі Aspen HYSYS було відтворено типовий процес абсорбційного очищення димових газів, склад і деякі властивості яких наведені в табл. 1.

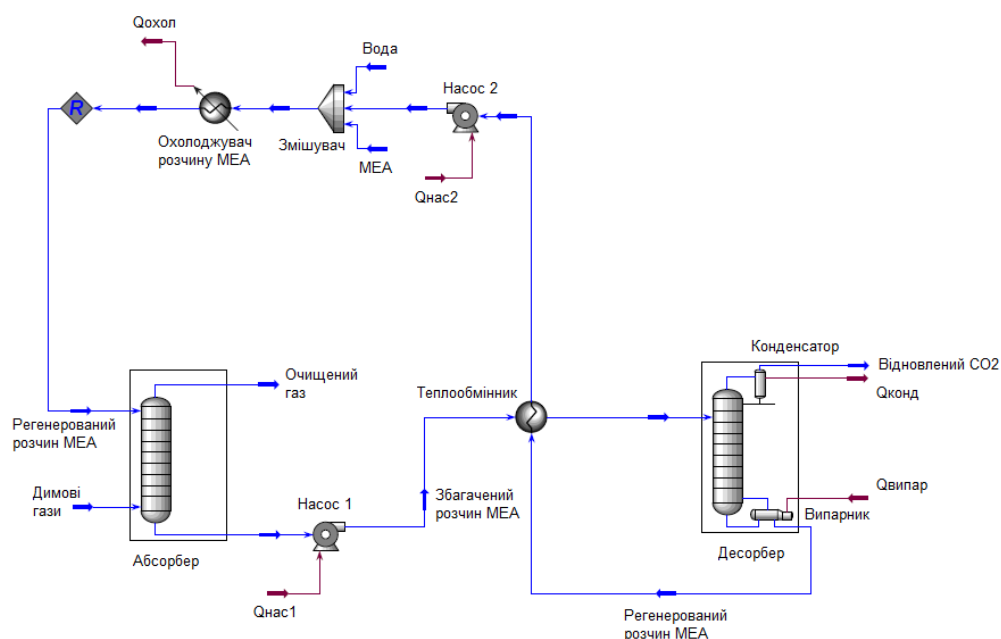


Рис. 1. Блок-схема процесу очищення димових газів від вуглекислого газу водним розчинами амінів

Табл. 1.

Склад і властивості досліджуваних димових газів

Параметр	CO ₂	H ₂ O	N ₂	O ₂	Разом
Масовий потік, т/год	264	36	728	192	1220
Масова частка, %	22	3	60	15	100
Об'ємний потік, м ³ /год	2500	830	10800	2500	16700
Мольний потік, моль/год	6000	2000	2600	2000	40000
Мольна частка, %	15	5	65	15	100

Результати імітаційного моделювання процесу при різних умовах наведено нижче.

Зі зміною температури розчину аміну, який поступає в абсорбер, змінюється і значення ефективності уловлювання вуглекислого газу. Графік на рис. 2 показує, що існує оптимальне значення температури розчину, яке дає максимальну ефективність очищення димових газів від діоксиду вуглецю.

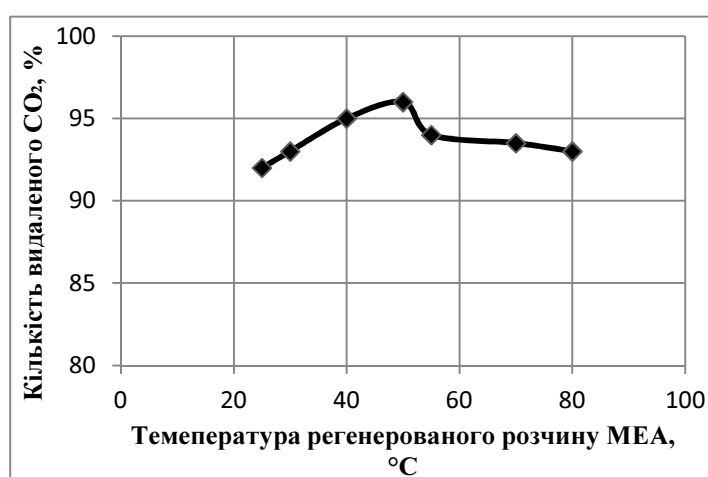


Рис. 2. Залежність ефективності уловлювання CO₂ від температури розчину аміну, що поступає в абсорбер

Висота абсорбційної колони є важливим параметром, який впливає на продуктивність процесу очищення. З метою вивчення впливу висоти абсорбера на видалення CO₂, відтворення процесу

здійснювалось при різних значеннях кількості ступенів абсорбера, оскільки висота колони прямо пропорційна кількості ступенів, діаметр абсорбера при цьому залишався постійним. Зі збільшенням висоти абсорбційної колони, ефективність очищення від вуглекислого газу збільшується. Проте при збільшенні кількості ступенів більше 15, приріст ефективності очищення є незначним (рис. 3). Також надмірне збільшення висоти призводить до збільшення витрат на абсорбер:

- капіталовкладень;
- експлуатаційних витрат на живлення вентилятора (падіння тиску в абсорбері зростає зі збільшенням його висоти, отже, потужність повітрорудки збільшуватиметься).

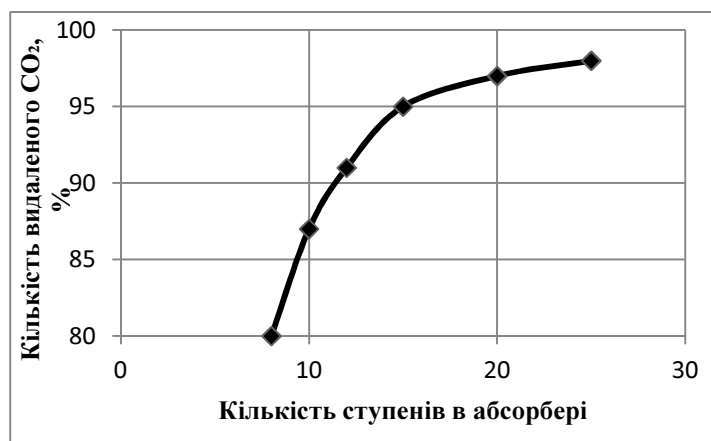


Рис. 3. Залежність ефективності уловлювання CO₂ від кількості ступенів в абсорбері

Висота десорбера також є важливим параметром. Перераховані вище факти для абсорбера є справедливими і для десорбційної колони. Тиск у випарнику десорбера має істотний вплив на продуктивність процесу. Підвищення тиску у випарнику супроводжується підвищенням температури. При підвищенні температури, умови для переходу вуглекислого газу в газоподібний стан стають більш сприятливими і, отже, менша кількість водяної пари потрібна для видалення вуглекислого газу із збагаченого розчину MEA. Таким чином, випарник повинен працювати при найбільшій можливій значеннях тиску і температури. Проте, робочі умови десорбера обмежені тим, що деградація моноетаноламіну прискорюється з підвищенням температури, тому температура у випарнику вища 125°C не рекомендується [5]. Підвищення тиску у випарнику також призводить і до зниження його теплового навантаження (рис. 4), а отже, і до підвищення економічності. Однак при збільшенні тиску більше 1,5 бар, зниження теплового навантаження випарника є незначним.

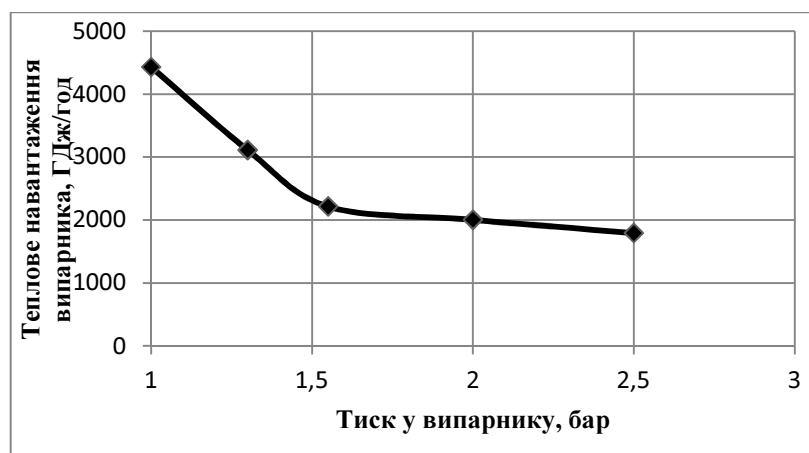


Рис. 4. Залежність теплового навантаження випарника від тиску у випарнику

Висновки. Описана в даній статті комп'ютерна модель процесу очищення димових газів від CO₂, може допомогти знайти оптимальні умови процесу, при яких досягається максимальний рівень видалення двоокису вуглецю:

- оптимальна температура регенованого розчину аміну лежить в межах між 40 і 60°C;
- збільшення кількості ступенів абсорбера до 15 значно підвищує ефективність видалення вуглекислого газу, подальше збільшення кількості ступенів не дає значного підвищення ефективності;

• підвищення тиску і температури у випарнику до максимально допустимих значень покращує процес регенерації розчину аміну та знижує теплове навантаження випарника.

Також модель надалі може бути використана для оптимізації енергоспоживання процесу та пошуку шляхів до зниження вартості системи, що є важливим критерієм для впровадження цієї технології.

Список літератури

1. Черкасский НИИТЭХИМ. Пути сокращения выбросов диоксида углерода (CO₂) в атмосферу для решения проблемы "парникового эффекта". Аналитический обзор. – Черкассы, 2005. – 37 с.
2. IEA (International Energy Agency). Technology Roadmap: Carbon Capture and Storage. – Paris: OECD/IEA, 2013. – 63 p.
3. H. Herzog, J. Meldon, A. Hatton. Advanced postcombustion CO₂ capture, *prepared for the Clean Air Task Force*, Under a grant from the Doris Duke Foundation, 2009. – 39 p.
4. Ветошкин А.Г. Процессы и аппараты газоочистки. Учебное пособие. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2006. – 201 с.
5. J. Davis, G. Rochelle. Thermal degradation of monoethanolamine at stripper conditions, *Energy Procedia*, Volume 1, 2009. – P. 327-333

A. Kovalchuk, M. Klopot

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

SIMULATION OF CARBON DIOXIDE CAPTURE PROCESS FROM THE FLUE GAS BY AQUEOUS SOLUTIONS OF AMINES

The article analyzes the results of the process simulations of the carbon dioxide capturing process. Simulations were carried out for a variety of conditions and parameters, their influence on the efficiency of the process. It is shown that such process parameters as the lean amine solution temperature, the number of stages in absorber and desorber, pressure and temperature in the reboiler affect the performance of the process. The conclusions are made about the applicability of a computer model for studying the carbon dioxide capture process.

Keywords: absorber, carbon dioxide, desorber, process simulation, monoethanolamine, Aspen HYSYS.

1. Cherkasy RITECHEM. Ways of reducing emissions of carbon dioxide (CO₂) in the atmosphere to solve the problem of "greenhouse effect". Analytical review. - Cherkasy, 2005. – 37 p.
2. IEA (International Energy Agency). Technology Roadmap: Carbon Capture and Storage. – Paris: OECD/IEA, 2013. – 63 p.
3. H. Herzog, J. Meldon, A. Hatton. Advanced postcombustion CO₂ capture, *prepared for the Clean Air Task Force*, Under a grant from the Doris Duke Foundation, 2009. – 39 p.
4. Vetoshkin A. Gas cleaning processes and devices. Textbook. – Penza: PSU, 2006. - 201 p.
5. J. Davis, G. Rochelle. Thermal degradation of monoethanolamine at stripper conditions, *Energy Procedia*, Volume 1, 2009. – P. 327-333

УДК 662.963

А.М. Ковальчук, канд. техн. наук; Н.П. Клопот

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ОТ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА ВОДНЫМИ РАСТВОРАМИ АМИНОВ

В статье проанализированы результаты имитационного моделирования процесса очистки дымовых газов от углекислого газа. Воспроизведение процесса осуществлялось для различных условий и параметров, исследовано их влияние на эффективность процесса. Показано, что такие параметры процесса, как температура регенерированного раствора амина, количество ступеней абсорбционной и десорбционной колонны, давление и температура в испарителе, влияют на производительность процесса. Сделаны выводы о возможности применения компьютерной модели в исследовании процесса очистки дымовых газов от диоксида углерода.

Ключевые слова: абсорбер, углекислый газ, десорбер, моделирование процесса, моноэтаноламин, Aspen HYSYS.

Надійшла 25.12.2013

Received 25.12.2013

ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИДОБУТКУ БУРОГО ВУГІЛЛЯ З ПОДАЛЬШОЮ ЙОГО ГАЗИФІКАЦІЄЮ

В статті розглянуто технологію газифікації бурого вугілля на прикладі Березівського розрізу та наведено економічну доцільність її запровадження. Наведено принципову схему шахтного газогенератора і газогенераторного процесу. Розглянуто газифікацію вугілля як складний багатостадійний гетерогенний фізико-хімічний процес та визначено економію на заміщенні природного газу на прикладі Олександрійського району.

Ключові слова: вугілля, газифікація, природний газ, енергоефективність.

У зв'язку зі скороченням запасів нафти і газу, зростанням цін на енергоносії, ми пропонуємо будівництво Березівського розрізу з подальшою газифікацією добутого бурого вугілля, для забезпечення потреб промислових підприємств Олександрійського району та для продажу населенню. Це дозволить економити 3134,8 грн на кожній 1000 м³ заміщеного природного газу.

За багато мільйонів років природа накопичила багатющі запаси вуглецю у вигляді вугілля, нафти і природного газу. Зараз ці викопні види палива використовуються людством для отримання енергії і хімічних продуктів.

В даний час у зв'язку з труднощами в забезпеченні України нафтою і газом проявляється інтерес до використання нетрадиційних джерел енергії – вітру, сонця, біогазу.

Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є розширення сфери використання у великій і малій теплоенергетиці бурого вугілля, що сприятиме у певній мірі стабілізації паливно-енергетичного балансу країни та створенню резерву часу для розвитку вугільної промисловості.

Традиційне спалювання бурого вугілля призводить до забруднення навколишнього середовища оксидами азоту і сірки, іншими шкідливими речовинами.

Збільшення споживання видобувного вугілля супроводжуватиметься зростанням екологічного навантаження на навколишнє середовище, оскільки при спалюванні і переробці вугілля утворюється більше шкідливих побічних продуктів в порівнянні з нафтою і газом.

Але існує велика група вугілля, яку за складом і властивостями доцільніше використовувати як сировину для одержання вторинного палива і непальних продуктів. Як сировина для технологічного перероблення найбільшу цінність має реакційноздатне вугілля, до якого належить значна частина кам'яного та всі види бурого вугілля.

Проте докорінно вирішити проблему енергетичного забезпечення країни можна шляхом газифікації бурого вугілля, що сприятиме у певній мірі стабілізації паливно-енергетичного балансу країни та створенню резерву часу для розвитку вугільної промисловості.

Збільшити видобуток бурого вугілля можна тільки шляхом докорінної реконструкції та будівництва нових вугільних розрізів, шахт, в свою чергу, це вимагає тривалого часу і великих капітальних вкладень.

Запаси бурого вугілля України, за даними Міністерства вугільної промисловості, оцінюються в 6 – 8 млрд т [1].

Запаси бурого вугілля в Україні поширені досить широко і представлені великою кількістю родовищ, які утворюють басейни або вугленосні пласти. До 90-х років минулого століття видобуток бурого вугілля відбувався на таких розрізах, як Верболозівський, Костянтинівський, Ново-Олександрівський, Балаховський, Кула-Удайський, були спроектовані розрізи Березівський, Верхньодніпровський. Вугілля призначалося для брикетування та спалювання на ТЕЦ.

У зв'язку з тим, що ТЕЦ були переведені на природний газ, робота буровугільних розрізів була припинена, тому що подальша їх розробка була недоцільною.

У зв'язку зі скороченням запасів нафти і газу і зростанням цін на енергоносії, актуальним залишається пошук нових енергоресурсів. В даний час Україна змушена купувати російський газ вартістю 3500 грн за 1 тис. м³.

Ми пропонуємо будівництво Березівського розрізу з подальшою газифікацією добутого бурого вугілля, для забезпечення потреб в газі Олександрійського району. Загальні геологічні запаси Березівської ділянки складають 19,957 млн т.

В Олександрійському районі 70% споживачів природного газу – це населення, 25% – підприємства