

## ОБРАЩЕНИЕ С ЗОЛОШЛАКАМИ

## 3.7. Аналитические материалы

## 3.7.27. Прогноз производства энергии и ППСУ в Европе

*Х.-Й. Фоерборн, Европейская ассоциация побочных продуктов сжигания угля, Эссен, Германия*

## АННОТАЦИЯ

Ежегодно при сжигании угля на ТЭС Европы образуется более 145 млн т побочных продуктов сжигания угля (ППСУ). Поскольку образуется огромное количество ППСУ постоянного качества, то в ряде стран их стали использовать в качестве заместителей сырья природного происхождения, а также для производства строительных материалов. На производство и использование ППСУ в Европе оказывают влияние политические решения, экологические нормы и развитие рынка.

Наиболее важные политические решения, влияющие на работу электростанций, обусловлены введением пересмотренной Директивы о промышленных выбросах, нацеленной на эффективное сжигание и снижение предельно допустимых величин выбросов, а также на природоохранные инициативы и сокращение выбросов CO<sub>2</sub>. Эти меры приводят к закрытию или модернизации существующих и строительству новых электростанций. Это также приводит к увеличению использования биомассы для ее совместного сжигания с углем на угольных электростанциях, увеличению использования биомассы в котлах с ЦКС и котлах с твердых шлакоудалением, повышению выработки энергии на ветроустановках, за счет солнечных батарей, гидроэнергетики и др. С другой стороны, производство энергии за счет сжигания органического топлива уменьшается, а эксплуатация становится более гибкой.

При менеджменте ППСУ необходимо учитывать экологические нормы, особенно в отношении утилизации побочных продуктов сжигания угля. В связи с гармонизацией законодательства в области продуктов и отходов схемы оценки опасных свойств в настоящее время пересматриваются. Последовательная схема оценки является наиболее важной правовой базой для утилизации ППСУ, которые зарегистрированы как продукты согласно процедуре REACH. Но также согласно Директиве по строительным продуктам требуется дополнительная информация по санитарно-гигиеническим свойствам при сертификации в ЕС строительной продукции, что приводит к включению экологических требований в стандарты на продукцию.

В статье представлен обзор в области менеджмента ППСУ в Европе, описано влияние политических решений и экологических норм и целей в краткосрочной перспективе на количество и качество ППСУ.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

ППСУ образуются при производстве электрической энергии на угольных электростанциях. «ППСУ» является синонимом продуктов сгорания, таких как шлак и, особенно, летучая зола, образующихся при сжигании в котлах различных типов, а также продуктов сероочистки, таких как продукты распылительной сухой абсорбции и гипс.

В Европе производится более 145 млн т. ППСУ, около 48 млн т из которых приходится на 15 стран-

членов ЕС. Главным образом, ППСУ утилизируются в качестве заместителей природных материалов при производстве строительных материалов, в гражданском строительстве, в дорожном строительстве, при проведении строительных работ в подземных шахтах, а также с целью рекультивации и восстановления карьеров. Большая часть произведенных ППСУ удовлетворяет определенным требованиям стандартов или другим требованиям с учетом утилизации в определенных областях.

В последние годы в странах-членах ЕС выросло производство ППСУ в связи с юридическими требованиями по очистке дымовых газов. В некоторых странах, параллельно с таким развитием событий, сокращено или остановлено субсидирование систем добычи угля, в основном каменного угля. Необходимое количество угля импортируется из различных месторождений со всего мира. Кроме того, системы эксплуатации для производства экологически чистой энергии находятся в стадии разработки. К тому же, в результате требований по снижению выбросов CO<sub>2</sub> строятся более эффективные угольные электростанции, увеличено использование доли биомассы для совместного сжигания на угольных электростанциях, увеличено использование биомассы в котлах с ЦКС и котлах с твердым шлакоудалением, растет производство энергии за счет ветровых, солнечных установок, ГЭС и др.

Так как в некоторых европейских странах хорошо известно использование ППСУ, основанное на многолетнем опыте, а также на технических и экологических преимуществах, то они являются частью постоянного производства и, следовательно, спрос на них есть постоянно. Их наличие становится серьезной проблемой в некоторых странах-членах ЕС, так как образование ППСУ при сжигании импортного угля, использование биомассы для совместного сжигания с углем и производство энергии с помощью возобновляемых источников энергии приводит к снижению количества ППСУ. Кроме того, все более широкое использование ветроустановок приводит к нестабильным условиям эксплуатации некоторых угольных электростанций, что в дополнение к количеству и доступности ППСУ, также оказывает влияние на их качество, а также на соответствующие усилия, предпринимаемые на ТЭС.

## 2. ОБРАЗОВАНИЕ ППСУ

ППСУ образуются при производстве электрической и тепловой энергии на угольных электростанциях. Статистика ЕСОВА по производству и использованию ППСУ [1] отражает данные по типич-

ным продуктам сжигания угля, таким как: летучая зола, шлак котлов с твердым и жидким шлакоудалением, золошлаки котлов с кипящим слоем, а также продукты сухой или мокрой сероочистки дымовых газов, особенно, продукты распылительной сухой абсорбции (РСА) и гипс установок сероочистки дымовых газов. Однако, статистика ЕСОВА отражает ситуацию только в 15 странах-членах ЕС. Такая статистика ежегодно готовится членами ЕСОВА, начиная с 1993 г. ЕСОВА также работает над учетом таких данных своих членов в Польше, Чехии, Румынии и Сербии. Тем не менее, из-за отсутствия полных данных по утилизации ППСУ на рис. 1 представлены общие данные.

Динамика образования ППСУ в 15 странах-членах ЕС с 1993 до 2010 гг. представлена на рис.2. Общий объем образования ППСУ снизился с 57 млн т в 1993 г. до 55 млн т в 1999 г. и снова увеличился до 64 млн т в 2005 г. за счет повышения выработки электроэнергии и тепла на угольных электростанциях. С 2006 г. наблюдается постоянный рост производства ППСУ. В 2010 г. суммарное количество ППСУ, произведенных на ТЭС 15 стран-членов ЕС насчитывало 48 млн т.

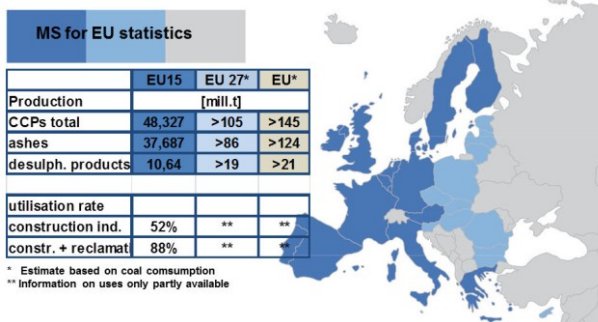


Рис.1. Образование и утилизация ППСУ в Европе [1]

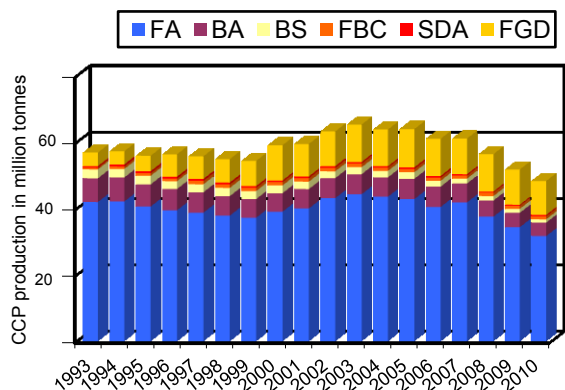


Рис.2. Динамика производства ППСУ в Европе (ЕС-15) с 1993 г. по 2010 г. (FA – летучая зола; BA – шлак котлов с ТШУ; BS – шлак котлов с ЖШУ; FBC – сжигание в котлах с кипящим слоем; SDA – продукты распылительной сухой абсорбции; FGD – гипс установок сероочистки) [1]

Снижение производства ППСУ имело место за счет уменьшения выработки электроэнергии на угольных ТЭС в некоторых странах вследствие экономического и промышленно-финансового кризиса 2008 г., а также в связи с политическими решениями по снижению выбросов CO<sub>2</sub>, приводящими к повышению производства энергии за счет ВИЭ. Необ-

ходимо отметить, что статистика ЕСОВА относится к 15 странам-членам ЕС. Общее количество ППСУ в 27 странах-членах ЕС существенно не уменьшилось, т.к. в 12 странах-членах ЕС электричество, в основном, вырабатывается на угольных ТЭС, при этом общее количество произведенных ППСУ оценивается в более, чем 105 млн т.

### 3. УТИЛИЗАЦИЯ ППСУ

ППСУ, главным образом, утилизируются в промышленности строительных материалов, гражданском и дорожном строительстве, при проведении строительных работ в подземных горных выработках, а также для целей рекультивации и восстановления открытых карьеров. В 2010 г. около 52 % общего количества ППСУ было использовано в строительной индустрии, гражданском строительстве и при производстве строительных материалов, для закладки шахт и около 40 % ППСУ было использовано для рекультивации карьеров и рудников. Около 2 % ППСУ складировалось временно с целью их дальнейшей утилизации и около 6 % ППСУ размещалось на золоотвалах с целью их долговременного складирования (рис.3).



Рис.3. Утилизация и размещение ППСУ в Европе (ЕС 15) [1]

### 4. ВЛИЯНИЕ ПОЛИТИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ НА ОБРАЗОВАНИЕ ППСУ

На производство энергии и тепла на угольных электростанциях, а также на образование ППСУ оказывают влияние политические решения и соответствующее законодательство. Политические решения вводятся либо законодательным путем, т.е. путем введения национального законодательства, либо европейских стандартов после их публикации в официальных журналах ЕС, либо Директив, которые должны вводиться в национальное законодательство в течение соответствующего периода, когда эти документы подлежат совместному существованию. Решения относительно производства энергии и тепла на угольных ТЭС влияют либо на технологию производства энергии, либо на процесс сжигания. Решения по технологии производства энергии можно описать заголовком “Чистые угольные технологии”. Наиважнейшие решения и их влияние на работу угольных ТЭС и на образование ППСУ описаны ниже.

#### 4.1 ЧИСТЫЕ УГОЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – ВЛИЯНИЕ ДИРЕКТИВ

Промышленная деятельность, в том числе, сжигание угля на электростанциях, оказывает значительное воздействие на окружающую среду, которое должно быть минимально возможным. Таким образом, выбросы от промышленных установок являются предметом рассмотрения общеевропейским законодательством. Отдельные государства-члены ЕС могут принимать свои национальные законы, но и все страны-члены должны также выполнять директивы ЕС, хотя отступления также возможны. Наиболее важными директивами являются:

- IPPC – Директива о комплексном предотвращении и контроле загрязнений;
- LCP - Директива о крупных топливосжигающих установках;
- IED – Директива о промышленных выбросах.

В Директиве о комплексном предотвращении и контроле загрязнений [2] изложены основные принципы выдачи разрешений и контроля установок на основе комплексного подхода и применения наилучших доступных технологий (НДТ) [3]. Она охватывает все выбросы и общие характеристики топливосжигающих установок.

Директива о крупных топливосжигающих установках [4] направлена на снижение кислотности, озона и твердых частиц в приземном слое путем контроля выбросов диоксидов серы, оксидов азота и золы от крупных установок (т.е. установок с номинальной тепловой мощностью, равной или более 50 МВт). Выбросы от всех топливосжигающих установок, построенных после 1987 г., должны соответствовать требованиям по предельным выбросам согласно Директиве о крупных топливосжигающих установках. Электростанции, введенные в эксплуатацию до 1987 г., считаются существующими. Выбросы от существующих установок могут либо соответствовать требованиям Директивы о крупных топливосжигающих установках за счет применения оборудования для их снижения (сероочистки дымовых газов) или отказа от Директивы. Существующие установки, в которых не соблюдается Директива, находят ограничения в эксплуатации после 2007 г. и должны быть выведены из работы к концу 2015 г. В связи с этим, несколько старых котлов, работающих в странах-членах ЕС, будут закрыты или модернизированы.

Директива IE [5] следует за Директивой о комплексном предотвращении и контроле загрязнений, и, по сути, речь идет о минимизации загрязнений от различных промышленных источников во всем Европейском Союзе. Директива IE заменяет Директиву IPPC и отраслевые Директивы по состоянию на 7 января 2014 г., а также отменяет Директиву LCP с 1 января 2016 г.

В результате такого регулирования сведения о выбросах ТЭС публикуются в Европейском регистре выбросов и переноса загрязнителей (E-PRTR [6]), который заменяет и совершенствует предыдущий Европейский регистр выбросов загрязнителей

(EPER).

Оценка сокращения выбросов в течение нескольких лет может быть наилучшим образом показан на примере оксидов серы (рис. 4). На рис. 4 представлены величины наибольшего снижения выбросов основных вредных веществ с 1990 г. в Европейском Союзе. Выбросы вредных веществ в 2008 г. были на 78 % меньше, чем в 1990 г., в основном, за счет их сокращения в 15 странах-членах ЕС. Стоит отметить, что выбросы оксидов серы снизились довольно резко, на 20 % в 2008 г. по сравнению с 2007 г., в основном, за счет их снижения в Болгарии, Польше и Испании. Сокращение выбросов вредных веществ в каждом из этих государств-членов ЕС имело место, в основном, за счет их уменьшения от муниципальных электростанций. Например, в Испании сокращение выбросов в значительной степени обусловлено уменьшением сжигания более загрязняющих углей, увеличением сжигания природного газа и биомассы, а также ростом производства электроэнергии ветровыми и солнечными энергоустановками [7].

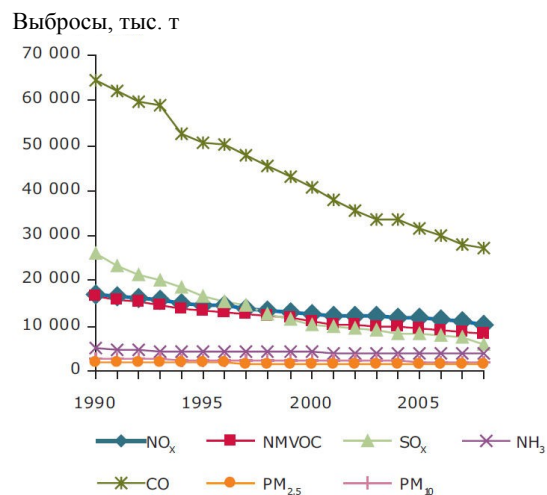


Рис. 4. Выбросы основных загрязняющих веществ в 27 странах-членах ЕС [7]

Одновременно со снижением выбросов вредных веществ увеличивается количество остатков, образовавшихся в процессе очистки дымовых газов, например, летучей золы и гипса установок сероочистки. Дальнейшее их увеличение приводит к внедрению Директивы IE в странах-членах ЕС. При этом учитывается то, что закрываются, реконструируются и строятся новые электростанции. Вместе с этим важно изменение условий эксплуатации, т.к. в большинстве западноевропейских стран энергия будет производиться, прежде всего, за счет ВИЭ, а производство энергии за счет органического топлива будет считаться все более резервным вариантом. Однако, в некоторых странах производство энергии было на том же уровне или даже выше, чем год назад, что также было вызвано закрытием национальных угольных шахт и использованием импортного угля зачастую с меньшей зольностью.

За счет реконструкции электростанций в странах Восточной Европы ожидается увеличение образо-

вания гипса установок сероочистки. Однако, этот эффект уменьшится при увеличении производства энергии за счет ВИЭ в странах Западной Европы.

#### **4.2. ЧИСТЫЕ УГОЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – ВЛИЯНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПЛАНОВ**

Представители 37 промышленно развитых стран 11 декабря 1997 г. договорились о сокращении выбросов парниковых газов в среднем на 5 % по сравнению с уровнем 1990 г. на пятилетний период с 2008 по 2012 гг. Это Соглашение известно как Киотский протокол [8], который вступил в силу в 2005 г. Протокол связан с Рамочной конвенцией Организации Объединенных Наций об изменении климата [9]. Конвенция поощряет промышленно развитые страны в плане стабилизации выбросов парниковых газов, а Протокол обязывает их делать это.

Одним из инструментов, приведенных в Киотском Протоколе для достижения целей сокращения выбросов парниковых газов, является механизм чистого развития (МЧР). МЧР позволяет в проектах сокращения выбросов парниковых газов в развивающихся странах получать сертифицированные кредиты за сокращение выбросов (КСВ), каждый эквивалентный одной т CO<sub>2</sub>. Эти КСВ можно продавать и использовать в промышленно развитых странах с целью достижения части своих целей по сокращению выбросов в рамках Киотского Протокола. Механизм стимулирует устойчивое развитие и сокращение выбросов парниковых газов, предоставляя промышленно развитым странам некоторую гибкость в том, как они выполняют свои цели по сокращению выбросов парниковых газов.

В декабре 2008 г. Европейский парламент и Совет одобрили так называемый «Пакет инициатив в области сохранения климата и энергетики», который вступил в силу в 2009 г. В законодательном пакете введено то, что в целом известно, как цели ЕС-20-20-20, которые должны быть достигнуты к 2020 г.:

- Сокращение выбросов парниковых газов минимум на 20 % по отношению к уровню 1990 г.;
- Увеличение доли возобновляемой энергетики до 20 %;
- Повышение энергетической эффективности в ЕС на 20 %.

С помощью этого пакета были введены дополнительные законы для поощрения использования ВИЭ, геологического хранения CO<sub>2</sub> и пересмотренная схема торговли квотами на выбросы CO<sub>2</sub> (ПГ). С 2013 г. значительно изменится система распределения разрешений на выбросы по сравнению с двумя предыдущими периодами торговли (с 2005 по 2012 гг.). Во-первых, квоты на выбросы будут распределены в соответствии с полностью гармонизированными общеевропейскими правилами. Во-вторых, продажа на аукционе станет правилом для энергетики, то есть разрешения на выбросы больше не будут выделяться бесплатно.

Кроме того, в ЕС считается, что существует потенциал для дальнейшего снижения выбросов ПГ. В

статье 28 пересмотренной схемы торговли выбросами ПГ предусмотрена адаптации уже амбициозной обязательной цели сокращения выбросов ПГ на 20 %...30% в 2020 г., если будет достигнуто международное соглашение. Европейский Совет также дал долгосрочное обязательство в части обезуглероживания с целью сокращения выбросов в ЕС и других промышленно развитых странах от 80 до 95 % к 2050 г. [10]. Для достижения этой амбициозной цели 15 декабря 2011 г. Европейская комиссия приняла договоренность о реализации энергетического плана развития до 2050 г. В энергетическом плане развития до 2050 г. Еврокомиссия исследует проблемы, сформулированные при постановке цели по обезуглероживанию в ЕС, в то же время, обеспечивая безопасность энергоснабжения и конкурентоспособности. Энергетический план развития до 2050 г. является основой для разработки долгосрочной европейской структуры вместе со всеми заинтересованными сторонами.

Европейская Комиссия 4 февраля 2014 г. опубликовала первые предложения по своей Рамочной концепции в области энергетики и климата до 2030 г. [11]. Наиболее важным является предложение Комиссии по обеспечению обязательного сокращения выбросов парниковых газов на 40%, и, следовательно, повышения уровня выработки энергии за счет ВИЭ до 27%. Комиссия также опубликовала законопроект по структурным реформам Схемы торговли выбросами.

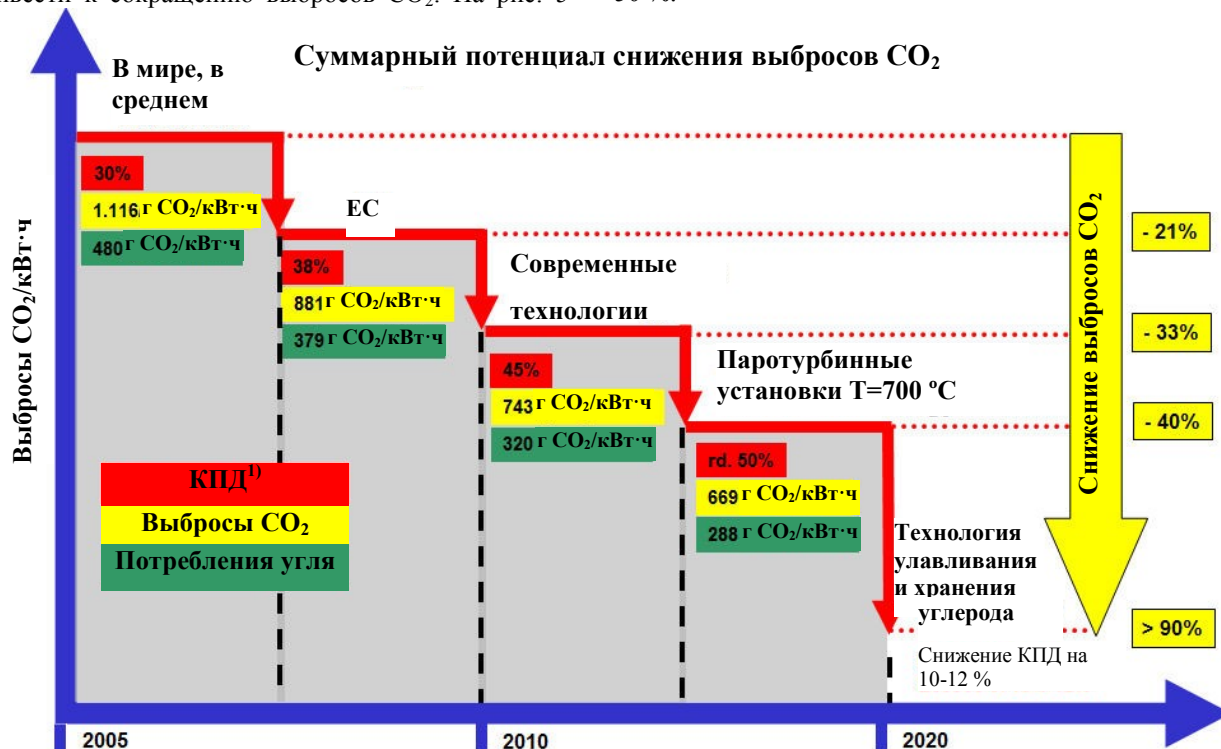
Концепция до 2030 г. обеспечивает прогнозируемые и конкретные цели в области энергетики и климата, применимые с 2020 по 2030 гг. (цитата из [12]):

1. Цель по снижению уровня выбросов парниковых газов на 40 % от уровня 1990 г. должна быть достигнута только за счет применения внутренних мер (т.е. без использования международных кредитов). Это будет гарантировать, что ЕС находится на пути экономической эффективности, что изложено в Плана развития Комиссии по снижению выбросов углерода, а также на пути к достижению цели по сокращению выбросов на 80-95 % к 2050 г.
2. Повышение уровня выработки энергии за счет ВИЭ, по меньшей мере, до 27% от уровня 1990 г. с учетом гибкости показателей для стран ЕС и установлением национальных целей. Это позволит получить значительные преимущества с точки зрения более широкого использования местных источников энергии и с точки зрения торговли энергией. Эта цель и дальше будет стимулировать рост в секторе применения ВИЭ, например, при увеличении доли выработки энергии за счет ВИЭ с 21 % в настоящее время до, по меньшей мере, 45% в 2030 г.
3. Энергоэффективность является ключевым компонентом Концепции 2030 г., и Комиссия вернется к этому позже в этом году, после оценки прогресса, достигнутого при выполнении цели на 2020 г., предусмотренной в Директиве по

энергоэффективности, работа по которой будет завершена в 2014 г.

Инструментом промышленности для сокращения выбросов ПГ является, с одной стороны, повышение энергоэффективности; с другой стороны, более эффективное использование угля также может привести к сокращению выбросов CO<sub>2</sub>. На рис. 5

представлен потенциал снижения CO<sub>2</sub> от европейских электростанций вместе с энергоэффективностью, топливопотреблением и, на основе этого, суммарных выбросов CO<sub>2</sub>. КПД современных европейских ТЭС составляет около 45%, и при строительстве новых электростанций будет увеличен до 50 %.



1) Средние данные для ТЭС, сжигающих каменные угли

Рис. 5. Эффективность ТЭС и потенциал снижения CO<sub>2</sub> в энергетической отрасли ЕС [13]

Дальнейшее снижение выбросов ПГ за счет улавливания и хранения CO<sub>2</sub> приведет к меньшему его уровню, но будет противодействовать всем усилиям по повышению энергоэффективности, приводя к снижению КПД на ТЭС на 10...12 % [13].

При строительстве новых электростанций страны-члены ЕС, с одной стороны, готовы удовлетворять растущий спрос на электроэнергию и, с другой стороны, выполнять цели по сокращению выбросов ПГ. В связи со специфической ситуацией в каждой стране (собственные запасы угля, доступность рек для целей гидроэнергетики, возможность торговли по морю и т.д.) энергетические планы в каждой стране разные.

В связи с объявлением о реализации проектов производства энергии с помощью ветроустановок, ГЭС, АЭС, ТЭС при сжигании бурого угля и торфа, каменного угля, нефти и газа на рис. 6 показан способ повышения энергоэффективности в ЕС, а также увеличения доли ВИЭ. С увеличением сжигания биомассы без добавок нагрузка на угольные ТЭС уменьшается. Совместно с использованием других возобновляемых источников энергии, производимой на ветроустановках, солнечных электростанциях и ГЭС, в некоторых странах наблюдается переход от базовой нагрузки к частично пиковой.

Это оказывает влияние на техническое обслуживание электростанций и, следовательно, на себестоимость продукции. Кроме того, это влияет и на объемы образования и качество ППСУ. Поэтому следует уделить больше внимания объемам образования ППСУ.

В проектах по новым угольным ТЭС общей мощностью 42,565 ГВт производство энергии частично начато или скоро начнется. Эти ТЭС будут частично заменять старые электростанции. Далеко продвинулось строительство угольных ТЭС в Германии и Нидерландах, и на первой из них в ближайшее время ожидается производство электроэнергии (табл.1).

Все ТЭС в Нидерландах и Германии, на которых будет сжигаться каменный уголь, спроектированы и предназначены для сжигания импортного угля, а также для совместного сжигания углей с добавками в больших пропорциях. Котлы и установки управления технологическими процессами предназначены для производства летучей золы с целью ее использования для изготовления бетонов в соответствии со стандартом EN 450.

На основе многолетнего опыта совместного сжигания материалов в больших пропорциях в пересмотренном стандарте EN 450-1 будет рассматриваться качество золы совместного сжигания углей с

добавками в объеме до 40 % (50 % в случае свежесрубленной древесины). Котлы, предназначенные для сжигания бурых углей, спроектированы для

сжигания особых марок углей, добываемых вблизи ТЭС. Кроме того, эти котлы спроектированы для совместного сжигания топлива с добавками.

Доли источников энергии в 2007-2020 гг. при строительстве новых ТЭС по состоянию на февраль 2014 г.

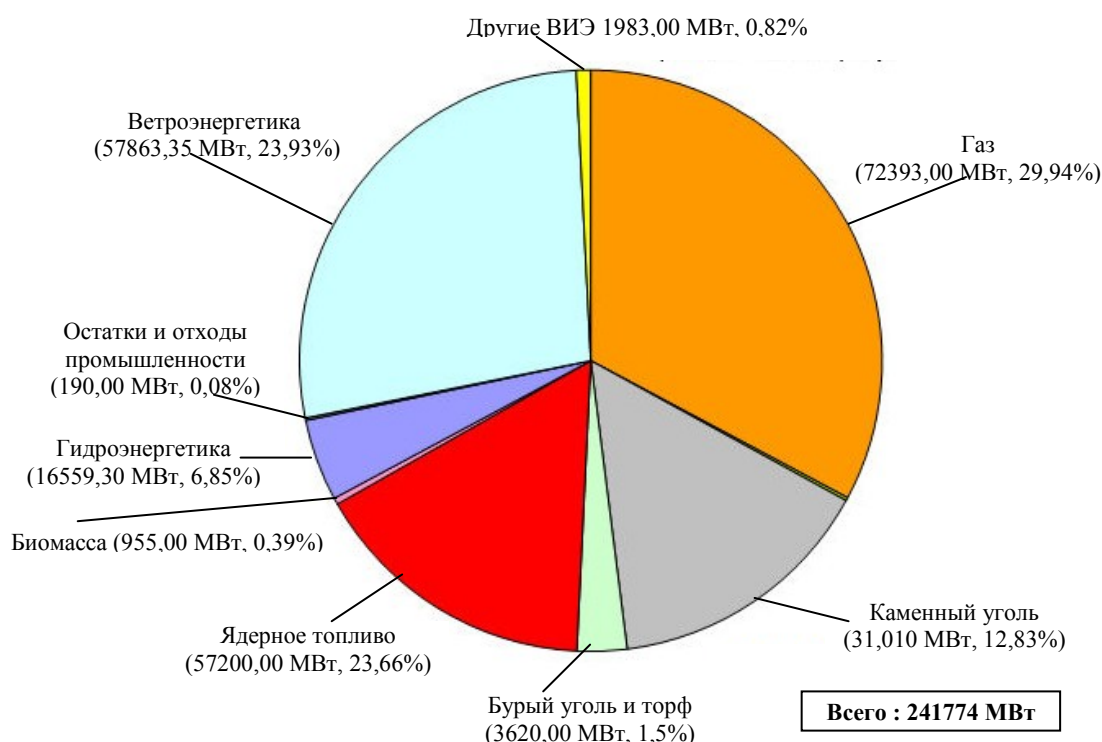


Рис. 6. Новые проекты по ТЭС в Европейских странах-членах [14]

Новые угольные ТЭС удовлетворяют требованиям по улавливанию и хранению углерода - выделению  $\text{CO}_2$  из промышленных процессов и его безопасному и долговременному хранению. Сегодня большинство спроектированных ТЭС технологически подготовлено для улавливания и хранения углерода. Это означает, что они предназначены для применения технологий по снижению выбросов  $\text{CO}_2$ , в то время как продолжаются научные исследования в области улавливания углерода и рассматриваются технологии и соответствующие места для его хранения на этих ТЭС. Для выделения и хранения углерода необходимо реализовать 3 этапа: выделение  $\text{CO}_2$  на электростанциях, транспортирование и хранение.

Существует три основных вида технологий для выделения  $\text{CO}_2$  из топлива или дымовых газов:

- дожигание;
- предварительное сжигание;
- кислородное сжигание.

Основная технология существует для каждого из решений, и она частично проверена, по крайней мере, на опытных или небольших промышленных установках. Тем не менее, необходимо учитывать увеличение мощности существующих установок и стоимость  $\text{CO}_2$ -сертификатов. Сомнения имеются в

отношении увеличения мощности установок и их стоимости. В нескольких различных местах успешно доказана возможность геологического хранения  $\text{CO}_2$ , выделенного на установках производительностью 1 млн т/год. Очень большое значение имеет правильная оценка локальных зон хранения. В настоящее время в Восточной Германии были остановлены испытания по хранению  $\text{CO}_2$  в глубоких подземных выработках. Возможность транспортирования  $\text{CO}_2$  проверена в существующих длинных трубопроводных сетях, особенно в Северной Америке. Разумная осторожность требуется вследствие того, что  $\text{CO}_2$  содержит примеси. Обсуждение этого аспекта, например в Германии, вызвало массу вопросов у общественности.

#### Дожигание

Снижение уровня  $\text{CO}_2$  за счет дожигания - процесс, в котором  $\text{CO}_2$  удаляется из смеси газов после сжигания природного топлива. Когда такое природное топливо, как уголь, мазут или природный газ сжигается на традиционной ТЭС, дымовые газы содержат некоторое количество  $\text{CO}_2$ , обычно в диапазоне от нескольких до 10 %. Остальную часть составляют, в основном, азот или пары воды.

Таблица 1. Новые ТЭС в странах ЕС [15] (с учетом базы данных VGB по новым проектам по ТЭС)

Страна	Название ТЭС	Название УК	Место расположения ТЭС	Кол-во блоков	Мощность блока, МВт	Общая мощность, МВт	Основное топливо	Начало проекта	Пуск блока	Статус
Германия	Даттельн 4	E.ON	Даттельн	1	1055,0	1055,0	КУ	2007	2013	Ведутся работы
Германия	Вальсум 10	STEAG/Evonik	Дуисбург-Вальсум	1	725,0	725,0	КУ	2005	2013	Ведутся работы
Германия	Мoorбург 3-4	Vattenfall Europe	Гамбург-Мoorбург	2	820,0	1640,0	КУ	2006	2014	Ведутся работы
Германия	Вестфален Д-Е	RWE Power	Хамм-Уэнтроп	2	800,0	1600,0	КУ	2008	2013	Ведутся работы
Германия	Райнфален РДК 8	EnBW	Карлсруэ	1	874,0	874,0	КУ		2013	Ведутся работы
Германия	Люнен	Trianel Power	Люнен	1	750,0	750,0	КУ	2007	2013	Ведутся работы
Германия	ГКМ 9	Grosskraftwerk Mannheim AG	Маннхайм	1	912,0	912,0	КУ		2015	Ведутся работы
Германия	Виэлмсхавен	GDF Suez, BKW Energie AG	Виэлмсхавен	1	800,0	800,0	КУ		2013	Ведутся работы
Нидерланды	Емсхавен	RWE Power	Емсхавен	1	1600,0	1600,0	КУ	2008	2014	Ведутся работы
Нидерланды	Маасвлакте	Electrabel		1	750,0	750,0	КУ	2007	2012	Ведутся работы
Нидерланды	Маасвлакте 3	E.ON Benelux	Маасвлакте	1	1100,0	1100,0	КУ	2006	2012	Ведутся работы
Чехия	Ледвице 4	CEZ AS	Ледвице	1	660,0	660,0	БУ		2013	Ведутся работы
Польша	Козенице 11	Enea Wytwarzanie	Козенице	1	1075,0	1075,0	КУ	2012	2017	Ведутся работы

Существует несколько вариантов выделения  $\text{CO}_2$  из этой смеси газов путем улавливания  $\text{CO}_2$  при дожигании. Наиболее распространенный процесс – это абсорбция, основанная на химической реакции между  $\text{CO}_2$  и соответствующим абсорбентом в системе скрубберов, где дымовые газы ТЭС смешиваются с абсорбентом, растворенным в воде. Амины и карбонаты – традиционные абсорбенты, которые используются сегодня.

После процесса абсорбции абсорбент и  $\text{CO}_2$  выделяются в регенерационной колонне. В результате этого образуются поток чистого  $\text{CO}_2$  и поток абсорбента, который можно повторно использовать в скрубберной колонне.  $\text{CO}_2$  затем сжимают и отправляют для его дальнейшего использования или хранения. Процесс дожигания особенно рекомендован для модернизации существующих электростанций с технологией улавливания и хранения углерода.

#### Предварительное сжигание

$\text{CO}_2$  может быть выделен из природного топлива до сжигания, что является так называемым *методом* выделения  $\text{CO}_2$  до сжигания топлива. *Принцип* этого процесса состоит в том, чтобы сначала преобразовать природное топливо в  $\text{CO}_2$  и водород  $\text{H}_2$ . Затем  $\text{H}_2$  и  $\text{CO}_2$  выделяются так же, как в процессе *дожигания*, хотя при этом можно использовать установку меньшей мощности. В результате этого образуется газ, насыщенный водородом, который можно использовать на электростанциях или в качестве автомобильного топлива. При сжигании водорода  $\text{CO}_2$  не образуются. В случае улавливания  $\text{CO}_2$  с использованием технологии предва-

рительного сжигания можно снизить уровень выбросов  $\text{CO}_2$  от ТЭС на 90 % процентов. Поскольку при использовании этой технологии требуются значительные изменения на ТЭС, она является единственной реальной для новых электростанций, а не существующих ТЭС. Это не вариант для пылеугольных ТЭС, составляющих основную часть существующих мощностей. Тем не менее, это вариант для парогазовых установок с внутрицикловой газификацией угля.

#### Кислородное сжигание

Снижение уровня  $\text{CO}_2$  за счет организации кислородного сжигания очень похоже на процесс дожигания с улавливанием  $\text{CO}_2$ . Основным отличием его является то, что сжигание осуществляется при наличии чистого кислорода вместо воздуха, что может привести к более высокой температуре горения. В результате этого дымовые газы содержат, в основном,  $\text{CO}_2$  и водяной пар, которые можно легко разделить. В ходе этого процесса можно уловить до 100 %  $\text{CO}_2$ .

Тем не менее, получение чистого кислорода является дорогостоящей мерой. В настоящее время доступные технологии получения чистого кислорода, главным образом, основываются на криогенном разделении воздуха. Здесь воздух охлаждается ниже точки кипения перед разделением сжиженного кислорода, азота и аргона. Тем не менее, большое количество энергии, необходимого для этого процесса, приводит к его существенному удорожанию, и для решения этого вопроса проводится большое количество научных исследований в целях разработки мембран, которые позволят выделять кислород из

воздуха менее затратно.

Для информирования о ходе развития процесса и расширения знаний об успешном использовании методик улавливания и хранения углерода была создана платформа с нулевым выбросом [16].

Процессы предварительного сжигания и дожигания не будут существенно влиять на объемы образования ППСУ, так как процессы сжигания угля и сероочистки остаются неизменными. Однако ожидается, что более высокая температура горения в при кислородном сжигании окажет влияние на качество ППСУ.

### **4.3. ВЛИЯНИЕ ДРУГИХ АСПЕКТОВ**

#### **4.3.1. Соотношение выработки энергии и производственных затрат**

При росте выработки энергии за счет ВИЭ большое значение имеет влияние эксплуатационных затрат и цен на ископаемое топливо. Цель состоит в том, чтобы сократить антропогенные выбросы CO<sub>2</sub> и ослабить зависимость от ископаемых источников топлива, которые со временем истощаются. Кроме использования ГЭС, что ограничено наличием и доступностью рек или прибрежных районов, в некоторых странах наблюдался существенный рост производственных мощностей с использованием ветро- и фотоэлектрических установок для выработки энергии. Ввод тарифов гарантирует низкую себестоимость продукции, которая подлежит продаже на энергетическом рынке. С другой стороны, цены на ископаемые виды топлива меняются поразному. В то время, как цена на импортируемый газ резко возросло за последние годы, цена на импортируемый уголь выросла несильно. Страны с собственными запасами каменного и бурого угля имеют преимущества и могут корректировать стоимость выработки энергии.

Тем не менее, что касается стоимости энергии, важное значение имеет торговля электроэнергией на электронных торговых площадках. Они были созданы после либерализации европейских энергетических рынков. До их либерализации электроэнергия поступала от нескольких производителей и выдавалась потребителям в отдельные регионы. Долгосрочные контракты были заменены на краткосрочные. Валютные рынки были введены для заключения контрактов по адекватным ценам. Расчет по средней стоимости был заменен на расчет по предельным затратам. Торговля на валютных рынках управляется спотовыми рынками электроэнергии, что означает торговлю электроэнергией на следующий день (на день вперед) или в ближайшие часы (в пределах дня), и фьючерсами с долгосрочными контрактами. Для спотовых рынков прогнозы на следующий день являются очень важными и при этом основываются на 15-минутном прогнозе.

Впервые торговля электроэнергией через электронные площадки осуществлялась на бирже Nord-Pool, которая образовалась в результате первоначальной либерализации скандинавского рынка электроэнергии в 1993 г. В 1999 г. был основана

Амстердамская энергетическая биржа, в 2000 г. во Франкфурте, Германия - Европейская энергетическая биржа, которая слилась с Лейпцигской энергетической биржей в 2002 г.

Из-за высокой себестоимости производства энергии в зависимости от источников и, кроме того, установленных мощностей ветро- и фотоэлектрических установок, а также в связи с системами субсидирования и юридическими требованиями по выдаче электроэнергии, прежде всего, за счет ВИЭ, уменьшается нагрузка на традиционные электростанции в солнечные и ветреные дни. Когда при подобной ситуации имеется низкий спрос, как, например, в выходные дни, то экспорт растет, а цены на энергию падают. Но если требуется энергия, вырабатываемая при сжигании ископаемых видов топлива в связи с отсутствием энергии за счет ВИЭ, то цена на электроэнергию не покрывает себестоимость ее производства. В этой ситуации необходимо политическое регулирование для обеспечения резервных мощностей.

#### **4.3.2. Добыча угля**

Влияние других факторов на выработку электроэнергии угольными ТЭС основано на сжигании импортируемого угля в связи с уменьшением или прекращением национальной добычи угля.

В Бельгии национальная добыча угля достигла максимума 30 млн т в период с 1952 г. по 1953 г. Валлонские шахты были закрыты в конце 1950-х гг., а Лимбургские шахты — через 20 лет. Последняя шахта в Бельгии была закрыта в 1992 г.

В Нидерландах каменный уголь добывали с 1900 г. до середины 1970-ых гг. в районе Южного Лимбурга. На северо-западной окраине немецкого бассейна бурого угля вблизи Кельна бурый уголь добывался открытым способом с 1925 г. по 1968 г. В настоящее время Роттердам является крупнейшим портом для импорта угля в Европу.

В Германии из более, чем 150 шахт в 1950-х гг. осталось только 8, которые подлежат закрытию в 2018 г. Шахты останутся только в трех основных районах добычи бурого угля - в западной части вблизи Кельна, в средней части вблизи Лейпцига и в области Лужица на границе с Польшей.

ТЭС, работающие на каменном угле, будут вынуждены сжигать импортный уголь в большей степени, чем сейчас. Это приведет к затрате значительных усилий для обеспечения надлежащего качества золошлаков с целью их использования в различных областях экономики, а также к образованию нестабильного количества золошлаков в связи с разной зольностью сжигаемого импортируемого угля.



### 4.3.3 Стандарты продукции

В ноябре 2005 г. CEN учредил новый технический комитет (CEN/TC 351) «Строительная продукция: оценка выброса опасных веществ». TC 351 разработал стандартизованные методы оценки согласованных подходов, связанных с выбросом регламентированных опасных веществ в соответствии с Директивой о строительной продукции (CPD), которая была частично заменена Нормативными документами по Строительным Изделиям в апреле 2011 г. и полностью заменена 1 июля 2013 г., с учетом предполагаемых условий использования продукта. В них рассматриваются выбросы в воздух помещений, почву, поверхностные и грунтовые воды.

Стандарты по выбросам в воздух помещений, почву и грунтовые воды относительно вяжущих материалов будут опубликованы в качестве технических отчетов комитетов CEN. В настоящее время продолжается тестирование этих стандартов по прочностным характеристикам. Метод выщелачивания веществ из невяжущих материалов все еще находится в стадии разработки, т.к. два разных теста по выщелачиванию путем просачивания с восходящими колонками неприемлемы для Комиссии. TC 351 работает над альтернативным способом оценки.

При маркировке CE (знак, означающий, что продукт соответствует требованиям ЕС по безопасности продукции) в стандартах на продукцию должна быть добавлена вся информация по регламентированным опасным веществам. Стандарты по наполнителям являются первыми стандартами, в которых необходимо определить контролируемые вещества и предложить методики их определения. Промышленность работает над досье со всеми соответствующими данными с целью выдачи решения о необходимости проведения регулярного тестирования наполнителей на опасные вещества (WT - без процедуры тестирования; WFT - без процедуры дальнейшего тестирования, и FT – необходима процедура дальнейшего тестирования).

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Уголь является основным топливом для производства энергии и пара на угольных ТЭС Европы. По оценке в 27 странах-членах ЕС образуется ППСУ в количестве около 105 млн т в год (48 млн т в 15 странах-членах ЕС в 2010 г.). Политическое решение относительно чистых угольных технологий привело к технологическим изменениям на ТЭС и установке систем серо- и азотоочистки, что привело к повышению уровня образования ППСУ в странах с неразвитым рынком их использования.

Решение о сокращении выбросов CO<sub>2</sub> привело к росту сжигания биомассы и большему использованию ВИЭ (ветроустановки, солнечные электростанции, гидроэнергетика) для производства электроэнергии. Оно также вынуждает угольные ТЭС больше работать в период пиковых нагрузок или находиться в резерве. При строительстве новых угольных ТЭС должны учитываться технологии

улавливания и хранения CO<sub>2</sub>, которые все еще находятся в разработке.

Тем не менее, в северо-западной Европе в срочном порядке строятся несколько угольных ТЭС. Реализуются проекты стран восточной Европы. Модернизация существующих ТЭС позволит их эксплуатировать и в будущем. Ожидается, что уголь будет и в дальнейшем играть важную роль для производства электроэнергии в Европе, хотя в отдельных странах ситуация меняется.

На основании принимаемых политических решений и планов, оказывающих влияние на энергетическое производство в странах-членах ЕС, и, соответственно, на образование ППСУ, ожидается, что уголь будет играть важную роль при производстве энергии в Европе. Энергетическая промышленность предпримет все усилия для постоянного обеспечения высококачественными ППСУ рынка строительных материалов.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ ИНФОРМАЦИИ

1. **ECOVA:** Statistics on Production and Utilization of CCPs in Europe (EU 15) in 2010
2. **IPPC:** Council Directive 96/61/EC of 24 September 1996 concerning integrated pollution prevention control
3. **BAT:** Best Available Techniques, Integrated Pollution Prevention and Control Reference Document, July 2006; <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/lcp.html>
4. **LCPD:** DIRECTIVE 2001/80/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 23 October 2001 on the limitation of emissions of certain pollutants into the air from large combustion plants
5. **IED:** Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control) (recast)
6. **E-PRTR:** European Pollutant Release and Transfer Register (E-PRTR); <http://prtr.ec.europa.eu/>
7. **LRTAP:** European Union emission inventory report 1990–2008 under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (LRTAP), EEA Technical Report 7/2010, ISSN 1725-2237
8. **Kyoto protocol** on the United Nations Framework Convention Climate Change, 2008
9. **UNFCCC:** United Nations Framework Convention on Climate Change
10. **COM (2011) 370 final:** proposal for a Directive of European Parliament and of the Council on energy efficiency and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC, Brussels, June 22, 2011
11. **EC:** 2030 climate and energy goals for a competitive, secure and low-carbon EU economy, [http://ec.europa.eu/clima/news/articles/news\\_2014012202\\_en.htm](http://ec.europa.eu/clima/news/articles/news_2014012202_en.htm)
12. **EC:** Questions and answers on 2030 framework on climate and energy, 22.01.2014, [http://europa.eu/rapid/press-release\\_MEMO-14-40\\_en.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-14-40_en.htm)
13. **VGB Facts and Figures 2011/2012;** [www.vgb.org](http://www.vgb.org)
14. **VGB Facts and Figures 2011/2012,** updated version of the graph on new projects and announcements of projects
15. **VGB Database** on power plant projects
16. **ZEP:** ZEP European Zero Emission Platform <http://www.zero-emissionplatform.eu>
17. **CPR:** REGULATION (EU) No 305/2011 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of

9 March 2011 laying down harmonised conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC, Official Journal of the European Union 4.4.2011, L88/5

**Х.-Й. Фюерборн.** Прогноз производства энергии и ППСУ в Европе // Материалы V конференции «Золотые ТЭС: удаление, транспорт, переработка, складирование», Москва, 24–25 апреля 2014 г. — М.: Полиграфический центр МЭИ, 2014. с. 27 – 35.