

**ОБРАЩЕНИЕ С ЗОЛОШЛАКАМИ****3.5. Направления применения золошлаков энергетических углей****3.5.3. Совместная переработка золошлаков и отходов других отраслей****3.5.3.2. Применение зол котлов с кипящим слоем для повышения управляемости угольными отходами**

*А. Шымкевич, А. Фрась, Р. Пжыстась, Южная польская угольная компания Группы Tauron, Явожно, Польша  
Я. Хыцнар, Ecosoal Consulting Center, Катовице, Польша*

*Т. Юзефяк, Эко Инвест, Буковно, Польша*

*И. Байц Центр управления отходами и экологического менеджмента IMBiGS, Катовице, Польша*

**АННОТАЦИЯ**

В угольной промышленности одной из основных экологических и экономических проблем является обращение с угольными отходами, а особенно с угольными шламами в виде пульпы. В таком виде их сложно использовать и хранить. Все чаще угольные шламы подвергаются грануляции с использованием негашеной или гашеной извести.

Исследования и тесты на промышленных установках показали, что традиционные известковые вяжущие для производства гранулированного шлама (шламового гранулята) можно заменить побочными продуктами сжигания угля, содержащими активные соединения кальция. Применение зол котлов с кипящим слоем (котлов с КС) позволяет получать шламовый гранулят с физико-химическими свойствами, отвечающими требованиям к низкокалорийным топливам, который также можно использовать в качестве добавок к основному топливу. Наиболее высокими механической прочностью и стойкостью к атмосферным условиям, транспортированию и хранению обладает шламовый гранулят, изготовленный с использованием молотой золы котлов с КС.

Через отбор среднезернистых отходов выделяющихся в отсадочных машинах и последующее их смешивание с выбранными известковыми золами (летучие золы и золы котлов с КС) были получены заполнительно-вяжущие смеси, отвечающие требованиям к материалам для строительства дорог, автомагистралей и гидротехнических сооружений.

Инвестиции в решение этой проблемы позволили более эффективно управлять отходами угледобычи и побочными продуктами сжигания угля за счет производства гранулированных топлив и заполнительно-вяжущих смесей, что привело к снижению количества размещенных в хранилищах отходов и зол, а также к получению дополнительных экологических и экономических выгод.

**1. ВВЕДЕНИЕ**

Южная польская угольная компания (Południowy Koncern Węglowy S.A. - PKW), входящая в состав Группы Tauron, проводит политику сокращения количества производимых угольных отходов с целью успешного управления ими в будущем, а также в настоящее время производит товарные продукты из части шлама и отходов шахтной породы [1].

Исследования и разработки приносят PKW интеллектуальные, экологические и экономические выгоды. Несколько решений защищены патентными заявками, а некоторые из них получили междуна-

родные награды [2]. Утилизация отходов привела к уменьшению их количества на свалках и одновременно вызвала снижение потребления природных ресурсов и увеличение площади восстановленных и обновленных деградированных объектов и зон. Большинство проводимых процессов утилизации привели к сокращению расходов на хранение отходов и увеличению прибыли от продажи гранулированных топлив, заполнителей и заполнительно-вяжущих смесей.

Полученные результаты стали возможны благодаря инвестированию в разработку и реализацию экологической политики Компании при тесном сотрудничестве с университетами, институтами, промышленными и технологическими центрами. Срок окупаемости инвестиций варьировался от 8 до 24 месяцев.

**2. ПРИМЕНЕНИЕ ЗОЛ ДЛЯ ГРАНУЛЯЦИИ УГОЛЬНЫХ ШЛАМОВ**

Химические, минералогические и физические составы угольных шламов отличаются друг от друга в зависимости от свойств угля и шахтных пород, связанных с процессом добычи, методов обогащения угля и способов очистки промышленных и подземных вод. В зависимости от решения водно-шламового хозяйства, мы имеем дело со шламами которые обезвоживаются в:

- фильтрационном оборудовании (принудительная фильтрация - камерные фильтр-прессы, барабанные вакуум-фильтры, ленточные фильтр-прессы);
- шламовых отстойниках (гравитационное разделение и фильтрация также применяются для отстаивания подземных вод).

Шламы с высоким содержанием ила по консистенции похожи на пасту. Фильтрованные шламы, называемые фильтрационным осадком, являются вязкими вследствие чего их сложно фрагментировать и смешивать с первичным углем. Фильтрационные осадки в условиях польского климата при высыхании превращаются в порошок, под влиянием дождей – размываются, загрязняя воду и почву, а зимой принимают формы ледяных твердых блоков. По этим причинам, несмотря на интерес к ним, угольные шламы мало используются в энергетике.

Основные физико-химические характеристики исследуемых угольных шламов и зол энергетических котлов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Основные физико-химические характеристики угольных шламов и зол энергетических котлов

Характеристики	Ед. изм.	Угольные шламы			Побочные продукты сжигания угля в энергетических котлах		
		Средние величины	Мин/макс	Исследованный шлам	Зола силикатного типа	Зола котлов с КС	
					исходная	молотая	
1. Угольный шлам:							
- влажность, $W^P$	%	31,4	25,0...37,3	30,7			
- зольность, $A^P$	%	27,5	19,4...45,5	29,6			
- низшая теплота сгорания, $Q_{н}^P$	МДж/кг	10,14	5,4...13,8	10,45			
- сернистость, $S^P$	%	0,58	0,37...0,96	0,67			
2. Состав золы:							
- кремний, $SiO_2$	%				53,00	46,60	46,60
- кальций, $CaO$	%				5,81	23,20	23,20
- кальций свободный, $CaO_{св}$	%				0,21	11,90	11,90
- сера, $SO_3$	%				0,78	9,60	9,60
- п.п.п.	%	59,7	42,6...65,8	57,4	3,60	0,81	0,81
- остаток на сите $R_{250}$	%	14,2	4,6...21,1	-	2,90	59,10	9,80

Шламовая пудра в отстойниках обычно проходит осаждение гравитационного типа, денсиметрическое разделение, а также обезвоживание. В этих случаях, можно получить шламы, содержащие значительное количество угольных зерен с небольшим количеством ила, так же и шламы с высоким содержанием ила. Даже если шламы имеют свойства, которые являются приемлемыми для клиента ( $Q$ ,  $W$ , и  $S$ ), главным препятствием для их использования является высокая влажность (до 40 %) и, связанные с этим, неудобства при транспортировании и хранении. Для устранения этого недостатка была разработана и внедрена технология производства шламового гранулята.

Грануляция угольных шламов проводилась в барабанных и тарельчатых грануляторах [3-6]. В ходе этого процесса был получен гранулят в виде шариков или овальных гранул. Однако, эффективность этих грануляторов является недостаточной вследствие их веса и энергопотребления. Первоначально в качестве вяжущих использовались соединения кальция  $\{CaO, Ca(OH)_2\}$ , что было описано еще в 20-х годах XX в.

Для оптимизации процесса грануляции угольных шламов были проведены исследования других видов вяжущих и технологий гранулирования.

Попытки грануляции угольных шламов с использованием побочных продуктов сжигания угля проводились с летучей золой силикатного типа, с исходной и молотой донной золой котлов с КС. Основные физико-химические характеристики исследуемых угольных шламов и зол, приведены в табл. 1. Во всех опытах был получен зернистый гранулят с размерами гранул от 2 до 8 мм. Однако, их свойства и прочность, условия транспортирования, хранения и климата отличались.

Из угольных шламов с золой с пылеугольных котлов получались гранулы с недостаточной прочностью для транспортирования, перевалки и хранения. Вследствие климатических условий (в том числе выдержки на воздухе) гранулы распадались даже при незначительном механическом воздействии. В

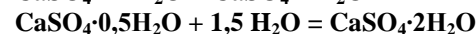
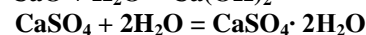
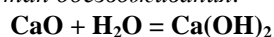
этом случае, вяжущим был ил, содержащийся в угольном шламе. Зерна золы облегчили притяжение к ним шлама, являясь ядром гранул. Кроме того, использование этого вида золы привело к адекватному уменьшению теплотворности шламового гранулята.

Применение донной золы котлов с КС способствовало процессу гранулирования, однако показало, что гранулят содержит значительное количество зерен донной золы, что мешало более полному использованию активных компонентов золы. У большинства гранул после выдержки на воздухе увеличилась прочность, несмотря на изменчивые атмосферные условия, но часть гранул, содержащая большие зерна золы, подверглась растрескиванию в условиях повышенной влажности.

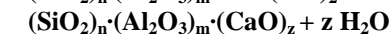
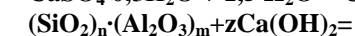
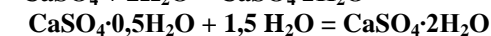
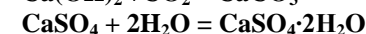
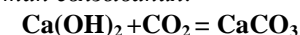
Наилучшие результаты были получены с использованием молотой донной золы котлов с КС. Гранулят с меньшим содержанием такой золы имеет более высокую теплотворность и лучшую устойчивость к воздействию внешних факторов.

**Роль и механизм действия золы котлов с КС в процессе грануляции угольных шламов.** Золой котлов с КС, по сравнению с золами силикатного типа, имеют большее содержание соединений кальция (табл. 1). Некоторые из них вступают в реакции с компонентами, содержащимися в угольных шламах, как и в окружающей среде, существенно влияя на процесс гранулирования и на свойства полученного гранулята, а также, среди прочих влияя на:

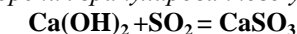
• *Этап обезвоживания:*

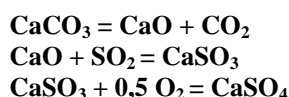


• *Этап связывания:*



• *Этап десульфуризации дымовых газов в процессе горения гранулированного угольного шлама:*





Таким образом, каждый моль CaO (56 г) связывает один моль воды (18 г). Это показывает вероятность соединения с водой, содержащейся в шламе в количестве соизмеримом с CaO, добавленного к шламу. Сульфат кальция ( $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ) содержащийся в золе также вступает в соединение с водой. В случае безводного сульфата кальция - для одного его моля (136 г) достаются два моля воды (32 г). Влияние добавок золы на снижение влажности угольных шламов показано на рис. 1.

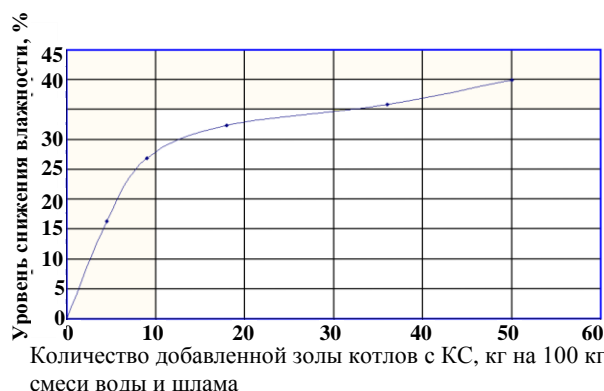


Рис. 1. Влияние добавок золы котлов с КС на снижение влажности угольного шлама

Реакции обезвоживания и формирования гранул происходят одновременно. После выполнения роли вяжущего, гидроксид кальция в реакции карбонизации с углекислым газом создает кальцит, что приводит к укреплению внутренней структуры гранул. По этим причинам, процесс выдержки на воздухе, увеличивающий механическую прочность гранул очень важен. Более длительная выдержка на воздухе таких гранулированных шламов может также привести к возникновению пуццолановой реакции, способствуя дополнительному укреплению гранулированного продукта. Шламовый гранулят с донной золой котлов с КС в процессе сгорания, приводит к частичной десульфуризации дымовых газов.

Результаты проведенных исследований, а также условия, определенные для применения золы, содержащей активные соединения кальция, вместо негашеной или гашеной извести, стали основой для подачи заявки на патент [7]. Таким образом, для грануляции угольных шламов используются не только типичные кальциевые соединения, но и золы котлов с КС кальциевого типа (рис. 2).



Рис. 2. Гранулированный угольный шлам с золой котлов с КС

**Установка для гранулирования угольных шламов.** Для устранения некоторые из упомянутых отрицательных особенностей угольных шламов с целью повышения возможности их использования, шлам часто дробится с золами в барабанных и тарельчатых грануляторах, так же как в типичных бетоносмесителях периодического действия.

С целью повышения возможности эффективного управления шламами была создана технология непрерывной работы для обезвоживания и гранулирования угольного шлама в качестве низкокалорийного топлива или нейтрального материала для работ по рекультивации и т.д., обеспечивающая прочность гранул для их безопасного хранения, представленная на рис. 3 [1,2,8,9].

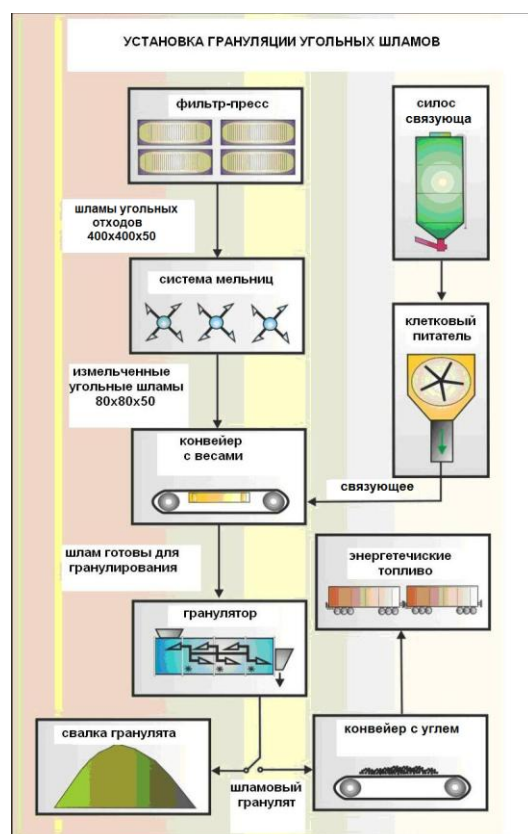


Рис. 3. Схема непрерывного процесса гранулирования угольных шламов

Основные элементы новой технологии, отличающие ее от существующих процессов грануляции:

- замена традиционных грануляторов смесителями интенсивной деятельности;
- количество и метод дозирования вяжущих из котлов с КС строго определены;
- возможность своевременной корректировки свойств производимого шламового гранулята;
- возможность грануляции всех видов отходов мелкозернистых фракций с использованием золы с котлов с КС.

Полученный шламовый гранулят устойчив к атмосферным условиям (солнце, дождь, температуры ниже 0°C), отвечает требованиям транспортирова-

ния, перевалки и хранения. Дополнительным преимуществом разработанной и внедренной технологии является возможность производства товарной продукции из шлама текущего выхода при сохранении существующей технологии размещения в отстойниках и отвалах невостробованной его части.

Созданная установка позволяет производить гранулированное топливо из угольных шламов и побочных продуктов сжигания угля. Срок окупаемости инвестиций составил 6 месяцев.

### 3. ПРИМЕНЕНИЕ ЗОЛ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЗАПОЛНИТЕЛЬНО-ВЯЖУЩИХ СМЕСЕЙ

В 2009-2010 гг. PKW, Научно-исследовательский институт дорог и мостов (IBDiM) и Лаборатория гражданского строительства Ecosoal Labotest Consulting Center, провели серию тестов для определения пригодности шахтной породы, отделяемой при обогащения угля, в качестве заполнителя для производства конструкций транспортной инфраструктуры. Во время тестирования были определены мощности по производству заполнителей различных типов из шахтной породы текущего выхода и из отвалов, а также заполнительно-вяжущих смесей, произведенных на основе этих заполнителей, с использованием различных видов активной золы из энергетического сектора.

На основе выводов и полученного технического подтверждения от IBDiM заполнители PKW из шахтной породы текущего выхода и из отвалов, удовлетворяют требованиям к материалам, используемым в инженерной инфраструктуре при строительстве насыпей, вспомогательных и основных гидравлических подструктур, утилизации, выравнивания земельных участков и при строительстве гидротехнических дамб.

Для обеспечения продажи заполнителей PKW гарантированного качества на заводе была внедрена система контроля производства заполнителей (Zakładowa Kontrola Produkcji Kruszyw), которая является важным элементом производства и реализации заполнителей. Одновременно, на перерабатывающем заводе технологическая линия производства угля стала адаптирована к потребностям производства заполнителя.

Только после выполнения всех этих условий PKW был в состоянии предложить потенциальным потребителям заполнитель PKW для использования в соответствии с полученными техническими условиями IBDiM №AT/2010-03-2576 в качестве заменителя скальных пород. Технические характеристики заполнителей PKW приведены в табл. 2.

В результате успешно завершённых работ в 2010 г. было продано около 20 тыс. т заполнителей PKW для строительства дорог и около 60 тыс. т заполнителей PKW для строительства дамб.

Однако, заполнители разработанные марки заполнителей PKW имели низкий коэффициент грузоподъемности и высокий коэффициент влагопоглощения, которые ограничивает использование за-

полнителя PKW в различных инженерных сооружениях. и для уменьшения коэффициента набухаемости, улучшение этих параметров было выполнено благодаря производству заполнителя PKW с добавками активной золы и шлака, включая золы котлов с КС с добавлением цемента.

Полученные результаты оправдали ожидания относительно улучшения физических параметров разработанных смесей и стали основанием для получения технического утверждения Научно-исследовательским институтом дорог и мостов регламента "Стабилизированная заполнительно-вяжущая смесь PKEW". Технические свойства смеси типа U приведены в табл. 2.

Таблица 2. Основные характеристики заполнителей PKW и заполнительно-вяжущих смесей PKEW

Параметры	Ед. изм.	Заполнитель PKW		Смесь PKEW
		Насыщение 4 дня	Насыщение 15 дней	Насыщение 4 дня
		Фракция 0...2 мм		Фракция 0...+24 % золы котлов с КС + 1 % цемента
Влажность	%	16,4	13,4	15,5
Объемная плотность	г/см <sup>3</sup>	1,884	1,806	1,871
Структурная плотность материала	г/см <sup>3</sup>	1,584	1,593	1,606
Коэффициент грузоподъемности	%	20,3	18,2	341,80
Влагопоглощение	%	0,13	0,17	0,00
		Фракция 0...30 мм		Фракция 0...+25 % золы котлов с КС
Влажность	%	11,9	9,2	16,5
Объемная плотность	г/см <sup>3</sup>	2,111	2,165	1,832
Структурная плотность материала	г/см <sup>3</sup>	1,887	1,953	1,572
Коэффициент грузоподъемности	%	15,0	8,6	228,2
Влагопоглощение	%	0,82	0,53	0,04

Одновременно был инициирован процесс закупки и пуска в эксплуатацию установки для непрерывного производства заполнительно-вяжущих смесей. Из нескольких предложений была выбрана итальянская установка непрерывного действия (Ciepiela Technology Promotion) производительностью 150 т смеси/час (рис. 4).

Установка включена в состав технологической линии завода по обогащению угля. Выделенная шахтная порода по утвержденной рецептуре смешивается с указанным количеством и типом добавок

(зола, цемент, известь) для производства стабилизированных заполнительно-вяжущих смесей различных марок с различными техническими параметрами. В настоящее время разработано около 20 марок смесей различного назначения.



Рис. 4. Установка для производства заполнительно-вяжущих смесей на угольной шахте “Собески”.

Все добавки, в частности, золы котлов с КС и смеси, которые производятся на их основе, содержат активные соединения кальция. Они предназначены для улучшения физико-химических параметров заполнителей ПКВ, повышая их механическую прочность (грузоподъемность, прочность на сжатие) и уменьшая коэффициенты фильтрации, влагопоглощения и растворимости [10-12].

На установке по производству заполнительно-вяжущих смесей углеобогащательного завода угольной шахты “Собески”, принятой в эксплуатацию в июне 2011 г., было произведено до конца года 66 тыс. т смесей с добавками золы различного типа для строительства дорог (рис.5).



Рис. 5. Строительство окружной дороги города Хжанув с использованием заполнительно-вяжущих смесей углеобогащательного завода угольной шахты “Собески”.

При этом было использовано около 56 тыс. т отходов углеобогащения и около 10 тыс. т. золы котлов с КС. Экономический эффект такой деятельности заключается в доходе от продажи смесей и снижении расходов на складирование отходов углеобогащения и золы угольных электростанций.

Планируется запустить в 2012 г. аналогичную установку на угольной шахте „Янина”. Однако уже с 2011 г. ведется производство и продажа заполнителей, изготовленных из шахтной породы текущего выхода. Для улучшения геотехнических свойств заполнителей и увеличения объема продаж, была запущена дополнительная установка для сушки шламов путем добавления золы котлов с КС. В 2011 г. для строительства дамбы на р. Висла произ-

ведено около 130 тыс. т смеси, содержащей около



Рис. 6. Строительство дамбы на реке Висла с использованием сухой заполнительно-зольной смеси из угольной шахты „Янина”.

10 тыс. т золы котлов с КС (рис. 6).

#### 4. ВЫВОДЫ

1. Исследования показали, что традиционные известковые смеси, используемые для гранулирования отходов средней крупности и улучшения геотехнических свойств среднезернистых угольных отходов, могут быть успешно заменены побочными продуктами сжигания угля энергетики с высоким содержанием активных соединений кальция.

2. Самыми активными среди побочных продуктов сжигания угля в энергетике оказались золы котлов с КС.

3. На полезные свойства гранулированных угольных шламов влияет не только тип и количество добавляемой золы, но также способ подготовки угля и методы грануляции и дозирования смеси.

4. Инженерно-геологические свойства заполнителей из отходов угледобычи можно в значительной степени улучшить благодаря добавкам золы котлов с КС при производстве заполнительно-вяжущих смесей.

5. Строительство установок для производства гранулированных топлив и заполнительно-вяжущих смесей дали возможность использовать большое количество отходов горнодобывающей промышленности, уменьшая их количество в отвалах, одновременно принося значительные экологические и экономические выгоды.

В последующие годы планируется развивать экологическую сферу деятельности компании, принятая политика которой направлена на создание «безотходной угольной шахты». В планах компании предусмотрено дальнейшее совместное использование отходов добывающих предприятий и побочных продуктов сжигания угля в энергетике. Такая тенденция, вероятно, будет способствовать устойчивому развитию Польши в интересах окружающей среды, в пользу нынешнего и будущих поколений.

#### 5. СПИСОК ИСТОЧНИКОВ ИНФОРМАЦИИ

1. Szymkiewicz A., Fraś A., Przystaś R.: Zrównoważony rozwój górnictwa węgla kamiennego w Południowym Koncernie Węglowym S.A. - Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie 2011, nr 6

2. **Золотая** медаль организатора ярмарок и Центрального Совета Научно-исследовательских институтов в 60-ой Международной выставке новшеств, исследований и новых технологий в Брюсселе "БРЮССЕЛЬ INNOVA 2011", и специальная награда PKW SA от Министерства образования Румынии за проект: "Метод непрерывного производства гранулята из угольных шламов с использованием фильтр-прессов"
  3. **Müller M.:** Agitation-based agglomeration with disc pelletizers and pelletizing mixers. *Aufbereitungs Technik* 2003, nr 2
  4. **Kuczyńska I.:** Metoda grudkowania bezciśnieniowego jako sposób przygotowania do utylizacji odpadowych мулов węglowych. XIV Krakowska Konferencja n-t Przeróbki Kopalni. Kraków 1980, Jaszowiec
  5. **Hycnar J.J.:** Czynniki wpływające na właściwości fizykochemiczne i użytkowe stałych produktów spalania paliw w paleniskach fluidalnych. Wyd. Górnicze. Katowice 2006
  6. **Hycnar J.J., Józefiak T.:** Brykietowanie odpadów drobnoziarnistych. VIII Śląskie Seminarium Ochrony Środowiska. Bytom 01.06.2007
  7. **Zgłoszenie** patentowe nr P.389379 z dnia 01.10.2009r. „Sposób otrzymywania stałej mieszanki paliwowej”.
  8. **Ecocoal CC:** Założenia technologiczne i techniczne przystosowania мулов węglowych jako dodatku do miałow węglowych i jako paliwa granulowanego. Katowice 2008 VIII
  9. **Zgłoszenie** Patentowe nr P.396624 z dnia 13.10.2011r. „Sposób otrzymywania granulatu opałowego z wykorzystaniem odpadów powydobywczych”
  10. **Szymkiewicz A., Fraś A., Przysaś R.:** Kierunki zagospodarowania odpadów wydobywczych w Południowym Koncernie Węglowym S.A. - *Wiadomości Górnicze* 7-8/2009.
  11. **Szymkiewicz A., Fraś A., Przysaś R.:** Produkcja kruszywa skalnego/kruszywa PKW w południowym Koncernie Węglowym S.A. – *Magazyn Autostrady* 5/2010
  12. **Aprobata** techniczna IBDiM nr AT/2010-03-2576 dla Kruszywa skalnego Kruszywa PKW.
- А. Шымкевич, Я. Хыцнар, А. Фрась и др.** Применение зол котлов с кипящим слоем для повышения управляемости угольными отходами // Материалы IV научно-практического семинара «Золошлаки ТЭС: удаление, транспорт, переработка, складирование», Москва, 19–20 апреля 2012 г. — М.: Издательский дом МЭИ, 2012. С. 89–93.