

УДК 662.66; 662.6:552.574

© П. Малковски, Е. Тимошенко, А. Халимендик

КАЧЕСТВО УГЛЯ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ЭМИССИЮ ПЫЛИ В АТМОСФЕРУ ПРИ ЕГО СЖИГАНИИ

© P. Malkowski, Ie. Tymoshenko, O. Khalymendyk

COAL QUALITY AND ITS INFLUENCE ON DUST EMISSION TO THE ATMOSPHERE DURING IT COMBUSTION

Цель. Анализ основных параметров каменного угля, а также воздействия пыли, полученной при сжигании с разной калорийностью и содержанием золы, с учетом исправности домашних котлов и способов сжигания в них, а также расчет потенциальной эмиссии пыли в атмосферу и ее воздействие на окружающую среду.

Методика исследования заключается в обзоре и анализе качественных показателей каменного угля, влияющих на эмиссию взвешенной пыли в атмосферу, учитывая способ сжигания, а также исправность домашних котлов для последующей разработки рекомендаций по снижению выбросов пыли при использовании угля для коммунально-бытовых нужд.

Результаты исследования. Представленный анализ потенциальной эмиссии угольной пыли, возникающей из природного содержания золы в сжигаемом угле, учитывая возможную исправность котла и метод сжигания показывает, что от его калорийности зависит содержание в нем твердых частиц и эмиссия пыли в атмосферу. Анализ интенсивности эмиссии взвешенной пыли, проведенный для котлов с разным типом решетки и тяги, показывает, что даже котлы с наилучшей конструкцией, при сжигании низкокалорийного угля, выбрасывают в атмосферу более 1 кг пыли на 1 тонну сжигаемого угля. Выполненный анализ эмиссии пыли указывает, чтобы ограничить влияние сжигание угля на окружающую среду следует сжигать угли с калорийностью минимум 27000 кДж/кг.

Научная новизна. На основе всесторонне проведенного анализа разработаны рекомендации по снижению нагрузки на окружающую среду за счет снижения эмиссии пыли в атмосферу при сжигании каменного угля для получения тепловой энергии. Проведенный анализ показывает, что сжигание низкокачественного угля в котле с КПД $\eta = 0,89$ имеет практически такое же воздействие на окружающую среду, как и сжигание высококалорийного угля в котле с КПД $\eta = 0,52$. Одновременно с тем, использование угля с высокой теплотворной способностью практически в 9 раз уменьшается количество золы, а выбросы взвешенной пыли для котла с КПД $\eta = 0,89$ составит менее 1,6 кг за отопительный сезон, используя уголь калорийностью 30000 кДж/кг.

Практическое значение. За счет внедрения современных технологий получения тепловой энергии для коммунально-бытовых нужд, а также разработанных рекомендаций позволяют снизить потенциальную эмиссию взвешенной пыли в атмосферу за счет внедрения котлов 5 класса, а также использования каменного высококалорийного угля в 9 раз, благодаря чему, экономический эффект может быть получен за счет снижения затрат на складирование, переработку и утилизацию золы, а также мероприятий, направленных на улучшение качества воздуха.

Ключевые слова: каменный уголь, калорийность, зольность, эмиссия пыли, коэффициент полезного действия, угольный котел, экологические нормы

Введение. Политика, проводимая Европейским Союзом в области охраны окружающей среды и энергетики направлена, прежде всего, на уменьшение доли твердого топлива (каменный и бурый уголь) в энергетическом балансе ЕС. Вместе с этим должна снижаться доля твердых частиц в воздухе (пыль РМ 2,5 и РМ 10), эмиссия оксида и двуокиси углерода, особенно в регионах, в которых ведется добыча угля. Кроме снижения использования каменного и бурого углей для производства тепловой и электрической энергии, с каждым разом более жесткими становятся требования к их качеству. Такая ситуация требует от угледобывающей промышленности изменить подход к оценке месторождений, которые должны быть проанализированы не только с технической и экономической сторон, но и также со стороны качества угля и его потенциального воздействия на окружающую среду во время его сжигания.

Согласно оценке специалистов уголь в течении ближайших лет будет основным носителем энергии в Польше, поэтому будет стабилизатором энергетической независимости. В 2050 году в зависимости от возможного сценария развития атомной энергии, чистых угольных технологии прогноза цен других видов топлива и цен разрешений на выброс CO₂ доля каменного угля прогнозирована на уровне 39-45 млн. тонн/год [1].

Согласно последним изменениям в Законе «Об Охране Окружающей Среды» органам местного самоуправления дается право определять разрешенные и запрещенные к использованию типы топлива, и стандарт эмиссии котлов на своей территории [2]. Это означает, что на территории города или округа можно будет запретить использование для бытовых нужд топлива низкого качества (например, угольный шлам) и использование котлов, которые не соответствуют требованиям экологических норм и стандартов.

Эти изменения были внедрены, прежде всего, для того, чтобы улучшить состояния атмосферы в тех городах и округах, где ведется подземная добыча каменного угля. Такие «антисмоговыми постановления» уже были приняты в Малопольском и Шленском воеводствах, а в Дольношленском воеводстве идет работа над таким постановлением. На сегодняшний день, в качестве примера, можно привести постановление, принятое в Шленском воеводстве, где были установлены нормы эмиссии для котлов, печей и каминов, и правила их замены. Это постановление также с 1 сентября 2017 года запрещает сжигание бурого угля, шлама, отходов флотационного обогащения и мокрого дерева. По сравнению с антисмоговым постановлением Малопольского воеводства, где был введен полный запрет на сжигание угля и дерева, постановление Шленского воеводства – это удачный пример согласования ожиданий жителей с мероприятиями по охране окружающей среды.

Состояние вопроса. Уголь, как твердое топливо, имеет постоянно высокую долю участия среди источников энергии, используемой обывателями. Согласно анализу [4], в котором представлены исследования репрезентативного участка, состоящий из 14 округов Малопольского воеводства, угольных котлов насчитывалось около 60%, когда газовых – 34%. В общей массе выбросов загрязнений, возникших в следствии сжигания угля наибольшую часть имеют со-

единения серы и азота, оксид и диоксид углерода, а также оксид и диоксид углерода, и пыль [4]. Могут также возникать и органические загрязнения – полициклические ароматические углеводороды (бензо-(α)-пирен), диоксины, фураны, алифатические углеводороды, альдегиды, кетоны и тяжелые металлы [5]. Эти токсические субстанции возникают в процессе сжигания, прежде всего, угля плохого качества, например угольного шлама низкой калорийности. Следует отметить, что калорийность напрямую зависит от содержания золы в добываемом угле. Исследования, проведенные в Украине, показывают, что между этими двумя параметрами существует логарифмическая зависимость с высокой степенью сходимости, равной 99% (рис. 1) [6]. Природное содержание золы в каменном угле составляет 10–13%, но, из-за геологических условий и применяемой технологии, содержание золы в добываемом угле увеличивается до 40 – 50%, а в некоторых случаях и более. Поэтому, перед реализацией, такой уголь должен пройти процесс обогащения, что значительно влияет на его окончательную цену.

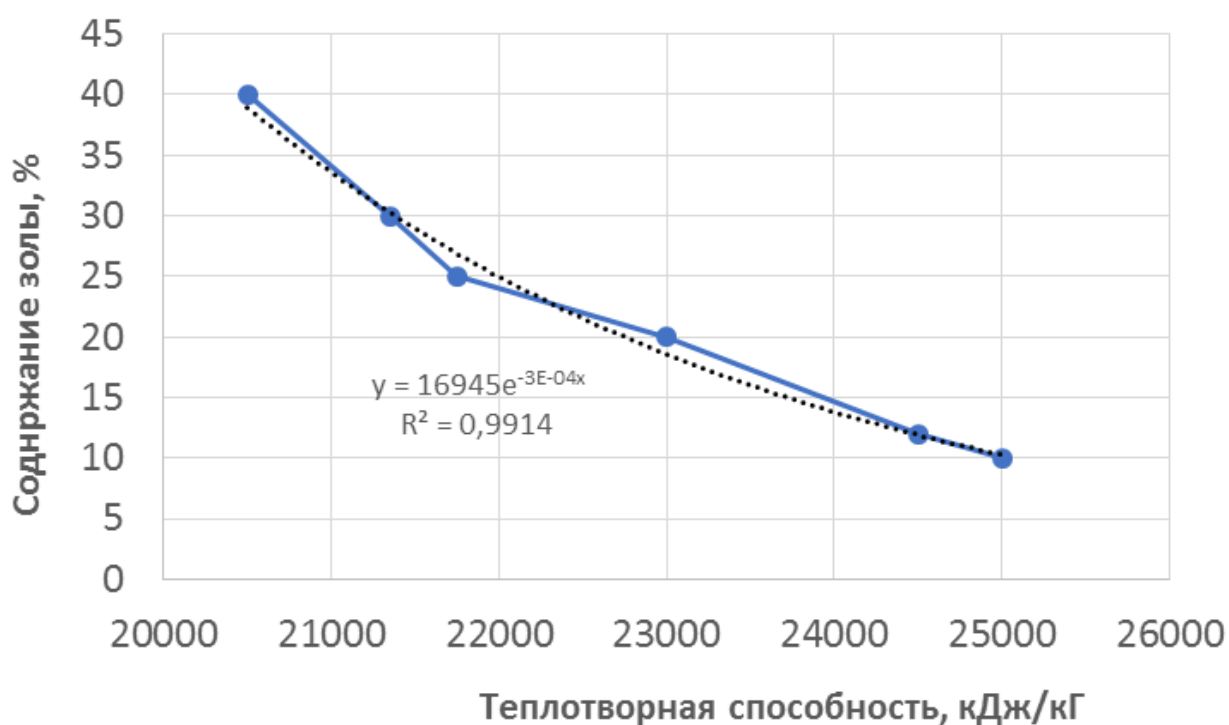


Рис. 1. Зависимость калорийности от содержания золы

Целью проведения исследования является анализ основных параметров каменного угля и их сравнение по качественным и экологическим критериям. Также проведен краткий анализ воздействия пыли на окружающую среду, возникающей при сжигании угля с разной калорийностью и содержанием в нем золы, а также исправности домашних котлов и разные методы сжигания в них.

Влияние качества угля на эмиссию пыли. Пыль - (PM - ang. Particulate matter) это загрязнитель воздуха, состоящий из смеси твердых и жидких частиц, подвешенных в воздухе, представляющих собой смесь органических и неорга-

нических субстанций. Она также может содержать множество вредных для человека химических субстанций, представленных выше. Химический состав подвешенной пыли напрямую зависит от типа источника, поры года, метеорологических условий, в том числе от направления ветра и от локальной характеристики эмиссии [5]. Следует отметить, что только часть эмиссии пыли возникает в результате сжигания угля, которая в зависимости от времени года, наиболее ощутима в осенне-зимнем периоде. Дополнительно количество эмиссии загрязнения увеличивается из-за сжигания угля в печах малой мощности, с низким текущим и среднегодовым уровнем исправности, без системы очистки газов (плиточные печи, домашние котлы и т.д.). Институт Химической Переработки (г. Забже, Польша) по заказу ГО «Krakowski Alarm Smogowy» в 2017 году выполнил исследования влияния типа и применения котла (так называемого верхнего и нижнего сжигания угля) на эмиссию пыли [7]. Авторы исследования утверждают, что верхнее сжигание не ограничивает эмиссию пыли, так как приводит к увеличению в 40% случаев, а в 25% приводит даже к значительному увеличению эмиссии пыли или бензо-(α)-пирена. Наиболее важным также является и сам котел. Применение камерного котла дает выброс на уровне 279-1322 мг пыли при сжигании 1м³ угля типа «орех», а чугунный нагреватель типа «коза» – 821-848 мг/1м³ угля. Сама конструкция котла может ограничить эмиссию пыли почти в 4 раза.

Расчет эмиссии взвешенной в воздухе пыли во время сжигания угля в котлах с указанной тепловой мощностью выполняется согласно методике описанной в «Коэффициент эмиссии загрязнений...» [8]. Общее уравнение, служащее для расчета величины эмиссии на основании так называемого коэффициента эмиссии на химическую энергию, включенную в топливо, имеет вид:

$$E = B \times W_o \times W$$

где: E – эмиссия субстанции, г/мг;

B – расход топлива, кг;

W_o – теплотворная способность топлива, МДж/кг;

W – коэффициент эмиссии на гигаджоуль химической энергии, включенную в топливо.

При использовании угля показатель W определяется согласно зависимости:

- для фиксированной решетки с естественной тягой – $1\,000 \times A^r$;
- для фиксированной решетки с искусственной тягой – $1\,500 \times A^r$;
- для механической решетки – $2\,000 \times A^r$;

где: A^r – содержание золы, выраженное в процентах [%].

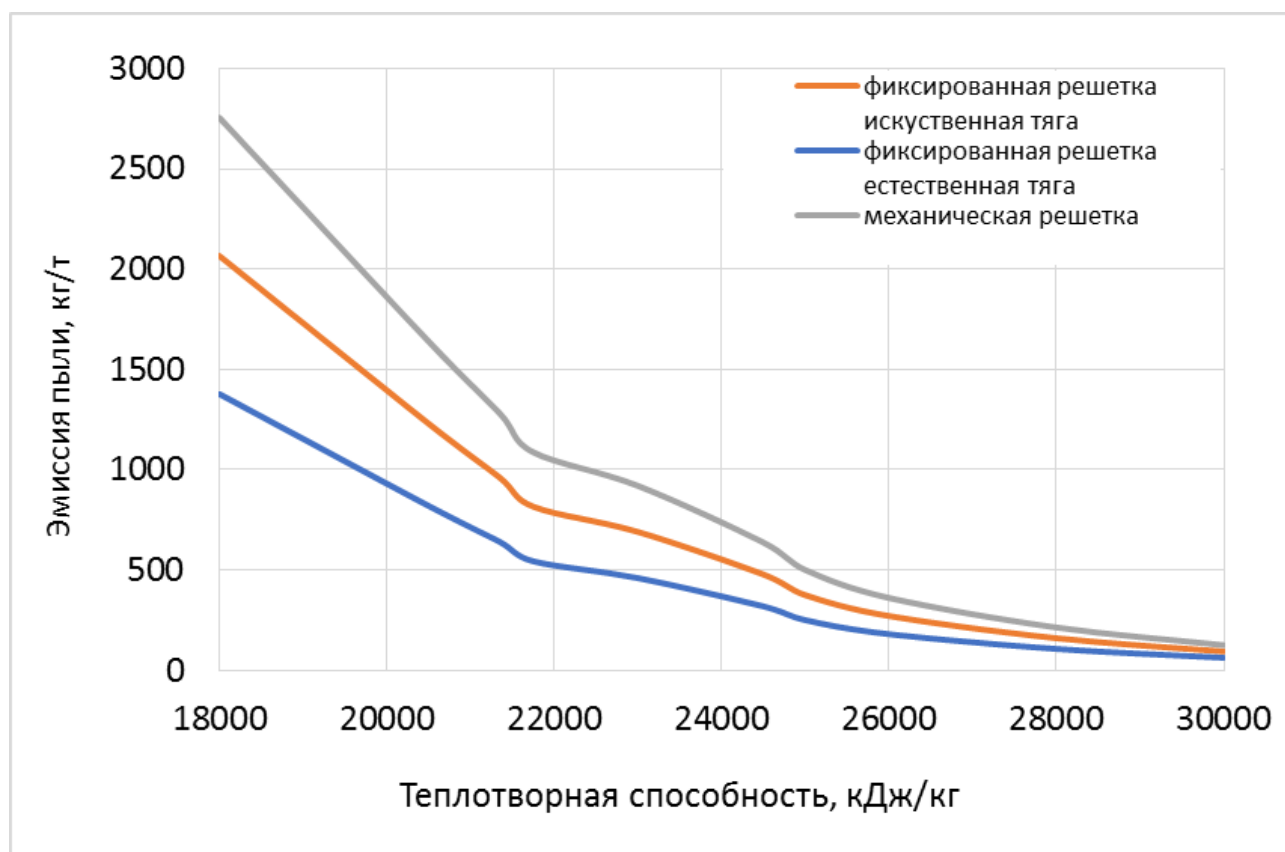


Рис 2. Зависимость эмиссии пыли от теплотворной способности угля

Чтобы показать, каким образом калорийность угля и тип котла влияет на возможную эмиссию пыли было проведено соответствующий анализ, учитывая зависимость между теплотворной способностью угля и содержанием в нем твердых частиц (рис. 1). Проведенные исследования для сжигания 1 тонны угля показывают, что чем больше его калорийность, конечно, меньше выбросы пыли в атмосферу при его сжигании (рис. 2), но при калорийности 27000÷28000 кДж/кг эмиссия небольшая и составляет около 0,1÷0,2 кг, и что важно, разница между выбросами пыли при использовании разных технологий сжигания размывается между собой. Поэтому покупка и использование угля с калорийностью 27000 кДж/кг или выше очень существенно снижает количество выбрасываемой пыли в атмосферу. Следует также учесть, что в случае использования угля с теплотой сгорания ниже 22000 кДж/кг эмиссия пыли в атмосферу сильно возрастает, а в случае использования низкокалорийных шламов увеличивается еще быстрее. Однако, при калорийности угля $Q = 19700$ кДж/кг даже при сжигании в котле с наилучшей системой сжигания выброс пыли в атмосферу при сжигании 1 тонны превышает 1,0 кг (рис. 2), а при сжигании угля калорийностью 18000 кДж/кг в котлах с механической решеткой масса выбрасываемой пыли доходит до 2,8 кг.

На сегодняшний день наилучшим конструкционным решением котлов являются котлы с системой подачи, но все же их использование колеблется на уровне нескольких процентов [3]. В них можно использовать уголь сорта «эко-семечка», «семечка», «экошлам» и обычный шлам. При сжигании чистого

шлама выбросы, как правило, увеличиваются, по сравнению с углем лучшего качества, из-за высокого содержания золы, но в тоже время значительно меньше, нежели хороший уголь будет плохо сожжен или сожжен в котлах с низким коэффициентом полезного действия. Новые котлы, согласно стандарта PN EN 303–5:2012 должны быть 5 класса, то есть характеризоваться высокой исправностью, гарантированная с помощью автоматической подачей топлива и воздуха в камеру верхнего сжигания и камеру верхнего сжигания. Класс зависит также от вида сжигаемого топлива. На рисунке 3 представлен график зависимости исправности котла от его мощности, с которой он используется. Котлы наивысшего класса получают максимальный КПД даже при работе на 20% своей мощности, 4 класса – при достижении около 50%, а 3 класса только при разогреве котла до около 75% максимальной мощности. Старые котлы имеют значительно меньшую мощность. Следует отметить, что согласно нормы PN-EN 12809 (уже неактуальна) новые котлы по умолчанию должны были иметь мощность не более 70 – 74% номинальной мощности, потом требования относительно качества и исправности отопительного оборудования не увеличивались.

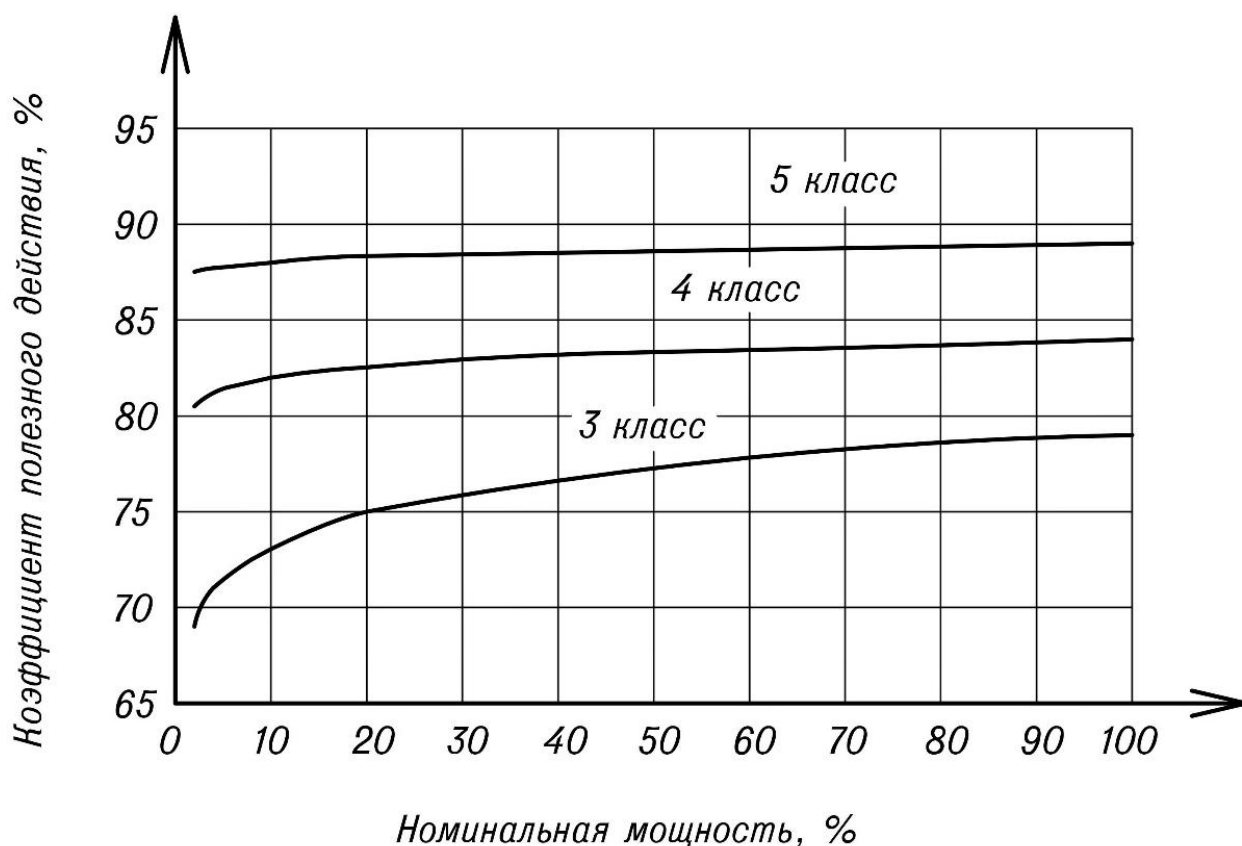


Рис. 3. Коэффициент полезного действия котлов наивысшего класса в зависимости от использованной в них мощности согласно норме PN EN 303–5:2012 [10].

В случае, когда вместе с котлом установлено устройство для снижения выбросов (например, электрофильтры), мощность установки снижается, то есть

его КПД становится менее 100%. В работе [3] ссылаясь на исследования ЕМЕР/ЕЕА Air Pollutant Emission Inventory, доказывают, что достаточно неумелой эксплуатации котла и неправильной установки центральной системы отопления чтобы реальный коэффициент полезного действия котла составил 50-65%. Это перекладывается на количество используемого угля, а вместе с этим на объем полученной золы и выброса пыли. Чтобы показать влияние исправности отопительного устройства на количество сжигаемого угля в отопительный сезон выполнены соответствующие расчеты. Предполагается, что отопительный сезон длится 200 дней (от середины сентября до конца марта, то есть установлено, что это «период, в котором атмосферные условия требуют необходимость постоянной доставки теплоносителя с целью отопления объектов» [9]), а для отопления используется котел мощностью 20 кВт, что хватает для обогрева среднего по величине дома площадью около 170 м². Предполагается, что ежедневно котел работает 10 часов используя 70% номинальной мощности, а его коэффициент полезного действия будет составлять: 0,89 – котел 5 класса, 0,84 – котел 4 класса, 0,78 – котел 3 класса, 0,52 – неправильно установленный котел и с неисправной установкой, близкий к реальному КПД большинства установок, используемых в домохозяйствах. Принято также содержание золы в угле от 5 до 26%, согласно декларируемому содержанию золы в предложении Польской Группы Гурничей [11].

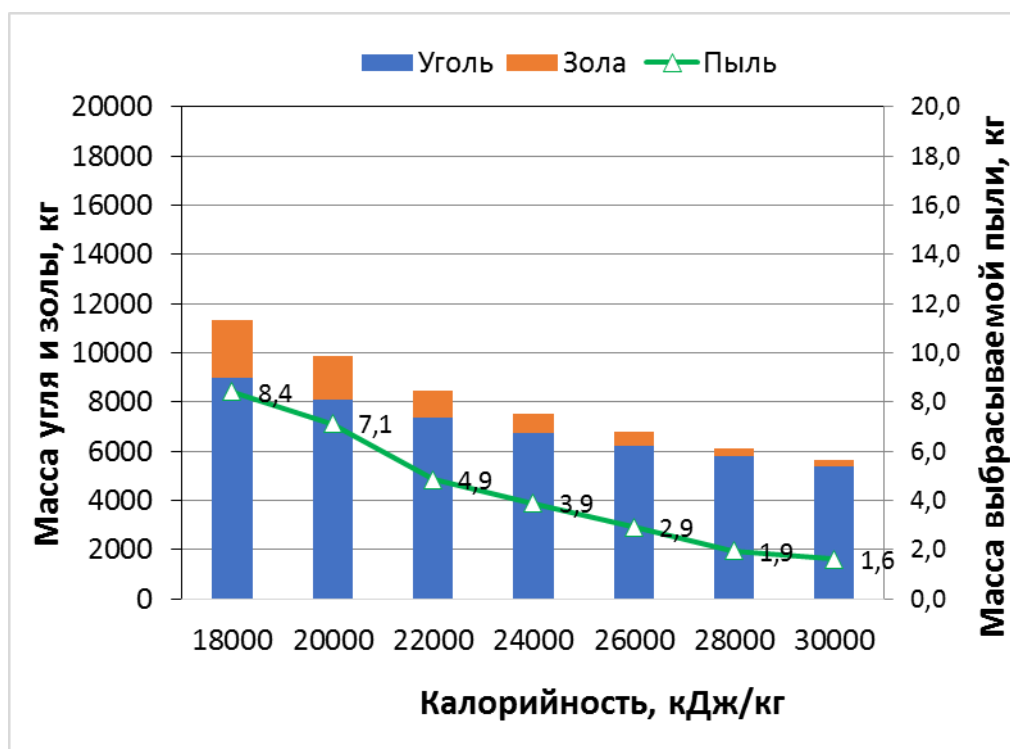


Рис. 4. Использование угля, количество произведенной золы и объем выброса пыли при исправности котла $\eta = 0,89$

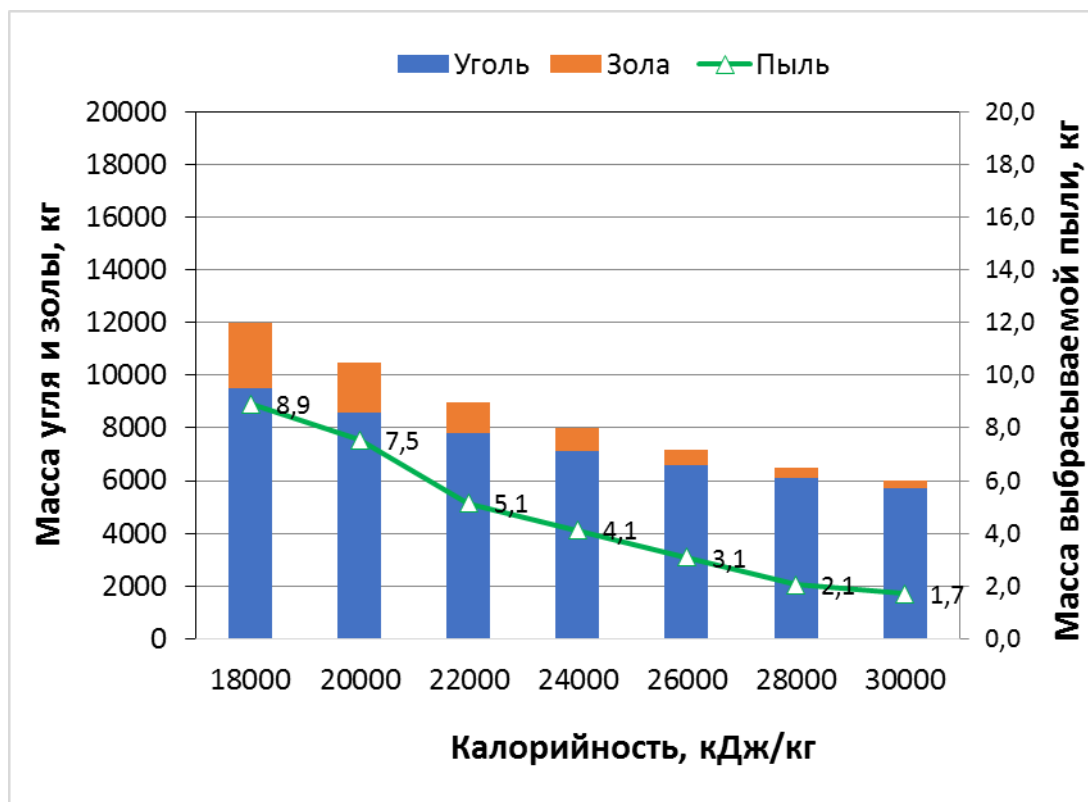


Рис. 5. Использование угля, количество произведенной золы и объем выброса пыли при исправности котла $\eta = 0,84$

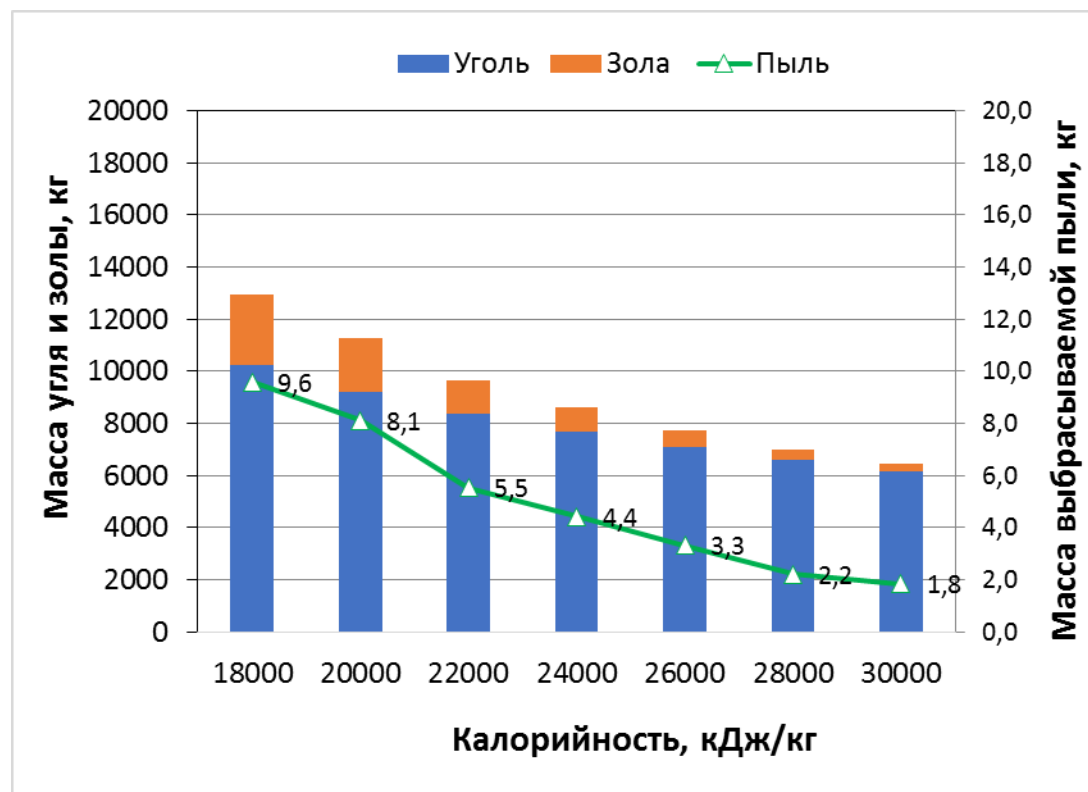


Рис. 6. Использование угля, количество произведенной золы и объем выброса пыли при исправности котла $\eta = 0,78$

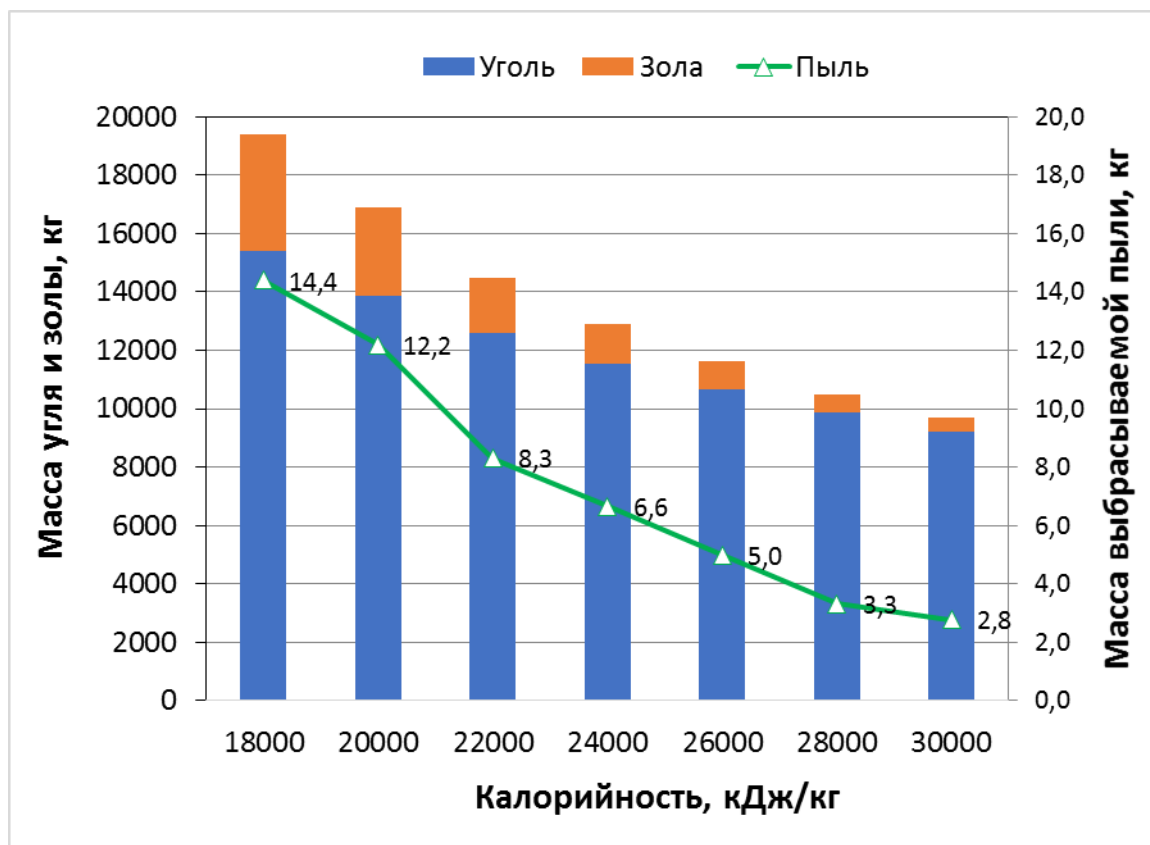


Рис. 7. Использование угля, количество произведенной золы и объем выброса пыли при исправности котла $\eta = 0,52$

Результаты расчета показывают, что уменьшение коэффициента полезного действия котла приводит к увеличению потребления каменного угля даже с наивысшей калорийностью, а также приводит к увеличению выбросов твердых частиц пыли. Использование низкокалорийного угля в котлах с КПД $\eta = 0,78 \div 0,89$ в течении отопительного сезона, согласно расчетам, оценивается на уровне от 8989 кг при $\eta = 0,89$ до почти 10256 кг при $\eta = 0,78$ (рис. 4-6). Использование углей с наивысшей теплотворной способностью приводит к существенному уменьшению количества сожженного угля. Использование каменного угля с калорийностью 24000 кДж/кг уменьшает его соответственно до 6742 и 7692 кг, а с калорийностью 30000 кДж/кг уменьшает его соответственно до 5393 и 6154 кг. Поэтому необходимое количество угля, необходимая для обогрева такой же площади уменьшается практически в 2 раза по сравнению с низкокалорийными углями. Одновременно применение угля высокой калорийности почти в 9 раз уменьшает количество золы, а эмиссия твердых частиц пыли для котла с КПД $\eta = 0,89$ составит за весь сезон 8,4 кг для шлама с калорийностью 18000 кДж/кг, и всего лишь 1,6 кг, используя уголь калорийностью 30000 кДж/кг. Совсем по-другому выглядит ситуация, когда для отопления используется котел с КПД $\eta = 0,52$. Тогда использование каменного угля независимо от его теплотворной способности увеличивается практически на 50% (рис. 7) и в случае использования шламов составит 15385 кг, а в случае высококачествен-

ного угля – 9231 кг. Одновременно, это даст 4 тонны золы при сжигании шламов и около 0,5 тонны пыли при использовании угля калорийностью 30000 кДж/кг. Выброс твердых частиц пыли тогда увеличится и составит 14,4 кг и 2,8 кг соответственно.

Таким образом, если предположить, что среднестатистический пользователь пользуется котлом не новой генерации, но имеющим КПД $\eta = 0,78$ и использует уголь типа «орех» или «семечка» теплотворной способностью 26000 кДж/кг должен сжечь около 7 тонн угля, утилизировать 640 кг золы и выбросит в атмосферу около 3,3 кг пыли. Поэтому он потребляет половину того объема в случае использования шлама и выбрасывает из котла в 4 раза меньше пыли.

Следует также проводить разъяснительную работу в этом направлении среди потребителей и контролировать, чтобы в домохозяйствах использовали, прежде всего, уголь калорийностью минимум 27000 кДж/кг.

Выводы. Так как одним из главных принципов деятельности горнодобывающего предприятия является минимизация влияния на окружающую среду в процессе добычи и использования каменного угля, уже на этапе добычи можно выполнять мероприятия, направленные на ограничение количества добываемой пустой породы и содержания твердых частиц в добываемом каменном угле. Одним из направлений по улучшению влияния на окружающую среду является разработка и внедрение технологии разработки угольных пластов, которая позволила бы снизить объем присекаемых пород кровли и почвы. Второе направление – это ограничение разработки пластов с высоким содержанием серы и золы, а также с большим количеством включений и геологически нарушенных пластов.

В представленных решениях ключевым далее является проблема теплотворной способности угля, которая перекладывается на содержание в нем твердых частиц. Законодательные изменения, связанные с ограничением продажи угольного шлама и флотационных отходов является хорошим толчком, так как существенно ограничивает эмиссию пыли в атмосферу. Анализ интенсивности эмиссии взвешенной пыли, проведенная для котлов с разным типом решетки и тяги показывает, что даже котлы с наилучшей конструкцией, сжигая уголь, калорийностью ниже 22000 кДж/кг выбрасывают огромное количество пыли, которое при сжигании 1 тонны угля превышает 1 кг. В свою очередь использование угля с теплотворной способностью 27000 кДж/кг или выше в очень высокой степени снижают объем выбрасываемой в атмосферу пыли, без учета класса используемого котла.

Анализ сжигания разных типов угля в котлах с разным КПД показывает, что сжигание угля низкого качества в котле с КПД $\eta = 0,89$ имеет практически такое же воздействие на окружающую среду, как и сжигание высококалорийного угля в котле с КПД $\eta = 0,52$. Одновременно с тем, использование угля с высокой теплотворной способностью практически в 9 раз уменьшается количество золы, а выбросы взвешенной пыли для котла с КПД $\eta = 0,89$ составит 8,4 кг за отопительный сезон для шлама с калорийностью 18000 кДж/кг, или менее 1,6 кг за отопительный сезон, используя уголь калорийностью 30000 кДж/кг.

Выполненные расчеты показывают также, что для обогрева дома площадью 170 м², в случае использования в течении отопительного сезона угля, калорийностью 28000 кДж/кг и использовании исправного, хоть и не нового котла с КПД 74%, будет достаточно около 6,5 тонн угля на отопительный сезон, в то время как, в случае использования шлама с калорийностью 18000 кДж/кг следует купить 10,5 тонн на отопительный сезон, из которого будет произведено около 3 тонн золы, а при сжигании каждой тонны будет выбрасываться в атмосферу 10 кг пыли. Следует также взять во внимание, что до сих пор использование котлов 5 класса является редкостью. Везде еще пользуются старыми котлами или 3 и 4 класса. Коэффициент полезного действия старых установок обычно низкий и незначительно превышает 50%, из-за этого реальные показатели спроса на уголь в отопительный сезон, а также количество золы и пыли выше.

Проведенный анализ показывает, что применение угля с теплотворной способностью минимум 27000 кДж/кг при применении любой конструкции котла и метода сжигания значительно уменьшает как выброс пыли в атмосферу, так и количество произведенной золы, возникшей при сжигании угля. Также в предложениях угледобывающий предприятия должна преобладать такая продукция, которая должна обеспечивать минимальное влияние на окружающую среду, а в предложениях производителей котлов – такие конструкции, которые будут требовать использования углей наивысшего качества.

Перечень ссылок

1. Gawlik L., & Lorenz U. (2014). *Ile węgla kamiennego dla energetyki?* Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal, Tom 17, Zeszyt 3, s. 19–32.
2. *Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 10 lutego 2017 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy - Prawo ochrony środowiska* (Dz.U. 2017, poz. 519).
3. Czerski G., & Mirowicz T. (2016) *Porównanie efektywności energetycznej kotłów gazowych i na paliwa stałe*. Polski Instalator, nr 1, s. 38–43.
4. Lorenz U. (2006). *Skutki spalania węgla kamiennego dla środowiska*. Mat. Szkoły Eksploatacji Podziemnej, Sympozja i Konferencje nr 64, Wyd. Instytutu GSMiE PAN, s. 97–112.
5. Kuskowska K., & Dmochowski D. (2016). *Analiza rozkładu stężeń pyłu zawieszonego frakcji PM10, PM2,5 i PM1,0 na różnych wysokościach Mostu Gdańskiego*. Zeszyty Naukowe SGSP, vol. 59, nr 3, s. 101-119.
6. *Уголь марки Д*. <http://power.ub.ua/ru/goods/view/11295871/all/ugol-marki-d/>.
7. Instytut Przeróbki Chemicznej Węgla. (2017). *Ocena skuteczności metody spalania węgla i drewna „od góry” jako narzędzia poprawy jakości powietrza w Polsce*. Krakowski Alarm Smogowy.
8. *Wskaźniki emisji zanieczyszczeń ze spalania paliw. Kotły o nominalnej mocy cieplnej do 5 kW*. Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami, Warszawa 2015.
9. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 15 stycznia 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemów ciepłowniczych. Dz.U. 2007, nr 16 poz. 92.
10. PN-EN 303-5:2012: *Kotły grzewcze -- Część 5: Kotły grzewcze na paliwa stałe z ręcznym i automatycznym zasypem paliwa o mocy nominalnej do 500 kW - Terminologia, wymagania, badania i oznakowanie*.
11. http://gornictwo.wnp.pl/notowania/ceny_wegla_pgg/
12. PN-EN 12809:2002. *Kotły grzewcze na paliwa stałe -- Nominalna moc cieplna do 50 kW -- Wymagania i badania*.

АНОТАЦІЯ

Мета. Аналіз основних параметрів кам'яного вугілля, а також впливу пилу, отриманого при спалюванні з різною калорійністю і вмістом золи, з урахуванням справності домашніх котлів і способів спалювання в них, а також розрахунок потенційної емісії пилу в атмосферу і її вплив на навколишнє середовище.

Методика дослідження полягає в огляді та аналізі якісних показників кам'яного вугілля, що впливають на емісію зваженого пилу в атмосферу, враховуючи спосіб спалювання, а також справність домашніх котлів для подальшої розробки рекомендацій щодо зниження викидів пилу при використанні вугілля для комунально-побутових потреб.

Результати дослідження. Представлений аналіз потенційної емісії вугільного пилу, що виникає з природного вмісту золи в спалюваному вугіллі, з огляду на можливу справність котла і метод спалювання показує, що від його калорійності залежить вміст у ньому твердих частинок і емісія пилу в атмосферу. Аналіз інтенсивності емісії зваженої пилу, проведений для котлів з різним типом решітки і тяги, показує, що навіть котли з найкращого конструкцією, при спалюванні низькокалорійного вугілля, викидають в атмосферу понад 1 кг пилу на 1 тону вугілля, що спалюється. Виконаний аналіз емісії пилу вказує, щоб обмежити вплив спалювання вугілля на довкілля слід використовувати вугілля з калорійністю мінімум 27000 кДж/кг.

Наукова новизна. На основі всебічно проведеного аналізу розроблені рекомендації щодо зниження навантаження на навколишнє середовище за рахунок зниження емісії пилу в атмосферу при спалюванні кам'яного вугілля з метою отримання теплової енергії. Проведений аналіз показує, що спалювання низькоякісного вугілля в котлах з ККД $\eta = 0,89$ має практично таку ж дію на навколишнє середовище, як і спалювання висококалорійного вугілля в котлі з ККД $\eta = 0,52$. Одночасно з тим, використання вугілля з високою теплотворною здатністю практично в 9 разів зменшує кількість золи, а викиди зваженої пилу для котла з ККД $\eta = 0,89$ складе менше 1,6 кг за опалювальний сезон, використовуючи вугілля калорійністю 30000 кДж / кг.

Практичне значення. За рахунок впровадження сучасних технологій отримання теплової енергії для комунально-побутових потреб, а також розроблених рекомендацій дозволяють знизити потенційну емісію зваженої пилу в атмосферу за рахунок впровадження котлів 5 класу, а також використання кам'яного висококалорійного вугілля в 9 разів, завдяки чому, економічний ефект може бути отриманий за рахунок зниження витрат на складування, переробку та утилізацію золи, а також заходів, спрямованих на поліпшення якості повітря.

Ключові слова: кам'яне вугілля, калорійність, зольність, емісія пилу, коефіцієнт корисної дії, вугільний котел, екологічні норми

ABSTRACT

Purpose. Analysis of the main parameters of coal, as well as the effect of dust obtained from burning with different caloric content and ash content, considering the serviceability of domestic boilers and methods of burning in them, and calculating the potential emission of dust into the atmosphere and its impact on the environment.

The methods of the research consists in reviewing and analyzing the quality parameters of coal that affect the emission of suspended dust into the atmosphere, considering the combustion method, as well as the serviceability of domestic boilers for the subsequent development of recommendations for reducing dust emissions when using coal for domestic use.

Findings. The presented analysis of the potential emission of coal dust arising from the natural ash content in the coal being burned, considering the possible serviceability of the boiler and the combustion method, shows that it depends on the solids content in it and the emission of dust into the atmosphere. The analysis of the intensity of suspended dust emission carried out for boilers with different types of grating and traction shows that even boilers with the best design, when burning low-calorific coal, emit more than 1 kg of dust per ton of coal burnt into the atmosphere. The performed analysis of dust emission indicates that to reduce the impact of burning coal on the environment, one should burn coal with a calorific content at least 27,000 kJ/kg.

The originality is based on a comprehensively conducted analysis, recommendations have been developed to reduce the burden on the environment by reducing the emission of dust into the atmosphere when burning coal to generate thermal energy. The analysis shows that burning of low-quality coal in a boiler with efficiency $\eta = 0.89$ has practically the same effect on the environment as burning of high-calorific coal in a boiler with efficiency $\eta = 0.52$. At the same time, the use of coal with a high calorific value reduces the amount of ash by almost 9 times, and the emissions of suspended dust for the boiler with the efficiency $\eta = 0.89$ will be less than 1.6 kg for the heating season, using coal with a calorific value of 30,000 kJ/kg.

Practical implications. Due to the introduction of modern technologies for obtaining heat energy for household needs, as well as developed recommendations, it is possible to reduce the potential emission of suspended dust into the atmosphere due to the introduction of 5 class of boilers, as well as the use of high-calorific coal 9 times, so that the economic effect can be obtained by reducing the cost of storage, processing and utilization of ash, as well as activities aimed at improving air quality.

Keywords: *coal, calorific capacity, ash content, dust emission, coefficient of efficiency, coal boiler, environmental standards*