

Код МРНТИ 52.01.75

Е.Е. Жолдасбай, А.А. Аргын, \*Н.К. Досмухамедов  
Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

## ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ОТ СЖИГАНИЯ УГЛЯ – ЯДРО УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ УГОЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

**Аннотация.** В настоящей работе на основании анализа современного состояния угольной отрасли показаны перспективы устойчивого развития угольной отрасли. Проведен краткий сравнительный анализ существующей технологии сжигания угля, применяемой в энергетическом комплексе, с альтернативными источниками выработки электроэнергии. Указаны пути решения, позволяющие повысить эффективность угольной отрасли за счет внедрения новых технологий, направленных на утилизацию отходов от сжигания угля – глубокую очистку отходящих газов ТЭЦ от SO<sub>2</sub> и NO<sub>x</sub> и переработку золошлаковых отходов. Приведены основные технологические показатели разработанных авторами статьи инновационных технологий, позволяющих обеспечить глубокую санитарную очистку газов и комплексную переработку золошлаковых отходов с получением товарных продуктов.

**Ключевые слова:** уголь, продукты сжигания, отходящие газы, золошлаковые отходы, утилизация, инновационные технологии, извлечение, ценные элементы, товарные продукты.

### Көмір жағудан алынған қалдықтарды кәдеге жаратудың инновациялық технологиялары – көмір саласының тұрақты дамуының өзегі

**Аннотация.** Бұл жұмыста көмір саласының қазіргі жағдайын талдау негізінде көмір саласының тұрақты даму перспективалары көрсетілген. Электр энергиясын өндірудің баламалы көздерімен энергетикалық кешенде қолданылатын көмірді жағудың қолданыстағы технологиясына қысқаша салыстырмалы талдау жүргізілді. Көмір жағудан алынатын қалдықтарды кәдеге жаратуға – ЖЭО-нан шығатын газдарды SO<sub>2</sub> және NO<sub>x</sub>-тан терең тазартуға және күлшлак қалдықтарын қайта өңдеуге бағытталған жаңа технологияларды енгізу есебінен көмір саласының тиімділігін арттыруға мүмкіндік беретін шешу жолдары көрсетілген. Мақаланың авторларымен зерттелген газдарды терең санитарлық тазартуды және тауарлық өнімдерді ала отырып, күлшлак қалдықтарын кешенді өңдеуді қамтамасыз етуге мүмкіндік беретін инновациялық технологиялардың негізгі технологиялық көрсеткіштері көрсетілген.

**Түйінді сөздер:** көмір, жану өнімдері, шығатын газдар, күлшлак қалдықтары, кәдеге жарату, инновациялық технологиялар, бөліп алу, бағалы элементтер, тауарлы өнімдер.

### Innovative technologies for waste disposal from coal burning are the core of the sustainable development of the coal industry

**Abstract.** In this paper, based on the analysis of the current state of the coal industry, the prospects for sustainable development of the coal industry are shown. A brief comparative analysis of the existing coal burning technology used in the energy complex with alternative sources of electricity generation is carried out. The ways of solutions that allow to increase the efficiency of the coal industry through the introduction of new technologies aimed at the disposal of waste from coal combustion – deep cleaning of waste gases of the CHP from SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> and the processing of ash and slag waste are indicated. The main technological indicators of innovative technologies developed by the authors of the article are given, which allow for deep sanitary purification of gases and complex processing of ash and slag waste to obtain commercial products.

**Key words:** coal, combustion products, waste gases, ash and slag waste, recycling, innovative technologies, extraction, valuable elements, marketable products.

### Введение

Изменения глобальной конъюнктуры на мировой площадке, связанные с политическими и экономическими сдвигами, привело к нарушению баланса структуры производства объемов, использования и экспорта угля. Это значительно повлияло на технические возможности казахстанских предприятий. Рынок производства и потребления угля вынужденно полностью переориентирован на внутренний спрос. Несмотря на сравнительно низкое качество углей до определенного времени угольной отрасли удавалось осуществлять определенные квоты угля на экспорт в страны ближнего зарубежья. Санкции, наложенные на Россию ведущими западными странами, привели к нарушению транспортной логистики и сбыта угля, что привело к нарушению экономического баланса экспорта угля из Казахстана. Экспорт угля практически свелся к минимуму. Сегодня основным источником спроса на казахстанский энергетический уголь остается внутренняя угольная генерация. Рост потребления электроэнергии промышленными предприятиями и населением республики сильно усилил зависимость энергетического комплекса от угля. Одной из ключевых задач для угольной отрасли на сегодняшний день остается не только сохранение существующих объемов добычи угля, но и их увеличение.

Основным приоритетом, влияющим на условие устойчивого развития угольной отрасли, является индустриализация – ключевой драйвер развития отечественной экономики. Индустриализация предполагает усложнение экономики страны, наращивание компетенций, создание высокотехнологичных и наукоемких решений, а также усиление научно-технологической базы, что позволит наращивать продвижение продукции с высокой добавленной стоимостью.

В рассматриваемом ракурсе создание технологических линий по комплексной переработке угля и продуктов его сжигания представляет категорию стратегически важных направлений для всей энергетической системы страны. Уголь и его отходы от сжигания необходимо рассматривать как дополнительное сырье для производства новых видов продуктов с высокой добавленной стоимостью.

Развитие угольной отрасли в Казахстане и решение основных ключевых его задач – минимизации эмиссий в окружающую среду диоксида серы и парниковых газов, внедрения новых безотходных технологий по утилизации золошлаковых отходов позволит повысить технологическую и инновационную сложность экономики. В рамках нового технологического тренда как индустриализация, вся промышленность, в том числе, и угольная отрасль,

должна быть направлена на увеличение эффективности и производительности существующих технологий за счет принятия высокотехнологичных решений по переработке продуктов сжигания угля путем автоматизации, роботизации и цифровизации производства.

В практике международных сравнений принято, что уровень потребления металлов в стране достаточно точно характеризует степень развития промышленности. Нарастание технологического-экономического потенциала угольной отрасли за счет внедрения новых передовых технологий по переработке, как угля, так и продуктов его сжигания с получением товарных продуктов с высокой добавленной стоимостью, активизирует инновационное развитие в отрасли и даст мультипликативный эффект на другие отрасли экономики.

Рентабельная переработка нетрадиционных источников сырья – золошлаковых отходов, напрямую связана с техническим и технологическим обновлением действующих, и созданием новых предприятий. В этих условиях рост эффективности функционирующей угольной отрасли может быть обеспечен только за счет тесной интеграции науки и производства, широкой реализации научных достижений и ускоренного внедрения новых технологий и техники. Это и явилось предпосылкой для разработки инновационных технологий для утилизации продуктов, получаемых от сжигания угля – отходящих газов ТЭЦ и золошлаковых отходов.

В настоящей работе на основании сравнительного анализа современной ситуации, сложившейся в угольной отрасли, проведена оценка возможных оптимальных решений, обеспечивающих устойчивое развитие энергетического комплекса республики за счет внедрения инновационных технологий для утилизации отходов от сжигания угля.

## Методы исследования

В основу методологического принципа положен анализ результатов исследования Международных энергетических агентств и институтов, направленных на изучение влияния отходов от сжигания угля – золошлаковых отходов и отходящих газов на окружающую среду и жизнедеятельность человека. Рассмотрены возможности использования альтернативных «зеленых технологий», обеспечивающих снижение эмиссий вредных выбросов в окружающую среду. Сравнительный анализ новых технологий, получаемых широкое внедрение в мире и на территории Казахстана, проведен на основании детального изучения Программ по развитию возобновляемых источников энергии Европейского союза. Анализ современного состояния и перспективы дальнейшего развития угольной отрасли республики рассматриваются с точки зрения возможности внедрения новых технологий по утилизации отходов от сжигания угля. При сравнительном анализе существующих и новых технологий по очистке отходящих газов ТЭЦ особое внимание, наряду с экологическими аспектами, уделено технологическим и экономическим преимуществам новых технологий. Анализ новых технологий проведен в разрезе наблюдаемой динамики внедрения «зеленых технологий» в развитых странах с учетом специфики имеющейся мате-

риально-сырьевой базы, и обеспечения условия устойчивого развития энергетической отрасли. Для выработки оптимальных решений по развитию энергетической отрасли республики рассмотрены новые инновационные технологии, обеспечивающие эффективное использование дешевого топлива – угля с обеспечением глубокой утилизации продуктов его горения. В работе анализируются результаты исследований отечественных и зарубежных ученых, занятых в сфере создания безотходных чистых технологий выработки электроэнергии и тепла с вовлечением на переработку малозольных, высококалорийных углей Казахстана.

## Результаты и их обсуждение

### «Зеленые технологии» в энергетике

На развитие энергетики оказывают влияние ограниченность и неравномерность распределения ресурсов ископаемого топлива при росте потребления энергетических ресурсов, стремление стран к обеспечению энергетической безопасности, экологические ограничения по выбросам парниковых газов. Данные факторы приводят к необходимости увеличения доли возобновляемых источников энергии в энергетическом балансе.

Как показывают исследования международных энергетических агентств и институтов, доля возобновляемых источников энергии в мировом энергетическом балансе 2050 г. может составить порядка 18% или даже выше, для удовлетворения возрастающего спроса на энергию и стабилизации содержания парниковых газов в атмосфере. Развитыми странами принимаются Программы по развитию возобновляемых источников энергии. Так, Европейским Союзом принято решение об увеличении доли производства электроэнергии от возобновляемых источников энергии до 20% к 2020 г. (без учета крупных гидроэлектростанций). В Казахстане доля электроэнергии, выработанной на крупных гидроэлектростанциях, составляет порядка 12%.

Одним из наиболее динамично развивающихся коммерческих видов возобновляемых источников энергии является ветроэнергетика. В 2009 году установленная мощность ветроэлектростанций (ВЭС) составила около 160 000 МВт, на ВЭС произведено около 340 млрд. кВт·ч электроэнергии в год, или 2% мирового объема потребления электроэнергии. Ветроэнергетика демонстрирует постоянный прирост мощности, до 20-30% в год.

В настоящее время около 76 стран мира имеют ВЭС в структуре электроэнергетики. 43 страны мира имеют Национальные Программы развития ветроэнергетики с установкой сотен и тысяч МВт мощности в ближайшей и среднесрочной перспективе. Данные Программы, как правило, сопровождаются развитием собственной базы ветроэнергостроения, что позволяет снизить стоимость оборудования ветроустановок.

В рамках немецкой правовой основы Германия планирует обеспечить 30% своего электроснабжения за счет ВИЭ. В плане финансовой поддержки содействия возобновляемой энергетики, в Германии используется четыре механизма: прямая инвестиционная поддержка, льготные тарифы, льготные займы и налоговые льготы. Финансо-

вые инициативы и Программы поддержки осуществляются на национальном уровне, а также на уровне федеральных земель, при этом некоторые местные органы власти, а также местные поставщики электроэнергии разработали дополнительные схемы поддержки.

Одной из стран с наиболее развитым использованием возобновляемых источников энергии выступает Королевство Нидерланды. Солнечные технологии являются экспортным продуктом. В Мали это привело к успешному созданию солнечной энергоцентрали. Изобильная энергия солнца, поступающая с панелей компании Ubbink Solar, сохраняется в аккумуляторах и через мини-сеть направляется жителям.

В Испании утвержден План по возобновляемым источникам энергии Советом Министров Испании, цель которого заключается в том, чтобы к концу 2010 года 12% потребляемой в стране энергии производилось за счет использования возобновляемых источников. Испания выступает одним из лидеров по производству энергии с использованием энергии ветра. От всей используемой в стране энергии из возобновляемых источников 27% производится ветряными турбинами.

Доведение выработки электроэнергии в 2014 году составило 97,9 млрд. кВт·ч при обеспечении объема добычи угля ~123 млн тонн. При этом достижение объема выработанной электроэнергии в 2014 году возобновляемыми источниками энергии составило 1 млрд кВт·ч в год, что эквивалентно доле возобновляемых источников энергии в общем объеме электропотребления 1%. Низкая доля используемых в Казахстане «зеленых технологий» свидетельствует о том, что уголь останется основным источником твердого топлива для выработки электроэнергии. Несмотря на стремительное развитие и широкое внедрение ВЭС и других источников возобновляемой энергетики, на наш взгляд, следует обращать внимание на следующие важные обстоятельства.

Для изготовления пропеллеров больших размеров используются материалы из пластика, а их обслуживание сопровождается расходом больших объемов смазочных материалов. Солнечные батареи, изготовленные из специфических материалов, также требуют больших расходов по ремонту и их обслуживанию. Использование ВЭС и выработка электроэнергии с использованием солнечных батарей далеко не долговечные технологии. При этом возникают следующие вопросы. Что будет с оборудованием, составляющим основу этих «зеленых технологий», когда наступит срок их эксплуатации? Разве мы не получим большой объем отходов специфических вредных материалов, требующих утилизации? Это, несомненно, потребует разработки новых, уже на высоком уровне, технологий по их утилизации, которые будут сопровождаться большими капитальными и материальными затратами. Таким образом, внедряя новое, мы непременно, уже в ближайшем будущем можем столкнуться с новыми вызовами, которые потребуют кардинальных решений.

#### **Перспективы использования угля в энергетической отрасли**

Не умоляя «временные» достоинства «зеленых технологий», можно провести оценку использования угля для

выработки электроэнергии и тепла несколько с другой, положительной точки зрения.

Сегодня угольная отрасль республики обеспечивает выработку в Казахстане 78% электроэнергии, практически стопроцентную загрузку коксохимического производства. Ресурсы энергетического угля в полной мере обеспечивают потребности тепловых электростанций. Для удовлетворения спроса коммунального сектора быстро растущих урбанизированных территорий и, соответственно, численности их населения планируется увеличение добычи малозольного угля на Шубаркульском и Майкубенском месторождениях.

Балансовые запасы угля позволяют полностью обеспечить внутренние потребности и экспортировать значительные объемы угольной продукции.

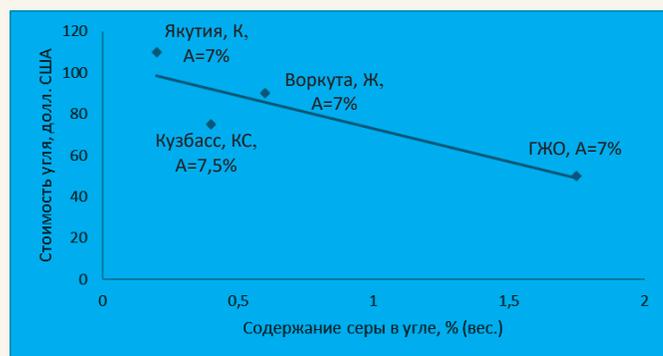
В Казахстане преобладают низкокачественные угли и с высоким содержанием серы, которые покрывают более чем на 40% спрос на первичные энергоресурсы. Используемые в энергетике и промышленности угольные ресурсы характеризуются низким уровнем обогащения. Несоответствующий международным стандартам экспортируемый уголь реализуется на внешнем рынке по сравнительно невысоким ценам.

Выработка электроэнергии в республике производится на традиционных источниках – тепло- и гидроэлектростанциях (соответственно 88% и 12%).

Дискуссии о том, какой вид выработки электроэнергии будет преобладать в будущем, зависит от особенностей используемой технологии, и от того, как она решает экологические, технологические и экономические вопросы. В рассматриваемом ракурсе использование дешевого угля в качестве топлива для выработки электроэнергии является безальтернативным и перспективным направлением, если обеспечить условия экологической безопасности на действующих ТЭЦ. Этого можно достичь созданием: **а)** – инновационной технологии глубокой очистки отходящих газов ТЭЦ от  $SO_2$ ,  $NOx$  и других вредных веществ; **б)** – новых эффективных технологий утилизации золошлаковых отходов с «нулевым отходом», обеспечивающих высокое комплексное извлечение широкого спектра ценных металлов в товарные продукты с высокой добавленной стоимостью.

Решение указанных вопросов позволит существенно повысить эффективность ТЭЦ за счет вовлечения в переработку низкосольных, высококалорийных углей. Использование этих углей сегодня сдерживается высоким содержанием в них серы и отсутствием рациональных технологий очистки отходящих газов от  $SO_2$ ,  $NOx$  и утилизации золошлаковых отходов.

Низкая стоимость высококалорийных углей (рис.1) [1, 2] и активный переход действующих ТЭЦ на их использование значительно снизит нагрузку на окружающую среду за счет сокращения объемов золошлаковых отходов. Кроме того, это обеспечит решение вопроса ресурсосбережения, и самое главное, значительно снизит стоимость выработанной электроэнергии, что сократит тариф на розничную торговлю и повысит социально-экономическую эффективность предприятий. Большая научно-исследовательская работа в направлении создания новых технологий по утилизации отходящих газов и золошлаковых



**Рис. 1. Изменение цены коксующегося угля в зависимости от содержания серы в нем [1, 2].**

**Сурет 1. Кокстелетін көмірдің құрамындағы күкірт мөлшеріне байланысты бағасының өзгеруі [1, 2].**

**Figure 1. Change in the price of coking coal depending on the sulfur content in it [1, 2].**

отходов ТЭЦ проведена и ведется по настоящее время учеными КазННТУ им. К.И. Сатпаева совместно с коллегами из Научного института имени Вейцмана (Израиль). Теоретические основы и экспериментальное обоснование новых инновационных технологий подробно освещены в ранее опубликованных работах [3-6].

На рис. 2 показана технологическая концепция технологии глубокой очистки отходящих газов ТЭЦ от  $\text{SO}_2$  и  $\text{NO}_x$  с получением товарных продуктов – элементарной серы и/или серной кислоты.

Новая система десульфуризации дымовых газов (FGD) обеспечивает удаление диоксида серы ( $\text{SO}_2$ ) из промышленных выхлопных газов с высокой эффективностью (до 95%) и значительно превосходит используемые в настоящее время технологии. Химический процесс отличается высокой селективностью по отношению к  $\text{SO}_2$  и требует гораздо меньшего количества реагентов. Это снижает стоимость десульфуризации.

Методы улавливания  $\text{SO}_2$  и  $\text{NO}_x$  на угольных электростанциях не менялись почти 40 лет. Внедрение разрабо-



**Рис. 2. Концептуальная схема глубокой очистки отходящих газов ТЭЦ от  $\text{SO}_2$  и  $\text{NO}_x$ .**

**Сурет 2. ЖЭО шығатын газдарды  $\text{SO}_2$  және  $\text{NO}_x$ -тан терең газартудың тұжырымдамалық схемасы.**

**Figure 2. Conceptual scheme of deep purification of waste gases of CHP from  $\text{SO}_2$  and  $\text{NO}_x$ .**

танной технологии обеспечит более эффективное и безвредное для окружающей среды производство. При этом исключается образование шламовых отходов, получаемых по существующим технологиям.

Новая технология может избирательно перерабатывать  $\text{SO}_2$  и  $\text{NO}_x$  в полезные соединения на основе серы, которые можно успешно направлять на сбыт. Эта процедура также может быть направлена на получение элементарной серы, инертного и нетоксичного соединения, которое можно хранить в течение длительного времени до тех пор, пока оно не потребуется для дальнейшего использования.

В настоящее время мир потребляет 80% добываемого угля, и с каждым годом извлекается все больше угля. Спрос на угольные электростанции, сталелитейные и цементные заводы в ближайшее время не уменьшится, однако, степень регулирования ими, несомненно, возрастет по мере роста осведомленности о воздействии на окружающую среду. Новая технология, обеспечивающая глубокую санитарную очистку отходящих газов ТЭЦ от  $\text{SO}_2$  и  $\text{NO}_x$  при меньших затратах, создает потенциал для дальнейшего снижения затрат на вырабатываемую электроэнергию за счет использования переработанных продуктов серы.

Одним из принципиальных решений новых разработок является декарбонизация отходящих газов, предварительно очищенных от  $\text{SO}_2$  и  $\text{NO}_x$ . Согласно технологии, утилизация  $\text{CO}_2$  осуществляется электрохимическим способом, которая является заключительной стадией общей технологии очистки отходящих газов ТЭЦ от  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  и  $\text{CO}_2$ .

Технологическая схема декарбонизации отходящих газов и общий вид опытного электролизера показан на рис. 3.

При электролизе утилизируется 95%  $\text{CO}_2$  с получением чистого кислорода и  $\text{CO}$ , пригодного для использования в качестве биотоплива [7].

Не менее важный вопрос, который решен нами – утилизация золошлаковых отходов и их использование в качестве дополнительного источника сырья для извлечения ценных металлов. Существующие методы переработки золы позволяют извлекать незначительный спектр ценных компонентов. В то же время, по вещественному составу золу можно рассматривать как самостоятельное сырье для комплексного извлечения целого спектра ценных металлов.

Создание и развитие новых наукоемких производств высоких переделов (5, 6 и 7 переделы), в первую очередь, требует применения редких и редкоземельных металлов, которые вполне могут быть получены из золы. Подход, направленный на извлечение из золы исключительно редкоземельных металлов (РЗМ) [8, 9, 10], не представляется перспективным, так как в этом случае теряется смысл комплексности использования сырья. В этой связи, разработанная в КазННТУ им. К.И. Сатпаева новая хлорирующая технология для утилизации золы с комплексным высоким извлечением из них ценных металлов в целевые товарные продукты представляется перспективной и актуальной.

Технологическая схема разработанной новой технологии представлена на рис. 4.

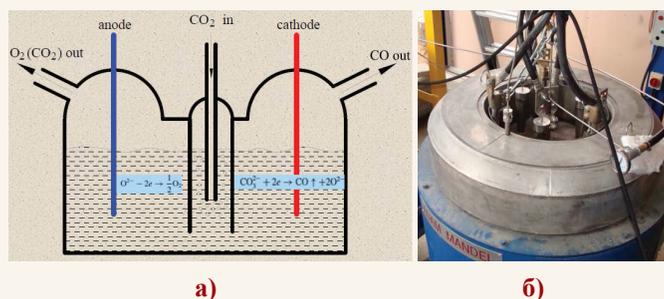


Рис. 3. Схема декарбонизации отходящих газов (а);  
(б) – общий вид опытного электролизера.

Сурет 3. Шығатын газдарды декарбонизациялау  
схемасы (а);

(б) – тәжірибелі электролизердің жалпы көрінісі.

Figure 3. Decarbonization scheme of exhaust gases (а);  
(b) – a general view of the experimental electrolyzer.

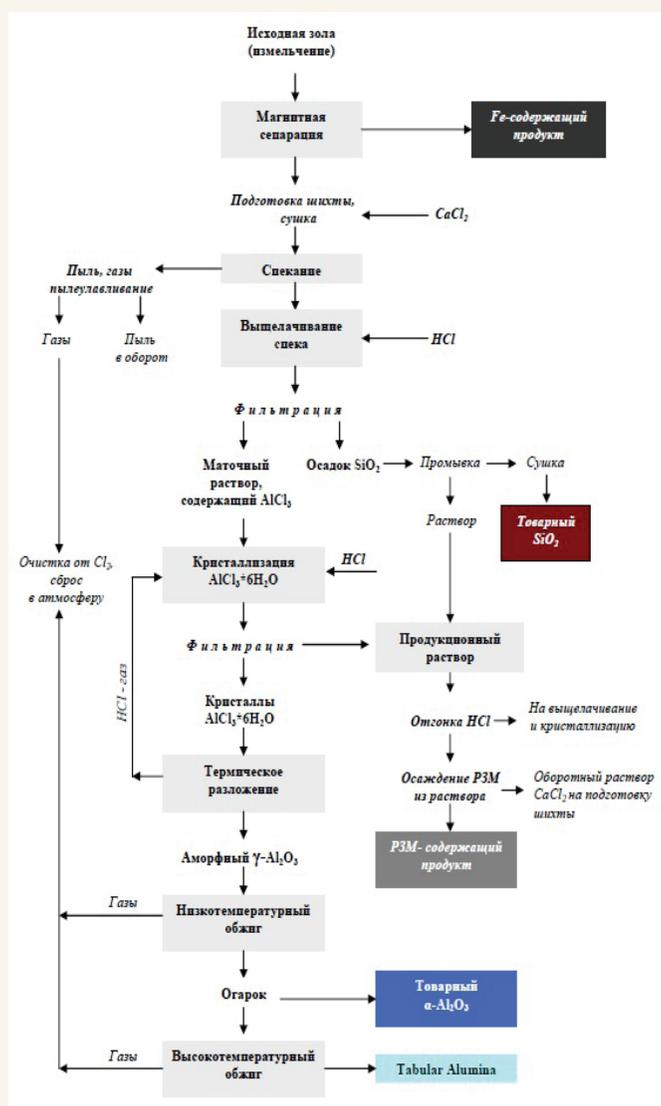


Рис. 4. Технологическая схема комплексной  
переработки золы.

Сурет 4. Күлді кешенді өңдеудің технологиялық  
схемасы.

Figure 4. Technological scheme of complex  
ash processing.

Инновационная экологически чистая, эффективная безотходная технология для утилизации золы позволяет решить экологические проблемы и получить большой ассортимент конкурентоспособных товарных продуктов – железосодержащего концентрата, чистый оксид кремния, специализированный особо чистый оксид алюминия (Tabular Alumina) и РЗМ содержащий продукт в виде цинкового кека.

### Заключение

Несмотря на рост альтернативных источников энергии во всем мире, уголь остается в числе наиболее важных источников энергии, на долю которого приходится около трети мирового потребления энергии со стабильным долгосрочным ростом. Уголь продолжает оставаться крупнейшим источником выработки электроэнергии в США. Также уголь является важным источником энергии в Азиатско-Тихоокеанском регионе с долей рынка почти 50%.

Рыночный потенциал технологии сжигания угля во многом определяется законодательством, направленным на сокращение выбросов парниковых газов, серы и золошлаковых отходов. Следует ожидать, что реализация Парижского соглашения повысит будущий спрос на системы FGD и новые технологии для утилизации золошлаковых отходов. Согласно последним отчетам, рынок FGD, как ожидается, достигнет 23,69 млрд долларов. Технология системы FGD в 2020 году достигла уровня 9,54 млрд долларов, увеличившись в среднем на 5,0%. Наибольший рост рынка FGD ожидается в Азиатско-Тихоокеанском регионе со среднегодовым темпом роста 7,7%.

Эффективность разработанных новых технологий подтверждена опытом эксплуатации на действующих промышленных ТЭЦ и котельных установках, а также результатами представительных полупромышленных (pilot plant) и промышленных испытаний [5, 7].

Внедрение разработанных инновационных технологий открывает широкие возможности для перспективного развития угольной отрасли и позволит обеспечить:

1. Экологизацию производства сжигания угля;
2. Интенсификацию производства выработки электроэнергии и тепла;
3. Развитие сопутствующих производств;
4. Извлечение ценных элементов из отходов;
5. Экспортный потенциал и конкурентоспособность предприятий;
6. Сохранение старых и создание новых рабочих мест.

Исследования проводились в рамках грантового финансирования Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан на 2021-2023 годы по приоритетному направлению «Геология, добыча и переработка минерального и углеводородного сырья, новые материалы, технологии, безопасные изделия и конструкции» проекта №AP09259637 «Разработка высокоэффективной безотходной технологии для утилизации золы от сжигания угля с получением товарных продуктов».

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Цена энергии: Формирование международных цен на уголь. Отчет Секретариата Энергетической Хартии. – Брюссель. – 2010. – С. 50 (на русском языке)
2. Gupta S., Singh Pahwa M., Gupta A. Инновационный метод корректировки цен на энергетический уголь: исследование функционирования в условиях меняющейся технологической среды // Глобальный журнал финансовых исследований в области менеджмента и бизнеса. – 2013. – №13(4). – С. 8-15 (на английском языке)
3. Dostmukhamedov N., Kaplan V. Очистка дымовых газов от SO<sub>2</sub> и NO<sub>x</sub> с использованием расплавленной смеси карбонатов щелочных металлов // Международный журнал по подготовке и утилизации угля. – 2021. – С. 1-12 (на английском языке)
4. Досмухамедов Н.К., Егизеков М.Г., Жолдасбай Е.Е., Курмансейтов М.Б., Аргын А.А. Поведение NO<sub>x</sub> при очистке отходящих газов ТЭС карбонатным расплавом щелочных металлов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2021. – №1. – С. 30-35 (на русском языке)
5. Kaplan V., Dostmukhamedov N., Zholdasbay E., Daruesh G., Argyn A. Глинозем и диоксид кремния, полученные хлорированием при переработке летучей золы электростанций // ЖМ. – 2020. – Вып. 72(10). – С. 3348-3357 (на английском языке)
6. Досмухамедов Н.К., Каплан В.А., Даруеш Г.С. Инновационная технология комплексной переработки золы от сжигания угля // Уголь. – 2020. – №1. – С. 58-63 (на русском языке)
7. Досмухамедов Н.К., Каплан В.А., Жолдасбай Е.Е., Курмансейтов М.Б., Аргын А.А. Электрохимическое восстановление CO<sub>2</sub> до CO в условиях электролиза карбоната лития при 900 °C // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2021. – № 3. – С. 59-66 (на русском языке)
8. Elliot Roth and other. Распределение и извлечение редкоземельных элементов из угля и побочных продуктов его переработки // Конференция «Мир угольной золы» в Лексингтоне. – 2017. – Май. – С. 9-11 (на английском языке)
9. Dwivedi A. and Jain M.K. Зола-унос – утилизация отходов и обзор: обзор последних исследований в области науки и техники. – 2014. – 6(1). – С. 30-35 (на английском языке)
10. Suhas V. Patil S.V., Nawle S.C., Kulkarni S.J. Промышленное применение золы-уноса: Обзор // Международный журнал научных, инженерных и технологических исследований (МЖНИТИ). – 2013. – Вып. 2, Т. 9. – Сентябрь. – С. 1659-1663 (на английском языке)

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Энергия бағасы: көмірдің халықаралық бағасын қалыптастыру. Энергетикалық Хартия Хатшылығының Есебі. – Брюссель. – 2010. – Б. 50 (орыс тілінде)
2. Gupta S., Singh Pahwa M., Gupta A. Энергетикалық көмір бағасын түзетудің инновациялық әдісі: өзгермелі жағдайларда жұмыс істеуді зерттеу // Менеджмент және бизнес саласындағы қаржылық зерттеулердің жаһандық журналы. – 2013. – №13(4). – Б. 8-15 (ағылшын тілінде)
3. Dostmukhamedov N., Kaplan V. Сілтілі металл карбонаттарының балқытылған қоспасын қолдана отырып, шығатын газдардан SO<sub>2</sub> және NO<sub>x</sub> тазарту // Халықаралық көмірді дайындау және кәдеге жарату журналы. – 2021. – Б. 1-12 (ағылшын тілінде)
4. Досмухамедов Н.К., Егизеков М.Г., Жолдасбай Е.Е., Курмансейтов М.Б., Аргын А.А. ЖЭС шығатын газдарды сілтілі металдардың карбонатты балқымасымен тазарту кезінде NO<sub>x</sub> бөлініп таралуы // Халықаралық қолданбалы және іргелі зерттеулер журналы. – 2021. – №1. – Б. 30-35 (орыс тілінде)
5. Kaplan V., Dostmukhamedov N., Zholdasbay E., Daruesh G., Argyn A. Электр станцияларының күл-ұшқындыларын хлорлау арқылы глинозем және кремний диоксидін алу // МЖ. – 2020. – Т. 72 (10). – Б. 3348-3357 (ағылшын тілінде)
6. Досмухамедов Н.К., Каплан В.А., Даруеш Г.С. Көмірді жағудан алынған күлді кешенді өңдеудің инновациялық технологиясы // Көмір. – 2020. – №1. – Б. 58-63 (орыс тілінде)
7. Досмухамедов Н.К., Каплан В.А., Жолдасбай Е.Е., Курмансейтов М.Б., Аргын А.А. 900 °C кезінде литий карбонатының электролизі жағдайында CO<sub>2</sub>-ден CO-ға дейін электрохимиялық тотықсыздандыру // Халықаралық қолданбалы және іргелі зерттеулер журналы. – 2021. – №3. – Б. 59-66 (орыс тілінде)
8. Elliot Roth and other. Көмірден және оны өңдеудің жанама өнімдерінен сирек жер элементтерін бөлу және алу // Лексингтондағы «Көмір күлі әлемі» конференциясы. – 2017. – Мамыр. – Б. 9-11 (ағылшын тілінде)
9. Dwivedi A. and Jain M.K. Күл-ұшқындары – қалдықтарды басқару және шолу: шолу, ғылым мен техникадағы соңғы зерттеулер. – 2014. – 6 (1). – Б. 30-35 (ағылшын тілінде)

10. Suhas V. Patil S.V., Nawle S.C., Kulkarni S.J. Күл-ұшқындары өнеркәсінде қолданылуы: шолу // Халықаралық ғылыми, инженерлік және технологиялық зерттеулер журналы (XFITЗЖ). – 2013. – Т. 2, шығ. 9. – Қыркүйек. – Б. 1659-1663 (ағылшын тілінде)

## REFERENCES

1. Cena energii: Formirovanie mezhdunarodnyh cen na ugol. [The price of energy: The formation of international coal prices]. Otchet Sekretariata Energeticheskoy Hartii. Bryussel. [Report of the Energy Charter Secretariat. – Brussels]. – 2010. – P. 50 (in Russian)
2. Gupta S., Singh Pahwa M., Gupta A. Innovative Price Adjustments Technique for Thermal Coal: A Study of operation Function under Changing Techno Environment // Global Journal of Management and Business Research Finance. – 2013. – Vol.13(4). – P. 8-15 (in English)
3. Dosmukhamedov N., Kaplan V. Flue gas purification from SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> using molten mixture of alkali metal carbonates // International Journal of Coal Preparation and Utilization. – 2021. – P. 1-12 (in English)
4. Dosmukhamedov N.K., Egizekov M.G., Zholdasbay E.E., Kurmanseytov M.B., Argyn A.A. Povedenie NO<sub>x</sub> pri ochistke othodyashih gazov TES karbonatnym rasplavom shelochnyh metallov [Behavior of NO<sub>x</sub> during purification of waste gases of thermal power plants by carbonate melt of alkali metals] // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamentalnyh issledovanij [International Journal of Applied and Fundamental Research]. – 2021. – Vol.1. – P. 30-35 (in Russian)
5. Kaplan V., Dosmukhamedov N., Zholdasbay E., Daruesh G., Argyn A. Alumina and Silica Produced by Chlorination of Power Plant Fly Ash Treatment // JOM. – 2020. – Vol. 72(10). – P. 3348-3357 (in English)
6. Dosmukhamedov N.K., Kaplan V.A., Daruesh G.S. Innovacionnaya tehnologiya kompleksnoj pererabotki zoly ot szhiganiya uglya [Innovative technology of complex processing of ash from coal combustion] // Ugol' [Coal]. – 2020. – Vol.1. – P. 58-63 (in Russian)
7. Dosmukhamedov N.K., Kaplan V.A., Zholdasbay E.E., Kurmanseytov M.B., Argyn A.A. Elektrohimiicheskoe vosstanovlenie CO<sub>2</sub> do CO v usloviyah elektroliza karbonata litiya pri 900 °S [Electrochemical reduction of CO<sub>2</sub> to CO under conditions of electrolysis of lithium carbonate at 900 ° C] // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamentalnyh issledovanij [International Journal of Applied and Fundamental Research]. – 2021. – Vol.3. – P. 59-66 (in Russian)
8. Elliot Roth and other. Distributions and Extraction of Rare Earth Elements from Coal and Coal By-Products // World of Coal Ash Conference in Lexington. – 2017, May. – P. 9-11 (in English)
9. Dwivedi A. and Jain M.K. Fly ash – waste management and overview: A Review, Recent Research in Science and Technology. – 2014. – 6(1). – P.30-35 (in English)
10. Suhas V. Patil S.V., Nawle S.C., Kulkarni S.J. Industrial Applications of Fly ash: A Review // International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR). – 2013. – Vol. 2, Issue 9. – September. – P. 1659-1663 (in English)

## Сведения об авторах:

**Жолдасбай Е.Е.**, PhD, ведущий научный сотрудник кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [zhte@mail.ru](mailto:zhte@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-9925-4435>

**Аргын А.А.**, PhD, старший научный сотрудник кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [aidarargyn@gmail.com](mailto:aidarargyn@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0001-5001-4687>

**Досмухамедов Н.К.**, к.т.н., профессор, профессор кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [n.dosmukhamedov@satbayev.university](mailto:n.dosmukhamedov@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0002-1210-4363>

## Авторлар туралы мәліметтер:

**Жолдасбай Е.Е.**, PhD, «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының жетекші ғылыми қызметкері Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

**Аргын А.А.**, PhD, «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының аға ғылыми қызметкері Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

**Досмухамедов Н.К.**, т.ғ.к., профессор, «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

## Information about the authors:

**Zholdasbay Ye. Ye.**, PhD, Leading researcher of the Department «Metallurgy and Mineral Processing» Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

**Argyn A.A.**, PhD, Senior Researcher of the Department of Metallurgy and Mineral Processing Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

**Dosmukhamedov N.K.**, Candidate of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Metallurgy and Mineral Processing Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)