



ISSN 1998-7927

ВІСНИК

**Східноукраїнського
національного
університету
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛІА**

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

**№12(166)
Частина 1
2011**



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

ВІСНИК

**Східноукраїнського
національного університету
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

**№ 12 (166)
Частина 1
2011**

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

Луганськ 2011

Сладковский А., Ичек К. 6

К ВОПРОСУ УТИЛИЗАЦИИ CO₂ В ПОЛЬСКОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....200

Сосновский Л.А., Власова О.В., Баглюк Г.А., Головкова М.Е.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СИЛИЦИДА МАРГАНЦА НА ПРОЦЕСС СПЕКАНИЯ И
СВОЙСТВА ПОРОШКОВЫХ СТАЛЕЙ.....207

Туранов Х.Т., Ситников С.А.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИЛ, ВОЗДЕЙСТВУЮЩИХ
НА ВАГОН ПРИ СКАТЫВАНИИ С ГОРКИ.....215

Туранов Х. Т., Тимухина Е. Н., Рыков А.Л.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ УПРУГОЙ СИЛЫ ЭЛЕМЕНТОВ КРЕПЛЕНИЙ
ГРУЗА ПРИ МАНЕВРОВОМ СОУДАРЕНИИ ВАГОНА.....228

Туранов Х. Т., Якунов А.Р., Мамадалиев А.Ю.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕАКЦИИ РЕЛЬСОВЫХ НИТЕЙ
ПРИ ВКАТЫВАНИИ КОЛЕСА НА ГОЛОВКУ РЕЛЬСА237

Haniszewski T.

CONVERSION OF EXPERIMENTAL CHARTS TO DIGITAL DATA AS A TOOL FOR FURTHER
PROCESSING OF RESULTS.....250

Хворост Н.В., Зубенко Д

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ БЕСКОНТАКТНОГО ТЕПЛООВОГО КОНТРОЛЯ БУКС
ВАГОНОВ МЕТРОПОЛИТЕНА258

Цыган Б.Г., Мокроусов С.Д.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
ХОДОВЫХ ЧАСТЕЙ ГРУЗОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА267

Stoyanov I A, Savev I E., Balbuzanov I T.

ANALYSIS OF THE ROADWORTHINESS OF CITROEN JUMPER VEHICLES USING
PARETO DIAGRAMS275

Pencheva I V, Suchorab Z., Stoyanov I O., Asenov I A., Stoyanov I A., Savev I E.

STUDY THE ENERGY EFFICIENCY OF A PASSENGER CAR USING PETROL
AND LPG279

К ВОПРОСУ УТИЛИЗАЦИИ CO₂ В ПОЛЬСКОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В работе представлены проблемы, связанные с утилизацией CO₂, как побочного продукта при выработке электроэнергии на тепловых электростанциях. Рассмотрены современные способы утилизации CO₂. Указаны преимущества и недостатки различных технологий. Изучена ситуация с решением данной проблемы в различных странах Европы и мира со специальным акцентом на проблемы польской энергетики.

Ключевые слова: утилизация CO₂, инсталляция CCS, польская энергетика

1. Регулирование выбросов парниковых газов в ЕС и Польше

Общеизвестным фактом является то, что выбросы парниковых газов, среди которых главное место занимает углекислый газ, являются весьма острой проблемой современного мира. При этом главная ответственность лежит на промышленно развитых странах, которые являются главным источником выброса данных газов в атмосферу. Киотский протокол, принятый в 1997 году в дополнение к Рамочной конвенции ООН об изменении климата, был призван ограничить выбросы парниковых газов в атмосферу. Согласно подписанных документов страны ЕС должны были сократить выбросы парниковых газов в атмосферу на 8%. В настоящее время в ЕС происходит острая дискуссия на тему сокращения выбросов CO₂ в атмосферу и разделения квот между странами - членами ЕС. При этом ситуация, сложившаяся в Польше, является незавидной. Дело в том, что большая часть польской энергетики базируется на традиционных источниках энергии, среди которых большую часть занимают электростанции, работающие на каменном или буром угле (рис. 1 [1]). Данный рисунок представляет различные виды энергетических мощностей, существующих в настоящее время и проектируемых до 2030. Отмечены только главные виды источников электроэнергии.

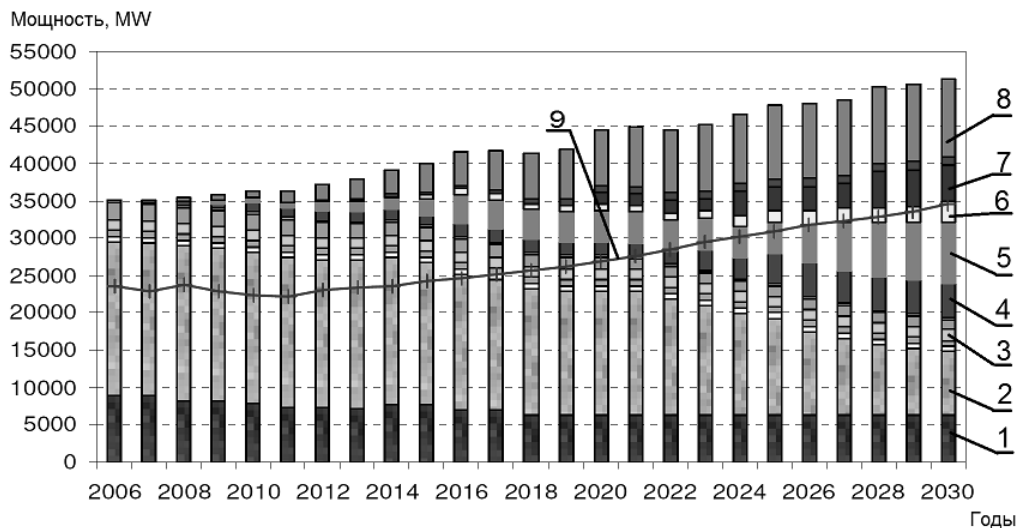


Рис. 1. Структура энергетических мощностей в Польше согласно прогнозу до 2030 года: 1 – старые электростанции с использованием бурых углей; 2 – старые с использованием каменного угля; 3 – крупные гидроэлектростанции; 4 – новые электростанции с использованием бурых углей; 5 – новые с использованием каменного угля; 6 – использующие газообразное топливо; 7 – проектируемые атомные; 8 – возобновляемые источники энергии; 9 – максимальная потребность мощности

Как видно из приведенной диаграммы, количество энергии производимой на электростанциях, использующих каменный, бурый уголь или газ, планируется оставить на существующем уровне. Прирост мощности обеспечит введение мощностей с возобновляемыми источниками энергии или на атомных электростанциях.

Согласно договоренностей в ЕС от Польши требуется снижение выбросов на 15% до 2020 года (согласно Киотскому протоколу 6% до 2012 года). При этом ведущие европейские страны (Великобритания, Дания, Швеция, Франция, Финляндия, Германия и Испания) заявили о готовности снижения выбросов на 30% по сравнению с уровнем 1990 года [2]. Очевидно, что в данных странах доля атомной энергетики или возобновляемых источников энергии существенно выше, чем в Польше. Например, доля электроэнергии, производимой на атомных электростанциях Франции, составляет 74,12% в общем энергетическом балансе страны. В Германии этот процент меньше, но тоже составляет существенную долю – 28,43%. При этом Польша в настоящее время не располагает атомными электростанциями.

Вводимая система квот предполагает, что страна, нуждающаяся в эксплуатации энергетических объектов, которые будут выбрасывать в атмосферу большее количество парниковых газов, чем это допускается соглашениями, должна будет покупать от других стран квоты на ненормативный выброс газов. Аналогичный подход будет использоваться внутри страны. Например, предполагается, что предприятия, имеющие энергетические установки, функционирующие на день 31.12.2008, будут первоначально покупать на аукционах только часть необходимых квот (в 2013 году будут обязаны покупать до 30% квот). При этом количество бесплатных квот будет уменьшаться вплоть до 2020 года, когда предприятие будет должно покупать 100% квот на выбросы парниковых газов. Таким образом, существующая система квот и существующее положение вещей в польской энергетике будет весьма негативно сказываться на экономике страны в целом.

Директива ЕС о европейской торговле эмиссионными квотами (ETS) ясно определяет цели, на которые могут быть предназначены доходы от продажи квот эмиссии CO₂ [3]:

- финансирование научно-исследовательских работ и проектов, направленных на уменьшение эмиссии CO₂;
- развитие технологий, направленных на уменьшение использования энергоресурсов;
- развитие технологий безопасного для окружающей среды улавливания, транспортирования и складирования двуокиси углерода.

2. Общие схемы улавливания CO₂ и существующие технические решения

Согласно книге [4] можно существующие технологии улавливания углекислого газа поделить на 3 основные схемы.

2.1. Отделение CO₂ перед горением

Схема процесса показана на рис. 2. Здесь происходит сначала газификация топлива. В ее основе лежит технология IGCC (Integrated Gasification Combined Cycle), на основе которой на базе топлива и воздуха образуется синтетический газ (синтез-газ или syngas) – смесь водорода, окиси углерода и углекислого газа. В табл. 1 представлены химические реакции, которые имеют место при реализации данного процесса.

Евросоюз в программе ETP ZEP (European Technology Platform for Zero Emission Fossil Fuel Power Plants) планирует исследования, проектирование и

внедрение демонстрационных инсталляций улавливания углекислого газа. ЕС планирует, что до 2012 года будет возможным введение в эксплуатацию оборудования, которое будет способно реализовать технологии в промышленном масштабе.

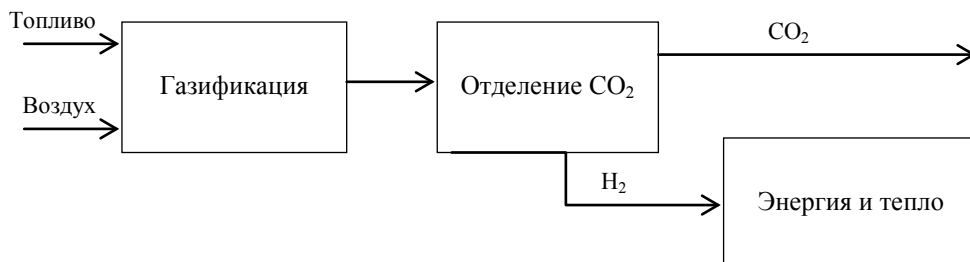


Рис. 2. Упрощенная схема сгорания топлива с отделением CO₂ перед сгоранием

Табл. 1

Газификация угля: процессы и реакции

Название процесса	Химическая реакция
Частичное сгорание	$C + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CO$
Реакция углерод - водяной пар	$C + H_2O \rightarrow CO + H_2$ $C + 2H_2O \rightarrow CO_2 + 2H_2$
Реакция конверсии CO	$CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$
Реакция Будуара (Boudouard)	$C + CO_2 \rightarrow CO$

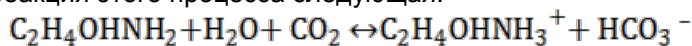
С использованием специализированных фондов Евросоюза и результатов исследования проектов ENCAP SP2 (проект рассматривающий оптимизацию процесса паровой конверсии и разработки газовых турбин на основе горения водорода), а также COORIVA (данный проект сосредоточен в главной степени на исследовании проблем коррозии и соединения отдельных частей процесса) немецкая энергетическая компания RWE Power планирует строительство инсталляции IGCC-CCS с мощностью 450 MB на электростанции Goldenberwerk в городе Hürth в Германии. Проект согласно плану работ должен в настоящее время входить с третью фазу, т.е. в фазу строительства. Строительные работы должны продолжаться до 2014, при этом инсталляция должна быть принята в эксплуатацию в 2015 году.

2.2. Отделение CO₂ после горения

Данная методика основана на отделении углекислого газа из паровых продуктов горения перед тем, как последние будут выброшены в атмосферу. В настоящее время это единственная широко применяемая методика. Уловленный углекислый газ может использоваться для различной продукции в промышленных масштабах.

Наиболее известным способом отделения углекислого газа после сгорания является химическая адсорбция. Это процесс сепарации газовой субстанции в субстанции жидкой. Смесь газов пропускается через растворитель в адсорбционной колонне, где растворитель отделяет CO₂ из проходящего потока газов. Далее растворитель проходит через регенерационную емкость, где адсорбированный углекислый газ отделяется от растворителя при температуре 373 – 393°

К. В то время как растворитель охлаждается затем до температуры 313 – 338° К и используется повторно в процессе сепарации. В качестве адсорбента для отделения CO₂ обычно используется моноэтаноламин (MEA). Фундаментальная химическая реакция этого процесса следующая:



В процессе адсорбции реакция может проходить как в правую, так и в левую сторону, в зависимости от температуры. Охлаждение, нагревание, компрессия газов и перегонка растворителя требуют дополнительной энергии, что приводит к уменьшению выработки энергии на электростанции и, соответственно, уменьшению ее КПД. Упрощенная схема процесса показана на рис. 3. Электростанции для того, чтобы компенсировать энергетические потери продают полученный углекислый газ [4]. В табл. 2 представлены примеры электростанций, где уже реализована описанная технология и использование полученного углекислого газа [5].

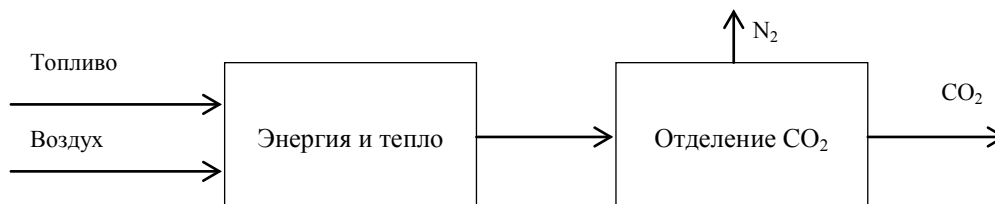


Рис. 3. Упрощенная схема сгорания топлива с отделением CO₂ после сгорания

Табл. 2

Электростанции, на которых осуществлен процесс сепарации углекислого газа

Название и местонахождение	Мощность, МВ	Количество полученного CO ₂ , т/сутки	Использование CO ₂
Trona, California, USA	180	200	Продукция огнетушителей
Shady Point, Oklahoma, USA	320	800	Производство продуктов питания

Представленные выше примеры электростанций не позволяют полностью или в достаточной степени уловить углекислый газ. Они могут служить только примером использования технологии, причем количество сепарированного CO₂ в значительной степени зависит от полученных заказов на углекислый газ. В настоящее время проводятся работы (как проектные, так и строительные) предназначенные для реализации описанной технологии в полном объеме. Пилотные проекты, предназначенные для проверки описанной выше технологии, представлены в табл. 3 [5].

2.3. Отделение CO₂ после горения при кислородном дутье

На схеме, представленной на рис. 3 углекислый газ отделяется в процессе сепарации из газовой смеси, в которой главными компонентами являются N₂ и CO₂. К сожалению, данный процесс является дорогостоящим и приводит к дополнительным энергетическим потерям. Альтернативой является горение топлива в кислородной среде. В результате такого процесса образуются в основном двуокись углерода и водяной пар. При этом кислород может быть получен при сепарации воздуха, либо путем иных химических реакций. Упрощенная схема процесса показана на рис. 4.

Табл. 3

Пилотные проекты, предназначенные для проверки технологии отделения CO_2 после горения

Название проекта, владелец	Запланированная мощность, МВ	Количество полученного CO_2 , кт/год	Год начала работы
Mountaineer; American Electric Power	20	110	2009
Northeastern; American Electric Power	200	1000	2012
Project Pioneer; TransAlta	200	1000	2012

В 2008 году появилась первая инсталляция, предназначенная для исследования технологии кислородного горения. На электростанции Schwarze Pumpe в Германии, которая принадлежит компании Vattenfall AB, был отдан в эксплуатацию опытный энергоблок 30 МВ. Данная инсталляция предназначена для проведения исследования горелок, способов подачи смеси и др. в целях усовершенствования технологии процесса [6]. Очередным этапом является строительство пилотной инсталляции с мощностью 250 МВ в немецком городке Jämschwalde. Запланированный срок начала строительства – 2011 год, начало тестовой эксплуатации – 2015 год.

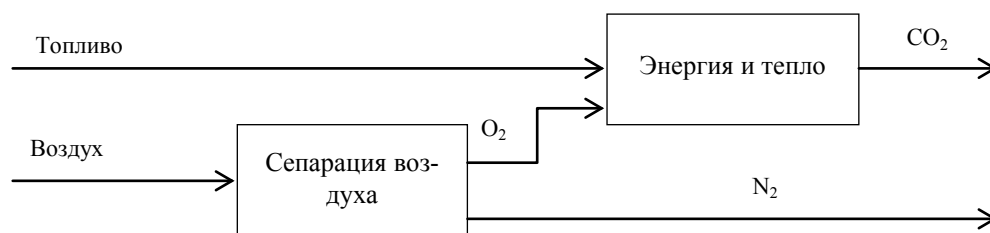


Рис. 4. Упрощенная схема сгорания топлива с отделением CO_2 после сгорания с использованием кислородного дутья

3. Подготовка электростанций к вводу в эксплуатацию инсталляций CCS

Выбор технологии не является простым вопросом. В настоящее время наибольшие шансы имеет технология отделения двуокиси углерода после горения, описанная в разделе 2.2. Эта технология используется уже в достаточно большой степени, при этом процессы, происходящие во время сепарации известны и хорошо отработаны. Дальнейшие исследования будут направлены на стабилизацию процесса и увеличение его экономической эффективности.

Технология, использующая кислородное дутье (раздел 2.3), находится в настоящее время на стадии тестирования. Она пока не используется в коммерческих целях и все технологические требования к процессу пока что не исследованы. Технология сепарации перед горением является наиболее дорогой, что сдерживает ее коммерческое использование.

В настоящее время все описанные выше технологии находятся на стадии лабораторных исследований или опытной эксплуатации. В основном испытания планируется завершить к 2020 году. Тем не менее, ряд строящихся или модернизируемых электростанций будет иметь статус Capture-Ready, т.е. готовых к

вводу инсталляции CCS (Carbon Capture and Storage, т.е. фиксация и хранение двуокиси углерода).

Электростанция, которая получит статус Capture-Ready, должна быть предприятием, на котором есть возможность модернизации существующих элементов. Основными требованиями, которые выдвигаются к инсталляции CCS, являются следующие:

- Электростанция должна иметь достаточно места для монтажа сепаратора воздуха (если предполагается использовать кислородное дутье), для установки реактора паровой конверсии (отделение CO₂ перед горением), для установки адсорбционной колонны (сепарация CO₂ после горения) и т.д.;
- Мощность электростанции должна быть большей, чем обычно рассчитываемая по пиковой нагрузке (15%), с тем, чтобы обеспечить дополнительную энергию для работы инсталляции CCS;
- Должен быть разработан план складирования двуокиси углерода.

В табл. 4 приведены [5] некоторые строящиеся электростанции, предназначенные для работы с инсталляциями CCS.

Табл. 4

Строящиеся электростанции со статусом Capture-Ready

Название	Планируемая мощность, МВ	Количество улавливаемого CO ₂ , Мт/год	Планируемый год ввода в эксплуатацию
Karsto, Norwegia	420	1,2	2012
Rotterdam, Holandia	1070	5,6	2013
Kingsnorth, Wielka Brytania	300	3	2014
Saline Joniche, Włochy	1320	3,9	2015
Ferrybridge, Wielka Brytania	500	1,7	2015
Tilbury, Wielka Brytania	1600	9,6	2016

4. Перспективы польской электроэнергетики

В Польше работает в настоящее время около 20 конвенциональных электростанций с мощностью более 500 МВ каждая, использующих в качестве топлива каменный или бурый уголь. На рис. 5 представлено их территориальное размещение по состоянию на 2009 год [7]. Такое неравномерное размещение обусловлено привязкой к источникам топлива, и прежде всего, к Силезскому угольному бассейну. Очевидно, что переброска электроэнергии в другие районы Польши по линиям высокого и сверхвысокого класса напряжений обходится значительно дешевле, чем строительство электростанций, отдаленных от мест добычи топливного сырья с его последующей доставкой.

В связи с описываемыми выше технологиями преимущество такого типа расположения электростанций может быть еще выше в связи с близостью возможных мест складирования углекислого газа, поскольку закрытые угольные шахты находятся достаточно близко. Свидетельствовать об этом могло бы сравнение с картой закрытых угольных шахт, представленной на рис. 6 [8]. Как видно из приведенного рисунка, большая часть шахт находится на территории Силезского воеводства.



Рис. 5. Размещение тепловых электростанция с мощностью свыше 500 МВ на территории Польши

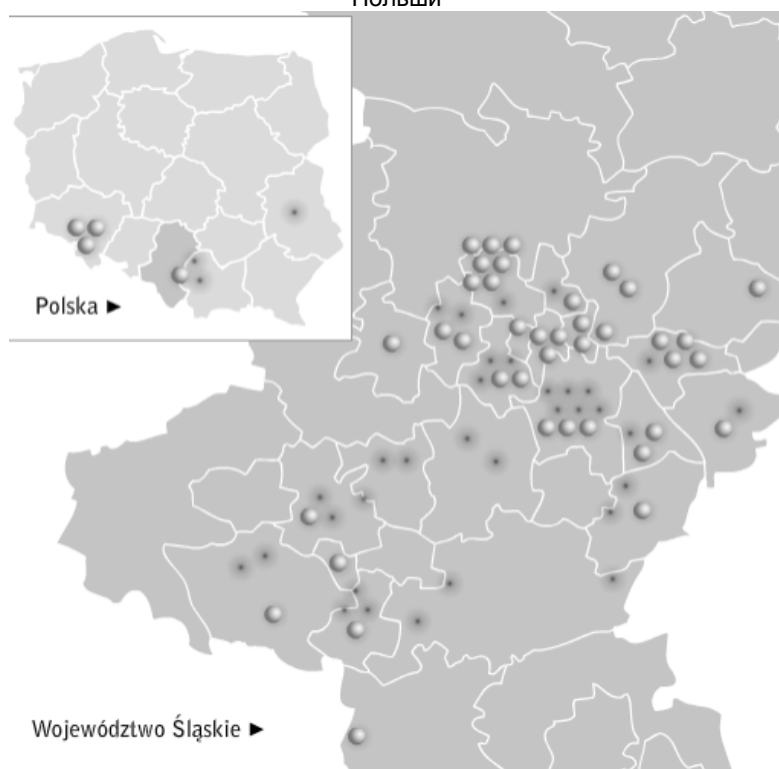


Рис. 6. Размещение закрытых шахт каменного угля на территории Силезского воеводства и Польши (показаны увеличенными точками)

В заключение отметим, что развитие в энергетике технологий, позволяющих отделить углекислый газ с его последующей транспортировкой и складированием, является делом еще не сегодняшнего дня, но ближайшего будущего. Существующая ситуация в польской экономике подталкивает к развитию и широкому использованию данных технологий. Очевидно, что решение данного вопроса является достаточно сложным и капиталоемким. Тем не менее, следует считать, что это единственно возможный способ решения экологических и связанных с этим экономических проблем народного хозяйства Польши.

В качестве определенного направления можно взять пример Германии, где 13.04.2011 правительство одобрило законопроект о подземном хранении углекислого газа по технологии CCS [9]. Следует также отметить, что существует большое количество скептических голосов, которые считают данный проект еще недостаточно проработанным, неоправданно дорогим и даже экологически вредным [10]. Тем не менее, считаем, что развитие описанных технологий для польских реалий является единственно возможным экономическим решением. Очевидно, существуют альтернативные способы снижения выбросов CO₂, например, строительство атомных или ветровых станций с одновременным снижением мощностей на конвенциональных станциях. Однако прогнозы сделанные польскими атомщиками [1] предвидят при появлении и наращивании мощностей на данного типа электростанциях сохранение энергетических мощностей на тепловых электростанциях, а значит проблему утилизации CO₂ все равно придется решать.

Список литературы

1. *Program Polskiej Energetyki Jądrowej* (Projekt). Warszawa, 2010.
http://bip.mg.gov.pl/files/upload/11379/program_pej_16082010_v2.pdf
2. 7 стран-членов ЕС готовы снизить выбросы CO₂ в атмосферу на 30%.
<http://zdorovja.com.ua/content/view/9019/53/>
3. *Dyrektywa 2003/87/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 13 października 2003 r. ustanawiająca system handlu przydziałami emisji gazów cieplarnianych we Wspólnocie oraz zmieniająca dyrektywę Rady 96/61/WE.* (Dz.U. L 275 z 25.10.2003, s. 32)
4. Cleveland C. J.: *Encyclopedia of Energy*. Elsevier, 2004.
5. Rackley S. A.: *Carbon capture and storage*. Amsterdam: Butterworth - Heinemann / Elsevier, 2010.
6. "Brifgin to the future," Newsletter on Carbon Capture and Storage at Vattenfall, Dec. 2010.
7. *En. Tradycyjna - Elektrownie konwencjonalne w Polsce.*
http://www.windpower.com.pl/articles/2/2_b_1.jpg
8. *Kopalnie węgla kamiennego zamknięte, zlikwidowane lub połączone w Polsce.*
<http://gornictwo.wnp.pl/kopalnie/>
9. *Германия утвердила закон о подземном хранении углекислого газа.*
<http://www.rusverlag.de/2011/04/13/10252/>
10. *Немецкие эксперты сомневаются в эффективности технологии CCS.*
<http://www.dw-world.de/dw/article/0,,4255554,00.html>

Sładkowski A., Iciek K.

TO THE PROBLEM OF CO₂ UTILIZATION IN POLISH POWER INDUSTRY

The paper presents the problems associated with utilization of CO₂ as a byproduct of power generation at thermal power plants. The modern methods of CO₂ utilization were considered. These advantages and disadvantages of various technologies were indicated. The situation with the solution of this problem in various countries of Europe and the world with special emphasis on the problems of the Polish energy sector was studied.

Key words: utilization of CO₂, CCS installation, the Polish power industry

Сладковський О., Ічек К.

ДО ПИТАННЯ УТИЛІЗАЦІЇ CO₂ У ПОЛЬСЬКІЙ ЕНЕРГЕТИЧНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

У роботі представлені проблеми, пов'язані з утилізацією CO₂, як побічного продукту при виробленні електроенергії на теплових електростанціях. Розглянуто сучасні способи утилізації CO₂. Вказані переваги та недоліки різних технологій. Вивчена ситуація з вирішенням даної проблеми в різних країнах Європи та світу зі спеціальним акцентом на проблеми польської енергетики.

Ключові слова: утилізація CO₂, інсталяція CCS, польська енергетика