

DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-10-20-33

Лесовик Г.А., Лесовик Р.В., Ключев С.В., Вэньсюй С., Сюань Ч.Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова***E-mail: galina.lesovik@mail.ru*

О ПЕРСПЕКТИВАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗОЛ-УНОСА В ГАЗОБЕТОНЕ

Аннотация. Угольная промышленность в Китае занимает лидирующую позицию. Дальнейший план развития на пятилетку допускает рост угольных мощностей, но при этом планируется идти по пути «чистого и эффективного использования угля». Одним из преимущественных направлений выделено «зеленое» строительство. В связи с этим остро стоит вопрос утилизации отходов сжигания угля, объем которых постоянно увеличивается, загрязняя тем самым почву, атмосферу и ближайшие водоемы.

Основной причиной большого перерасхода энергии на отопление зданий и сооружений является неэффективная теплоизоляция. При этом суровый климат и холодные зимы в некоторых районах Китая предопределяют необходимость применения высококачественных теплоизоляционных материалов. Одним из таких материалов признан газобетон. Но наряду с теплоизоляцией он должен выполнять и звукоизоляционную функцию, чтобы хоть как-то минимизировать воздействие шума на человека в больших мегаполисах.

Отмечено, что производство газобетонных смесей занимает лидирующую позицию, а применение отходов от сжигания топлива в качестве одного из компонентов газобетона, позволяет не только сократить расходы на его производство, но и снизить экологическую нагрузку на окружающую среду.

Ключевые слова: окружающая среда, летучая зола, теплоизоляционный и звукоизоляционный газобетон, применение отходов сжигания угля, приоритеты развития.

Введение. На текущий момент Китай занимает первое место в мире по электропотреблению и, соответственно, считается одной из крупнейших стран по производству угля.

Уголь считается популярным и необходимым видом топлива в стране, является фундаментом энергетической базы и гарантией успешного развития экономики страны. Месторождения угля в Китае занимают площадь более 600 тыс. км². Уголь обеспечивает производство 77 % электроэнергии, производство 65 % химического сырья, целиком удовлетворяет потребности в топливе коммунально-бытового сектора и населения.

Но нельзя забывать о том, что огромное количество мелкодисперсных отходов обогащения, а также вскрышных пород, которые оказывают негативное влияние на экологическую ситуацию во всем мире, образуются именно при добыче и обогащении угля. Далее, при сжигании угля образуется значительное количество золы-уноса, которая отрицательно сказывается на здоровье человека и на окружающей среде в целом. По данным Всемирной организации здравоохранения 17 % всех смертей в Китае происходит по причине загрязнения воздуха, поэтому правительство постоянно совершенствует законы и мероприятия для сокращения вредных отходов угольных электростанций [1–5].

На сегодняшний день угольная промышленность Китая – это достаточно крупный кластер,

который был создан по аналогии бывшего Советского Союза и включал этапы, начиная от исследований и геологоразведки, строительства и эксплуатации угольного разреза до распространения продукции и научных исследований. Технология производства угля включает следующие стадии: промывка, измельчение и сортировка после добычи. Китайский уголь содержит большое количество летучих веществ, примесей, золы и серы. Как известно, сера и зола значительно ухудшают качество угля, поэтому минеральные примеси необходимо удалять до использования угля, то есть подвергать его процессу обогащения. Таким образом можно извлечь до 30–40 % серы и понизить его зольность на 50–80 %.

Материалы и методы. В данной работе в основе методики исследования лежит комплексный подход, который включает изучение литературных источников и электронных ресурсов; обобщение отечественного и зарубежного опыта применения отходов угольной промышленности в строительном секторе и поиск наиболее оптимальных решений.

Основные задачи исследования – расширение областей применения золы-уноса в строительстве, что, с одной стороны, позволит значительно снизить экологическую нагрузку на окружающую среду, а с другой, позволит решить проблемы современных мегаполисов.

Основная часть. Угольные месторождения рассредоточены почти по всей территории Китая.

Первое место в стране по запасам и объемам добычи занимает Северный Китай, где рельеф позволяет механизировать и автоматизировать добычу угля, а также находятся угольные пласты с большой мощностью. Однако там существует проблема дефицита водных ресурсов, которые необходимы при строительстве крупных шахт.

Самые большие запасы угля принадлежат следующим месторождениям: Сишань, Янцюань, Кайлуань, Шигуайгоу, Датун и Фэнфэн. Крупнейшие месторождения местного значения: в провинции Ганьсу – Шаньдань, в провинции Шэньси – Вэйбэй, в Синьцзян-Уйгурской автономной республике – Людавань и Хами, в Нинся-Хуэйской автономной республике – Шицзюйшань, в провинции Цинхай – угольный бассейн Ланьчжоу-Сининский. Помимо этого, на севере Китая, на границе провинции Шэньси с Внутренней Монголией находится одно из масштабных в мире месторождений угля, которое в текущий момент динамично осваивается. Найденные запасы составляют 223,6 млрд. тонн. Следовательно, можно предположить, что спустя несколько десятилетий, данный угольный бассейн будет являться основным в стране с годовой добычей угля до 60 миллионов тонн.

Угленосный район восточного Китая до недавнего времени считался бесперспективным в плане разработки угля, пока там не были обнаружены огромные запасы, сосредоточенные в основном в следующих месторождениях: в провинции Аньхой – Хуайнань, в провинции Шаньдун – Таочжуан, Цзыбо, Синьтай, в провинции Цзянсу – Сюйчжоу, в провинции Цзянси – Фэнчэн, Лэпин, Пинсян. Тем не менее непростой рельеф этого региона осложняет добычу угля.

В Центральном и Южном Китае расположено около 40 месторождений, наиболее значимые из которых: Хэби, Пиндиншань, Цзяоцзо (провинция Хэнань), Синнин-Мэйсянь (провинция Гуандун), Хуанши (провинция Хубэй), Цзысин (провинция Хунань).

Северо-Восток Китая славится такими крупнейшими месторождениями угля, как: Яньтай, Фусинь, Хайчжоу, Фушань, Бэйпяо, Бэньси, Шуаньяшань, Пиннань, Цзяохэ, Хэган, Тунхуа, Сиань, Цзиси. В Юго-Западном районе Китая в последние десятилетия постоянно велись работы по разведке новых месторождений. Обозначены следующие месторождения: Дуюнь (провинция Гуйчжоу), Чжунляншань, Хуаюшань, Шуйчэн, Чунцинское, Сяолуньтань (провинция Юньнань), Наньтун, но на сегодняшний день запасы еще по большей части не изучены. Разведывательные и исследовательские работы, а также добыча угля в Юго-Западном Китае затруднены из-за сложного

рельефа территории и недоразвитой транспортной инфраструктуры [5–7].

Все китайские провинции по уровню добычи угля можно разделить на следующие группы: импортеры угля, экспортеры угля, самодостаточные регионы. Импортерами являются Центральный и Южный Китай, Северо-Восточный и Восточный Китай. Как было уже отмечено, эти регионы содержат огромные запасы угля, но несмотря на это, продолжают его ввозить. Это объясняется, с одной стороны, стремительным развитием региона, и одновременно отсталостью добычи угля, устаревшим оборудованием и слабой геологической разведкой. Эти районы требуют повышения рентабельности малых угольных предприятий, развитие мощностей средних и крупных шахт и увеличение объемов добычи в малых шахтах. Также остро стоит вопрос об увеличении масштабов добычи коксующихся углей. Экспортеры угля – это провинции, обладающие огромными угольными запасами и транспортирующие их в другие районы или за границу. К ним относятся следующие провинции: Шэньси и Шаньси, АР Внутренняя Монголия и Нинся-Хуэйский АР. Этим районам также требуется современное техническое оснащение и перевооружение предприятий и усиление геологоразведки, а также закрытие или реструктуризация убыточных малых шахт. Самодостаточные регионы – это те провинции, которые самостоятельно обеспечивают свои потребности в угле. Это Юго-Западный Китай, провинции Ганьсу и Цинхай, Синьцзян-Уйгурский АР. В этих регионах планируется наладить экспорт угля и ограничить строительство малых шахт, но быстрое развитие угольной промышленности в данных регионах сдерживается недоразвитостью транспортной системы. Следовательно, для дальнейшего быстрого и планомерного развития угольной промышленности Китая необходимо в регионах-экспортерах увеличить производство, в регионах-импортерах и в самодостаточных регионах – стабилизировать добычу угля.

Необходимо дополнить, что месторождения углей сопряжены с месторождениями черных и цветных металлов, урана, германия, что мешает систематизировать угольные запасы, также немаловажным является тот факт, что различные типы углей залегают по-разному, например, бурые угли залегают горизонтально, а антрацит и коксующиеся угли – вертикально.

На этапе 14-го пятилетнего плана развития Китая ожидается, что экономический рост составит около 5,6–6 %, энергопотребление возрастет на 2 %, что соответствует приблизительно 100 млн. тонн угольного эквивалента. Общее потребление энергии планируется сохранять в пределах

около 5,5 млрд. тонн угольного эквивалента. План развития Китая на 14-ю пятилетку предполагает, что потребление угля, нефти, а тем более, природного газа, будет увеличиваться (рис. 1).

Он допускает рост угольных мощностей и не запрещает возведение новых угольных электростанций. Китай намеревается идти по пути «чистого и эффективного использования угля», что подразумевает уменьшение выбросов CO₂, а также планируется введение больших налоговых льгот для развития низкоуглеродной экономики. Определяющим является тот факт, что количество углекислого газа, выбрасываемого в атмосферу при сжигании угля в 2,5 раза больше, чем при сжигании нефти и газа на единицу энергии, соответственно, и проблема борьбы с вредными выбросами стоит острее при использовании угля.

Основной причиной образования парниковых газов, как известно, является распространение двуокиси углерода. Сами по себе парниковые газы не считаются загрязнителями, так как их концентрации не влияют на здоровье людей, но аккумуляция их в атмосфере несет серьезные последствия, ведет к глобальному потеплению. По данным некоторых ученых, потепление более чем на 2 °С ведет к необратимым последствиям для экологии. Это реальная угроза для всего человечества, так как ведет к нарушению системы выпадения осадков, поднятию уровня Мирового океана, увеличению количества экстремальных погодных явлений (ураганы, засухи и наводнения, увеличение кислотности океанов и др.). В сложившейся ситуации очень важно ограничивать выбросы парниковых газов и отдавать приоритеты не только развитию экономики, но и одновременно защите окружающей среды [8–11].



Рис. 1. Структура потребления первичных энергетических ресурсов в Китае

К слову, Китай на Международном климатическом саммите объявил, что к 2060 году страна не будет уже производить парниковых газов, при этом пик их выбросов придется на 2030 год. После этого заявления вновь стали закрывать угольные шахты. Активнее всего в Китае развивается гидроэнергетика, так как его территория богата горными реками. Такие запасы электроэнергии по некоторым оценкам могут составлять до 680 млн. киловатт. На юго-западе страны, где небольшие запасы угля и наибольшая потребность в электроэнергии, располагается основная часть электростанций, также большое количество компаний используют солнечные электростанции. Такие возобновляемые источники энергии, как энергия воды, солнца или ветра, выгодны тем, что не зависят от геополитической обстановки в мире. Значительно возрос спрос на природный газ, так как теплостанции постепенно пытаются переходить с экологически вредного угля на «зеленый» газ.

Еще одно из преимущественных направлений пятилетнего плана является соблюдение экопринципов в строительстве («зеленое» строительство), так как, не решив имеющиеся экологические проблемы в Китае, невозможно достичь высокого уровня жизни населения страны [12]. Китай занимает первое место в мире по количеству выбросов парниковых газов в атмосферу. Например, в 2019 году на Китай пришлось 30 % всех мировых выбросов диоксида углерода. Это колоссальная цифра, учитывая, что у США, которые находятся на втором месте, объем выбросов вдвое меньше, чем у лидера.

Также не стоит забывать о том, что в китайском угле содержится большое количество серы, 90 % которой при сжигании угля в виде диоксида серы (SO₂) поступает в атмосферу, что приводит к ее загрязнению. Около 60 % этих выбросов производят загородные предприятия и 40 % приходится на промышленные предприятия города. Но городские власти, вместо того, чтобы принимать

эффективные меры по предупреждению загрязнений атмосферы, просто переносят загрязняющие цеха за пределы города. Неудивительно, что более трети территории Китая подвержены кислотным дождям, что является следствием загрязнения атмосферы диоксидом серы.

Также большой урон окружающей среде наносит угольная пыль, 71,1 % которой поступает в атмосферу от промышленных объектов. Наибольший объем этих объектов сконцентрирован в приморских районах и в нижнем и среднем течении реки Янцзы, огромное количество загрязняющих веществ скапливаются в низкогорьях и на Великой Китайской равнине. Самым чистым считается остров Хайнань, где количество выбросов – минимально.

В последнее время в крупнейших китайских городах все чаще наблюдается такое явление, как смог, который очень опасен для жизни китайского общества. В некоторых городах предельно допустимая концентрация твердых аэрозольных веществ в воздухе может превышать норму почти в 4 раза. Таким образом, ценой экономического прорыва Китая становится назревающий экологический кризис. Из-за китайского смога страдают не только сами китайцы, но и пограничные страны, такие как Россия, Южная Корея, Япония, поэтому Китай экстренно принимает меры по защите окружающей среды и предотвращению ее загрязнения, что на данном этапе является общенациональной задачей.

В целом использование угля наносит огромный ущерб не только окружающей среде, но и

здоровью людей. Значительно увеличилась смертность населения от онкологических заболеваний и заболеваний дыхательных путей. Китай – это страна, которая окунулась с головой в экологические проблемы, так как правительство с одной стороны недооценивало уровень загрязнения, а с другой стороны переоценивало способность природы к самоочищению и «смотрело сквозь пальцы» на многие экологические проблемы, а год от года ситуация становится все критичнее. Говоря об экологической ситуации, необходимо учитывать ущерб, наносимый не только сжиганием угля, но и разведкой месторождений, добычей, транспортировкой и хранением полезного ископаемого. Бесспорно, наиболее негативное воздействие на экологию оказывают загрязнение атмосферы, гидросферы, изъятие земель под строительство добывающих предприятий и электростанций, а также для размещения отходов. К слову, в районах, где производство угля превышает 1 млн. т. в год, имеет место оседание почвы до 30 га. Основными продуктами, загрязняющими атмосферу, являются: окислы азота, угарный газ, зола, сернистый ангидрид, которые образуются в результате сгорания угля.

Несмотря на это, из-за отсутствия собственного газа, Китай продолжает использовать дешевый уголь. Угольная промышленность остается на лидирующей позиции в стране. Уровень потребления угля в общей энергетике страны составляет более 60 % (рис. 2).



Рис. 2. Выработка электроэнергии в КНР в 2020 году (ТВтч)

Хотя в некоторых районах Китая зимы суровые, центрального отопления там нет, вернее есть только на севере Китая. Батареи в основном отапливаются с помощью угля, отапливать дровами с недавних пор государство запретило, поэтому в зимнее время проблемы со смогом становятся еще значительнее. Конечно Китай стремится развивать экологически чистое отопление, активно занимается поиском альтернатив, чтобы свести к минимуму использование угля, тем самым спасая экологическую ситуацию. Например, в последнее время все чаще можно услышать об отоплении помещений с помощью извлечения тепла из сточных вод.

В северной части Китая в отоплении нуждаются до шести месяцев в году, следовательно, тепло должно быть государственным и доступным товаром. Из-за постоянного роста городов и потребности в комфортном проживании спрос на тепло будет постоянно расти.

Проблема в том, что огромное количество энергии уходит на отопление зданий в Китае, например, чтобы нагреть 1 м² площади нужно израсходовать энергии в 2–3 раза больше, чем в странах Европы или США при одинаковых показателях среднегодовых температур. Главной причиной этой неэффективности является крайне плохая теплоизоляция в китайских зданиях. Вообще количество энергии, которая затрачивается на отопление дома, напрямую зависит от теплопотерь, чем больше тепла теряется, тем мощнее должна быть система отопления. Если рассматривать многоквартирные дома, то там основная масса тепла уходит через окна (около 55 %), а так как в Китае не принято устанавливать стеклопакеты, то там нет ни тепло-, ни шумоизоляции. Помимо этого, около 45 % тепла утекает через стены.

Если говорить о китайском рынке теплоизоляционных материалов, то даже несмотря на то, что за последние десятилетия разработки в этой области достигли высокого уровня, он переживает сложный этап по расширению и развитию. На сегодняшний день основными теплоизоляционными материалами в Китае являются стекловолокно и минеральная вата. Хотя темпы роста производства теплоизоляционных материалов постоянно увеличиваются, это не позволяет говорить о том, что Китай на данный момент хорошо «изолирован». Это касается именно жилищного строительства, так как в области промышленной изоляции дела обстоят намного лучше. Более 95 % жилой площади слабо изолированы и потребляют сверх нормы огромное количество энергии, а из строящегося жилья энергосберегающим стандартам соответствует всего лишь 24,6 % жилых зданий. Речь идет о городском жилье, но не

стоит забывать о том, что 60 % китайцев живут в деревенских районах, где об изоляции и не слышали. Поэтому у Китая есть большие резервы для производства новейших высококачественных теплоизоляционных материалов, потому как средства, вложенные в них, через несколько лет обязательно вернутся за счет уменьшения расходов на отопление.

Инвестирование в создание новых эффективных теплоизоляционных материалов является беспроигрышным вариантом, так как позволяет снизить энергопотребление, что значительно уменьшает количество выбросов углекислого газа в атмосферу. Более того, хорошая теплоизоляция приносит экономию в течение всего года, сокращая потребление энергии на обогрев в холодное время года и на охлаждение – в жаркое. Вложение средств в создание эффективных теплоизоляционных материалов – это, в первую очередь, вопрос государственной политики. В Китае, как и во многих других странах, размер платы за отопление зависит только от площади помещения, и совершенно не важно, достаточно ли тепло в здании или холодно, сумма оплаты остается неизменной. В соответствии с этим, производителям просто не выгодно использовать качественную теплоизоляцию, так как она ведет к удорожанию конструкции в целом.

Тем не менее, Китай пересматривает свою политику в этом направлении, и в ближайшем будущем эффективные теплоизоляционные материалы будут более востребованы.

На протяжении последних нескольких лет по причине сложной экологической обстановки на земле отдельные государства стали использовать углеводородное топливо для отопления жилых и промышленных объектов, при этом полностью отказавшись от использования угля. Китай также пробовал снизить потребление угля, заменив его на газ. Между тем, в районах с суровыми климатическими условиями эти изменения имели негативный результат [13–16]. Плюс ко всему, резкий скачок в потреблении газа привел к его нехватке, следовательно, цены на газ поползли вверх.

В провинции Хэбэй занятия со школьниками вынуждены были проводить под солнцем на улице, так как в зданиях школ было ужасно холодно. Такие последствия вызвали негодование жителей провинции, и правительству пришлось восстановить работу угольных электростанций. На сегодняшний день провинция Хэбэй является активным потребителем угля, который используется не только для отопления жилых зданий и сооружений, но и для обеспечения деятельности промышленных предприятий, в том числе и металлургических.

Очень сложным для Китая, а также для всего мира оказался 2020 год, когда все мировое сообщество охватила пандемия. После пандемийных локдаунов мировая экономика начала потихоньку восстанавливаться, резко возрос спрос на энергоносители, и цена на уголь достигла максимального значения – около 250 долларов за тонну. В итоге в некоторых провинциях электростанции не смогли закупать топливо в нужном объеме и вынуждены были прекратить свою работу. Электричества стало резко не хватать, стали останавливаться энергоемкие предприятия, в городах ввели веерное отключение света. Также на энергетический кризис в Китае оказали влияние проблемы с импортом угля. Основными поставщиками угля в Китай являются Австралия и Индонезия. Австралия продавала Китаю около 70 млн. тонн угля ежегодно, половина из него – это коксующийся уголь, который необходим для металлургического производства. Проблемы начались в октябре 2020 года, когда Китай отказался от ввоза угля из Австралии из-за осложнения отношений с ней. Для Австралии это был конечно удар по национальной экономике, так как там добывается около 540 млн. тонн энергетических и коксующихся углей, 75 % которых экспортируется. Если кризис затянется, то у Австралии возникнут серьезные проблемы, так как заместить китайский рынок сбыта на данный момент нечем. В связи со сложившейся ситуацией возросли поставки российского угля в Китай, но Россия тоже не может наращивать добычу в таком объеме, а также есть проблемы с пропускной способностью транспортных магистралей и загруженностью железнодорожных путей. В ряде же районов Китая, которые использовали австралийский уголь, это оказало негативное влияние на электростанции. В связи с этим в провинциях

Чжэцзян и Хунань были вынуждены ограничить использование электричества. При этом Китай направил все свои силы на увеличение объема производства угля и также увеличил импорт из Монголии и Индонезии. Чтобы быстрее и без особых потерь выйти из кризиса, Китаю необходимо вернуть добычу угля в том же объеме, но привлекая более технологичные решения. Одновременно, с увеличением добычи угля, необходимо снижать цены на него [17].

Таким образом, в Китае постепенно увеличивается количество отходов от сжигания угля с местных электростанций (золошлаковые отходы), которые транспортируются, складываются и хранятся в отвалах. Объем этих накопленных техногенных отходов постоянно увеличивается и занимает огромные площади земель, что загрязняет не только почву, но и атмосферу в результате пыления, а также ближайшие водоемы и грунтовые воды в результате размыва дождевыми и тальными водами. Также на содержание отвалов государство тратит немалые средства, а утрата плодородных земель, учитывая, что Китай не обладает большим земельным фондом, наносит огромный ущерб народному хозяйству. В целом все это оказывает негативное влияние на экологическую обстановку в стране. На данном этапе в приоритетной задаче у правительства стоит решение проблемы утилизации отходов сжигания угля.

Еще в 2010 году правительством Китая были введены налоговые льготы и дополнительное финансирование проектов, связанных с утилизацией золы-уноса, и к 2015 году показатель утилизации достиг 70 % от годового объема образования [18–22]. Структура использования золы-уноса в Китае представлена в таб. 1.

Таблица 1

Основные направления использования золы-уноса в Китае

№ п/п	Направления использования	Процент использования, %
1.	Производство строительных материалов (многокомпонентные вяжущие и материалы, добавки в цемент, кирпич, керамзит, газозолобетон и др.)	35
2.	Дорожное строительство (битумные добавки для производства бетонов, материалы для покрытий, боковые насыпи и др.)	20
3.	Сельскохозяйственные цели (производство удобрений, улучшение качества земель и т. д.)	15
4.	Закладка шахт или инженерная засыпка	15
5.	Добавки в бетоны и строительные растворы	10
6.	Другие применения, например, извлечение алюминия и др.	5

Как видно из таблицы, порядка 80 % золы-уноса утилизируется в строительной отрасли.

Извлечение из золы-уноса алюминия на сегодняшний день является одним из перспективнейших направлений утилизации. Например, в углях из провинции Шаньси содержится до

40–50 % оксида алюминия [23]. С 2011 года в Китае действует государственная программа бюджетного субсидирования части капитальных затрат перерабатывающим предприятиям, которые были организованы для извлечения глинозема из золошлаковых отходов.

Китай постоянно стремится к росту утилизации золошлаковых отходов, чтобы выйти на 100 %-ный уровень, однако определяющим показателем несбалансированной утилизации является различный показатель развитости отдельных регионов Китая, а также различная география самих источников образования и потребления золы-уноса.

Например, в таких развитых районах, как Янцзы и Бохайя, показатель утилизации летучей золы может достигать и до 100 %, а в неразвитой части Китая уровень использования золы еле-еле достигает 30 %, хотя иногда и наблюдается ее дефицит. При этом дефицит наблюдается лишь высококачественной золы, а низкокачественная зола практически не подлежит утилизации. Это является еще одной из основных проблем применения золы-уноса. В целом, максимальный показатель утилизации золы-уноса достигает в тех районах, где наблюдается наибольшая концентрация строительных предприятий [24].

И как было показано ранее, зола-уноса все-таки имеет ограниченные области применения, в основном это строительный сектор и производство строительных материалов. В качестве добавки при производстве цемента и бетона с целью замены некоторых глинистых материалов летучая зола используется уже более 70 лет. Известны разработки по применению летучей золы в качестве одного из компонентов газобетонной смеси, из которой в последующем изготавливали газобетонные блоки. Это довольно перспективное направление применения золы, так как позволяет сократить расходы на термическую обработку.

При этом суровый климат и холодные зимы в некоторых районах Китая предопределяют необходимость применения высококачественных теплоизоляционных материалов. Одним из таких материалов и является газобетон. Это материал, который пользуется большой популярностью по всему миру, применяется как в гражданском, так и промышленном строительстве. Так как газобетон является хорошим теплоизоляционным материалом за счет пористой структуры, то в построенных из него домах обычно зимой тепло, а летом – не жарко. Из газобетона можно возводить уникальные здания и сооружения благодаря простоте его обработки: пиленю, сверлению и так далее. Газобетон достаточно водостоек и огнестоек, не подвергается гниению и воздействию плесени, достаточно долговечен и имеет меньшую радиоактивность по сравнению с тяжелым бетоном, помимо этого еще обладает и звукоизоляционными свойствами.

Применение эффективных теплоизоляционных материалов при строительстве зданий различного назначения позволяет уменьшить затраты на электроэнергию для отопления в несколько раз, что снизит негативное воздействие на окружающую среду. Также использование отходов производства в качестве основного или дополнительного сырья для выпуска новых строительных материалов, то есть так называемое вторичное производство, благоприятно отразится на экологии региона. Как было сказано ранее, наиболее крупнотоннажным отходом во многих регионах Китая является зола-унос. Применение ее в различных составах газобетонов на сегодняшний день является наиболее перспективным выбором, так как способствует уменьшению экологической нагрузки на окружающую среду, а также позволяет обеспечить эффективную тепло- и звукоизоляцию [25–32].

По итогам пятилетнего плана доля городского населения должна увеличиться до 65 %. Это значит, что за пять лет численность населения в городах вырастет примерно на 50 миллионов человек. Данные за 2019 год показывают, что эта величина была около 60 %. Соответственно, нужны будут дополнительные рабочие места, жилье и так далее, значительно возрастет плотность населения.

Одним из значительных раздражителей является шум антропогенного происхождения. На первом месте по шумовому загрязнению в городах находится автомобильный транспорт (60÷80 %). Следующий по уровню шума – это железнодорожный транспорт. Также генераторами шума служат: авиатранспорт, промышленные предприятия, автосигнализация, строительные и ремонтные работы и так далее. Шум был определен как один из негативных факторов, влияющих на человека. Проблема защиты человека от звукового воздействия неизбежно выходит на национальный уровень. Поддержание приемлемых условий окружающей среды имеет огромное значение для выживания и развития государства в целом. Итак, успешное решение этой проблемы является ключом к формированию отличного генфонда страны [33].

В современных условиях население мегаполисов подвергается постоянному воздействию шума. Эта проблема актуальна и для Китая, в котором плотность населения очень велика. Чтобы хоть как-то минимизировать воздействие шума в домах, офисах, квартирах в данных условиях используются современные звукоизоляционные материалы.

Звукоизоляционные материалы с такими свойствами, как звукопоглощение и звукоизоляция необходимы для защиты от определенных видов шумов.

На сегодняшний день для звукоизоляции используется множество различных материалов, например, стеклоштапельное волокно, акустический фибролит, материалы из каменной ваты в виде плит различной толщины, тонкие и эффективные звукоизоляционные мембраны, стекловолокнистый холст с битумной пропиткой и так далее. Вместе с тем, в связи с бурным развитием строительства и необходимостью сокращения сроков возведения зданий и сооружений на современном этапе более востребованными становятся звукоизоляционно-конструкционные материалы. Это могут быть блоки из ячеистого бетона, в частности газобетона, акустические гипсокартонные листы и шумоизоляционные панели КНАУФ, трехслойные сэндвич-панели и так далее [34–37].

Эффективные звукоизоляционные материалы, как было отмечено выше, должны поглощать и рассеивать звуковую волну. Это свойство характеризует так называемый «коэффициент шумопоглощения», значения которого лежат в интервале от 0 до 1. Если материал является звукоотражающим, то значение коэффициента стремится к 0, а если материал хорошо поглощает звук, то его значение ближе к 1. Другие значения показывают какой процент падающей энергии поглощается поверхностью (например, 0,4 – это 40 %). Согласно СНиП II-12-77 «Защита от шума» материалы, коэффициент у которых более 0,4 при частоте 1000 Гц, считаются шумопоглощающими. Данный коэффициент зависит от свойств строительных материалов, в частности от пористости. Например, газобетон, полученный в результате химического взаимодействия извести и алюминиевой пудры, имеет достаточно высокий коэффициент звукопоглощения за счет большого количества пор.

Одним из условий получения высокоэффективных звукопоглощающих свойств газобетона является наличие в его структуре крупных пор, при этом они должны быть открытыми и сообщающимися, чтобы попадающая звуковая волна плутала по системе пор, пока ее энергия совсем не угаснет, либо преобразуется в тепловую энергию [38–40]. Таким образом, в звукопоглощающем материале в результате внутреннего трения колебательная энергия переходит в тепловую, тем самым уменьшая шум. Вообще открытые сообщающиеся поры большого сечения увеличивают диффузию в структуре, обеспечивают глубокое проникновение в материал звуковых волн, а также поглощение их стенками пор [41].

Еще одним из важнейших показателей, характеризующих качественную звукоизоляцию, является «индекс звукоизоляции», который показывает степень отражения звука материалом. Измеряется он в децибелах. Индекс звукоизоляции у газобетонных блоков находится в пределах 43 – 44 дБ. Как было отмечено выше, индекс звукоизоляции зависит как от толщины, так и от структуры материала. Наиболее хорошим звукоотражающим эффектом обладают материалы с гладкой поверхностью, такие как, стекло, листы металла и другие.

В областных центрах и больших городах Китая за счет большой плотности населения уровень шума значительно превышает допустимые нормы, поэтому вопросы шумоизоляции стоят достаточно остро, так как современному человеку необходимы достаточно комфортные условия проживания.

Выводы. Анализируя все вышеизложенное, можно сделать вывод, что в настоящее время наметились предпосылки использования золы-уноса Китая во вторичном производстве. Как было отмечено выше, в дальнейшем производство качественных газобетонных смесей также будет занимать лидирующую позицию, так как именно они являются основой для получения теплоизоляционных и звукоизоляционных материалов.

Это актуальное направление для Китая, так как позволяет улучшить экологическую ситуацию путем утилизации образующихся отходов от сжигания угля. При этом использование газобетона в строительстве значительно снижает теплотери зданий, что немаловажно в суровых климатических условиях северного Китая. Также использование газобетона позволяет решить проблему звукоизоляции, которая в данный момент очень остро стоит в густонаселенных странах.

Источник финансирования. Исследование проводилось в рамках Государственного задания Министерства образования и науки Российской Федерации относительно выделения финансирования на создание новых лабораторий в 2021 году, в том числе под руководством молодых перспективных исследователей национального проекта "Наука и университеты" название лаборатории "Ресурсосберегающие технологии, оборудование и комплексы", FZWN-2021-0014.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Соболева К.А., Тулей М.Д., Гололобова М.А. Обеспеченность минеральными ресурсами стран Восточной Азии // Институты и механизмы инновационного развития: мировой опыт и российская практика. Сборник научных статей 9-й

Международной научно-практической конференции. 2019. С. 312–315.

2. Чжоу Ц., Мамий И.П. Экономический анализ добычи и потребления каменного угля в КНР в период с 2005-2017 гг. // Теоретическая экономика. 2019. № 3 (51). С. 108–112.

3. Растяникова Е.В. Страны БРИКС: Тренды экономического роста добывающей промышленности в XXI веке // Вопросы статистики. 2019. Т. 26. № 5. С. 43–52. doi: 10.34023/2313-6383-2019-26-5-43-52.

4. Wang F., Novikova O.V. Optimizing energy balance of China: Problems and Prospects // St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics. 2019. Т. 12. № 2. С. 63–70. doi: 10.18721/JE.12206.

5. Жигулева В.В. Рынок энергетических ресурсов Китая: интересы и возможности России. М.: ИДВ РАН, 2011. 246 с.

6. Козлов А.В., Чжан Ся. Инновационный потенциал промышленных предприятий: методика определения и сравнительный анализ на примере угольной промышленности Китая // Вестник Забайкальского государственного университета. 2015. № 5 (120). С. 100–109.

7. Островский А.В., Афонасьева А.В., Каменнов П.Б. Перспективы развития науки, техники и инноваций в КНР // Восточная Азия: факты и аналитика. 2019. № 2. С. 6–28. doi: 10.24411/2686-7702-2019-10008.

8. Титаренко М.Л. Стратегия превращения Китая в супериндустриальное государство (1996-2050 гг.). М.: Памятники исторической мысли, 2002. 200 с.

9. Китай на пути к возрождению. К 80-летию академика М. Л. Титаренко. Сборник статей. М.: ИЛ Форум, 2014. 512 с.

10. Hossain Md S, Li B., Chakraborty S., Hossain Md R, Rahman Md T. A comparative analysis on China's energy issues and CO₂ emissions in global perspectives // Sustainable Energy 2015. № 1. Vol. 3. Pp. 1–8. doi: 10.12691/rse-3-1-1.

11. Чжоу Ц. Анализ структуры производства и потребления энергетических ресурсов стран-членов БРИКС // Инновации и инвестиции. 2020. № 7. С. 53–57.

12. Dudin M.N., Frolova E.E., Artemeva Yu.A., Bezbakh V.V., Kirsanov A.N. Problems and Perspectives of BRICS countries transfer to "Green Economy" and Low-Carbon Energy Industry // International Journal of Energy Economics and Policy. 2016. Т. 6. № 4. С. 714–720.

13. Богачева Т.М., Сурмин А.А. Сокращение вредного воздействия ТЭС на окружающую среду // Безопасность жизнедеятельности. 2017. № 12 (204). С. 34–39.

14. Высоцкий С.П., Титкова В.С. Экологические показатели использования возобновляемых ресурсов для генерации электрической и тепловой энергии // Вести Автомобильно-дорожного института. 2019. № 3 (30). С. 26–34.

15. Chang S., Zhuo J.-K., Meng S., Qin S., Yao Q. Clean coal technologies in China: current status and future perspectives // Engineering. 2016. № 2 (4). Pp. 447–459. doi: 10.1016/J.ENG.2016.04.015.

16. Chen W., Xu R. Clean coal technology development in China // Energy Policy. 2010. Vol.38(5). Pp. 2123–2130. doi:10.1016/j.enpol.2009.06.003.

17. Fang J., Xiao B., Weedon A. China's power supply is struggling as winter temperatures plunge. Is the ban on Australian coal to blame? // ABC. 18.12.2021. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.abc.net.au/news/2020-12-18/china-electricity-power-shortage-hunan-zhejiang-australia-coal/12993418> (дата обращения: 23.04.2021).

18. He Y., Luo Q., Hu H. Situation analysis and countermeasures of China's fly ash pollution prevention and control // Procedia Environmental Sciences. 2012. Т. 16. Pp. 690–696. doi: 10.1016/j.proenv.2012.10.095.

19. Золотова И., Ю. Бенчмаркинг зарубежного опыта утилизации продуктов сжигания твердого топлива угольных ТЭС // Инновации и инвестиции. 2020. № 7. С. 123–128.

20. Елистраткин М.Ю., Шапиро А.Э., Милькина А.С., Лесовик Г.А., Агеева М.С. Геоника. Геомиметика как основополагающее направление для развития строительной индустрии // Научные технологии и инновации. Электронный сборник докладов Международной науч.-практ. конф., посвященной 65-летию БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. С. 125–129. doi: 10.12737/conferencearticle_5cecedc20c87a3.92824648.

21. Елистраткин М.Ю., Глаголев Е.С., Котов И.В., Минакова А.В., Авад М.Н. Геоника. Геомиметика как ключ к реализации концепции «зеленого» строительства // Научные технологии и инновации. Электронный сборник докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 65-летию БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. С. 130–134. doi: 10.12737/conferencearticle_5cecedc2186c63.96789296.

22. Fomina E.V., Lesovik V.S., Kozhukhova N.I., Chulenyov A.S. Role of solutions when metamorphic transformations in construction composites // Materials Science Forum. 2020. Т. 974 MSF. С. 168–174. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.974.168.

23. Ding J., Ma S., Shen S., Xie Z., Zheng S., Zhang Y. Research and industrialization progress of

recovering alumina from fly ash: A concise review // *Waste Management*. 2017. Т. 60. Pp. 375–387. doi: 10.1016/j.wasman.2016.06.009.

24. Luo Y., Wu Y., Ma S., Zheng S., Zhang Y., Chu P.K. Utilization of coal fly ash in China: a mini-review on challenges and future directions // *Environmental Science and Pollution Research*. 2020. Pp. 1–14. doi: 10.1007/s11356-020-08864-4.

25. Юфенг С. Производство и применение автоклавного газобетона в Китае // *Технологии бетонов*. 2020. № 3-4 (164-165). С. 16–21.

26. Федюк Р.С., Тимохин Р.А., Смоляков А.К. Научное лидерство китайских ученых в области строительных технологий // *Россия и Китай: проблемы стратегического взаимодействия: сборник Восточного центра*. 2017. № 19. С.21–24.

27. Lesovik V.S., Glagolev E.S., Voronov V.V., Absimetov M.V., Elistratkin M.Y. Non-autoclaved aerated concrete on the basis of composite binder using technogenic raw materials // *Materials Science Forum*. 2019. Т. 945 MSF. С. 205–211. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.945.205.

28. Makul N., Fediuk R., Amran H.M.M., Zeyad A.M., de Azevedo A.R.G., Klyuev S., Vatin N., Karelina M. Capacity to develop recycled aggregate concrete in south east asia // *Buildings*. 2021. Т. 11. № 6. 234. doi: 10.3390/buildings11060234.

29. Volodchenko A.A., Vorontsov V.M., Cherepanova I.A. Effective non-autoclave silicate blocks of casting molding process based on unconventional aluminosilicate raw materials // *Materials Science Forum*. 2019. Т. 974 MSF. С. 55–60. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.974.55.

30. Markov A.Y., Strokova V.V., Markova I.Y., Stepanenko M.A. Physico-chemical properties of fuel ashes as factor of interaction with cationic bitumen emulsion // *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2021. Т. 95. С. 294–300. doi: 10.1007/978-3-030-54652-6_44.

31. Nelubova V., Strokova V., Fediuk R., Amran M., Vatin N., Vasilev Y. Effect of an aluminosilicate disperse additive on behaviors of autoclave silicate materials // *Buildings*. 2021. Т. 11. № 6. doi: 10.3390/buildings11060239.

32. Lesovik R.V., Ageeva M.S., Matyukhina A.A., Fomina E.V. On the issue of designing structures of composite binders // *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2021. Т. 95. С. 246–252. doi: 10.1007/978-3-030-54652-6_37.

33. Пучка О.В., Лесовик В.С., Вайсера С.С. Тепло- и звукоизоляционные материалы как основа создания комфортной среды обитания человека // *Эффективные строительные композиты*.

Научно-практическая конференция к 85-летию заслуженного деятеля науки РФ, академика РААСН, доктора технических наук Баженова Юрия Михайловича. Сборник докладов. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2015. С. 537–542.

34. Евтушенко Е.В., Коняева Е.В., Ставчикова Л.Ф. Современные звукоизоляционные материалы // *Физика и современные технологии в АПК. Материалы международной молодежной научно-практической конференции*. 2016. С. 325–330.

35. Yao Y.F., Gao L., Yang Q.L., Zhou G., Fu Y.Q., Liu G.F. Sound insulation property of PVC matrix composite material filled with cenosphere fly ash // *Gaofenzi cailiao kexue yu gongcheng / polymeric materials science and engineering*. 2009. Т. 25. № 11. Pp. 61–64.

36. Sargianis J.J., Kim H.-I., Andres E., Suhra J. Sound and vibration damping characteristics in natural material based sandwich composites // *Composite Structures*. 2013. № 96. Pp. 538–544. doi: 10.1016/j.compstruct.2012.09.006.

37. Amran M., Fediuk R., Murali G., Vatin N., Al-Fakih A. Sound-Absorbing Acoustic Concretes: A Review // *Sustainability*. 2021. Т. 13. №19. 10712. doi: 10.3390/su131910712.

38. Федюк Р.С. Повышение эффективности неавтоклавных ячеистых бетонов с улучшенными звукопоглощающими характеристиками // *Строительное материаловедение: Настоящее и будущее. Сборник материалов I Всероссийской научной конференции, посвящённой 90-летию выдающегося учёного-материаловеда, академика РААСН Юрия Михайловича Баженова*. Москва, 2020. С. 199–204.

39. Федюк Р.С., Баранов А.В., Мугахед Амран Й.Х. Влияние пористой структуры на звукопоглощение ячеистого бетона // *Строительные материалы и изделия*. 2020. Т. 3. №2. С. 5–18.

40. Absimetov M.V., Elistratkin M.Y., Ageeva M.S. Structure formation features of non-autoclaved gas concrete matrix on the basis of composite binders with various mineral additives // *Materials Science Forum*. 2019. Т. 974 MSF. С. 249–254. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.974.249.

41. Потоцкий В.Н., Гречаников А.В., Козел А.С., Кононок А.А. Исследование параметров шума звукоизоляционных (звукопоглощающих) материалов // *54-ая международная научно-практическая конференция преподавателей и студентов. Материалы докладов в 2-х томах*. Витебск. 2021. С. 282–284.

Информация об авторах

Лесовик Галина Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: galina.lesovik@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Лесовик Руслан Валерьевич, доктор технических наук, профессор, проректор по международной деятельности. E-mail: ruslan_lesovik@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Клюев Сергей Васильевич, кандидат технических наук, доцент, начальник управления научно-исследовательских работ. E-mail: Klyuev@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Сяо Вэньсюй, аспирант кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Чжан Сюань, аспирант кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 10.12.2021 г.

© Лесовик Г.А., Лесовик Р.В., Клюев С.В., Вэньсюй С., Сюань Ч., 2022

**Lesovik G.A., Lesovik R.V., Klyuev S.V., Wenxu X., Xuan Zh.*

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

**E-mail: galina.lesovik@mail.ru*

ABOUT THE PROSPECTS OF USING FLY ASH IN AERATED CONCRETE

Abstract. *The coal industry is leading in China. The further five-year development plan implies the coal industry capacities growth, but at the same time, it is planned to follow the path of “clean and efficient use of coal”. One of the priority areas is “green” construction. In this regard, the issue of disposal of coal burning waste is acute, the volume of which is constantly increasing, thereby polluting the soil, atmosphere and nearby reservoirs. Inefficient thermal insulation is the main reason for the large overspending of energy for heating buildings and structures. The harsh climate and cold winters in some areas of China predetermine the necessity of using high-quality heat-insulating materials. One of such materials is gas concrete. However, along with heat insulation it should also perform soundproofing function to minimize the noise exposure of big-city residents. It is noted that the production of aerated concrete mixes occupies a leading position, and the use of waste from fuel combustion as one of the components of aerated concrete allows not only to reduce the cost of its production, but also to reduce the environmental burden on the environment.*

Keywords: *environment, fly ash, heat-insulating and soundproofing gas concrete, coal combustion waste recycling, development priorities.*

REFERENCES

1. Soboleva K.A., Tuley M.D., Gololobova M.A. Sufficiency of mineral resources in Eastern Asia countries [Obespechennost' mineral'nykh resursami stran Vostochnoj Azii]. Instituty i mekhanizmy innovacionnogo razvitiya: mirovoj opyt i rossijskaya praktika. Sbornik nauchnykh statej 9-j Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. 2019. Pp. 312–315. (rus)
2. Zhou C., Mamiy I.P. Economic analysis of coal mining and consumption in PRC in the period 2005–2017 gg. [Ekonomicheskij analiz dobychi i potrebleniya kamennogo uglya v KNR v period s 2005–2017 gg.]. Teoreticheskaya ekonomika. 2019. No. 3(51). Pp. 108–112. (rus)
3. Rastyannikova E.V. BRICS countries: Economic growth trends of extraction industry in the XXI century [Strany BRIKS: Trendy ekonomicheskogo rosta dobyvayushchej promyshlennosti v XXI veke]. Voprosy statistiki. 2019. Vol. 26. No. 5. Pp. 43–52. doi: 10.34023/2313-6383-2019-26-5-43-52. (rus)
4. Wang F., Novikova O.V. Optimizing energy balance of China: Problems and Prospects. St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics. 2019. Vol. 12. No. 2. Pp. 63–70. doi: 10.18721/JE.12206.
5. Zhiguleva V.V., Energy resources market of China: interests and opportunities of Russia [Rynok energeticheskikh resursov Kitaya: interesy i vozmozhnosti Rossii]. M.: IDV RAN. 2011. 246 p. (rus)
6. Kozlov A.V., Zhang Xia. Innovative potential of industrial enterprises: methodology of determination and comparative analysis through the example of coal industry in China [Innovacionnyj potencial promyshlennykh predpriyatij: metodika opredeleniya i sravnitel'nyj analiz na primere ugol'noj promyshlennosti Kitaya]. Vestnik Zabajkal'skogo gosudarstvennogo universiteta. 2015. No. 5 (120). Pp. 100–109. (rus)
7. Ostrovsky A.V., Afonasyeva A.V., Kamennov P.B. Prospects of science, technology and innovations development in PRC [Perspektivy

razvitiya nauki, tekhniki i innovacij v KNR]. *Vostochnaya Aziya: fakty i analitika*. 2019. No. 2. Pp. 6–28. doi: 10.24411/2686-7702-2019-10008. (rus)

8. Titarenko M.L. The strategy of China transformation into a super-industrial state (1996-2050) [Strategiya prevrashcheniya Kitaya v superindustrial'noe gosudarstvo (1996-2050 gg)]. M.: Pamyatniki istoricheskoy mysli. 2002. 200 p. (rus)

9. China on its way toward renaissance. For the 80th anniversary of academician M. L. Titarenko [Kitaj na puti k vrozozhdeniyu. K 80-letiyu akademika M. L. Titarenko]. *Sbornik statej*. M.: IL Forum. 2014. 512 p. (rus)

10. Hossain Md S, Li B., Chakraborty S., Hossain Md R, Rahman Md T. A comparative analysis on China's energy issues and CO₂ emissions in global perspectives. *Sustainable Energy*. 2015. No. 1. Vol. 3. Pp. 1–8. doi: 10.12691/rse-3-1-1.

11. Zhou C. Analysis of energy resources production and consumption patterns in BRICS countries [Analiz struktury proizvodstva i potrebleniya energeticheskikh resursov stran-chlenov BRIKS]. *Innovacii i investicii*. 2020. No. 7. Pp. 53–57. (rus)

12. Dudin M.N., Frolova E.E., Artemeva Yu.A., Bezbakh V.V., Kirsanov A.N. Problems and Perspectives of BRICS countries transfer to "Green Economy" and Low-Carbon Energy Industry. *International Journal of Energy Economics and Policy*. 2016. Vol. 6. No. 4. Pp. 714–720.

13. Bogacheva T.M., Surmin A.A. Reducing of thermal power plants' adverse impact on the environment [Sokrashchenie vrednogo vozdeystviya TES na okruzhayushchuyu sredu]. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*. 2017. No. 12 (204). Pp. 34-39. (rus)

14. Vysotsky S.P., Titkova V.S. Environmental indices of using renewable resources for electric and heat energy generation [Ekologicheskie pokazateli ispol'zovaniya vozobnovlyaemykh resursov dlya generacii elektricheskoy i teplovoj energii]. *Vesti Avtomobil'no-dorozhnogo institute*. 2019. No. 3 (30). Pp. 26–34. (rus)

15. Chang S., Zhuo J.-K., Meng S., Qin S., Yao Q. Clean coal technologies in China: current status and future perspectives. *Engineering*. 2016. No. 2 (4). Pp. 447–459. doi: 10.1016/J.ENG.2016.04.015.

16. Chen W., Xu R. Clean coal technology development in China. *Energy Policy*. 2010. Vol. 38(5). Pp. 2123–2130. doi:10.1016/j.enpol.2009.06.003

17. Fang J., Xiao B., Weedon A. China's power supply is struggling as winter temperatures plunge. Is the ban on Australian coal to blame? ABC. 18.12.2021. URL: <https://www.abc.net.au/news/2020-12-18/china-electricity-power-shortage-hunan-zhejiang-australia-coal/12993418> (date of treatment: 23.04.2021).

18. He Y., Luo Q., Hu H. Situation analysis and countermeasures of China's fly ash pollution prevention and control. *Procedia Environmental Sciences*. 2012. Vol. 16. Pp. 690–696. doi: 10.1016/j.proenv.2012.10.095.

19. Zolotova I.Yu. Benchmarking of foreign practices of coal-steam power plants' solid fuel combustion products recycling [Benchmarking zarubezhnogo opyta utilizacii produktov szhiganiya tverdogo topliva ugol'nyh TES]. *Innovacii i investicii*. 2020. No. 7. Pp. 123–128. (rus)

20. Elistratkin M.Yu., Shapiro A.E., Milkina A.S., Lesovik G.A., Ageeva M.S. Geonics. Geomimetics as a principal direction for building industry development [Geonika. Geomimetika kak osnovopolagayushchee napravlenie dlya razvitiya stroitel'noj industrii]. *Naukoemkie tekhnologii i innovacii. Elektronnyj sbornik dokladov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj 65-letiyu BGTU im. V.G. SHuhova*. 2019. Pp. 125–129. doi: 10.12737/conferencearticle_5cecedc20c87a3.92824648. (rus)

21. Elistratkin M.Yu., Glagolev E.S., Kotov I.V., Minakova A.V., Avad M.N. Geonics. Geomimetics as a key to implementing the «green» construction concept [Geomimetika kak klyuch k realizacii koncepcii «zelenogo» stroitel'stva]. *Naukoemkie tekhnologii i innovacii. Elektronnyj sbornik dokladov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj 65-letiyu BGTU im. V.G. Shuhova*. 2019. Pp. 130–134. doi: 10.12737/conferencearticle_5cecedc2186c63.96789296. (rus)

22. Fomina E.V., Lesovik V.S., Kozhukhova N.I., Chulenyov A.S. Role of solutions when metamorphic transformations in construction composites. *Materials Science Forum*. 2020. Vol. 974 MSF. Pp. 168–174. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.974.168.

23. Ding J., Ma Sh., Shen Sh., Xie Z., Zheng Sh., Zhang Y. Research and industrialization progress of recovering alumina from fly ash: A concise review. *Waste Management*. 2017. Vol. 60. Pp. 375–387. doi: 10.1016/j.wasman.2016.06.009.

24. Luo Y., Wu Y., Ma S., Zheng S., Zhang Y., Chu PK. Utilization of coal fly ash in China: a mini-review on challenges and future directions *Environmental Science and Pollution Research*. 2020. Pp. 1–14. doi: 10.1007/s11356-020-08864-4.

25. Youfeng S. Production and application of autoclaved gas concrete in China [Proizvodstvo i primeneniye avtoklavnogo gazobetonu v Kitae]. *Tekhnologii betonov*. 2020. No. 3-4 (164-165). Pp. 16–21. (rus)

26. Fedyuk R.S., Timokhin R.A., Smolyakov A.K. Scientific leadership of Chinese scientists in

construction technologies [Nauchnoe liderstvo kitajskih uchenyh v oblasti stroitel'nyh tekhnologij]. Rossiya i Kitaj: problemy strategicheskogo vzaimodejstviya: sbornik Vostochnogo centra. 2017. No. 19. Pp. 21–24. (rus)

27. Lesovik V.S., Glagolev E.S., Voronov V.V., Absimetov M.V., Elistratkin M.Y. Non-autoclaved aerated concrete on the basis of composite binder using technogenic raw materials. Materials Science Forum. 2018. Vol. 945 MSF. Pp. 205–211. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.945.205.

28. Makul N., Fediuk R., Amran H.M.M., Zeyad A.M., de Azevedo A.R.G., Klyuev S., Vatin N., Karelina M. Capacity to develop recycled aggregate concrete in south east asia. Buildings. 2021. Vol. 11. No. 6. 234. doi: 10.3390/buildings11060234.

29. Volodchenko A.A., Vorontsov V.M., Cherepanova I.A. Effective non-autoclave silicate blocks of casting molding process based on unconventional aluminosilicate raw materials. Materials Science Forum. 2020. Vol. 974 MSF. Pp. 55–60. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.974.55.

30. Markov A.Y., Strokova V.V., Markova I.Y., Stepanenko M.A. Physico-chemical properties of fuel ashes as factor of interaction with cationic bitumen emulsion. Lecture Notes in Civil Engineering. 2021. Vol. 95. Pp. 294–300. doi: 10.1007/978-3-030-54652-6_44.

31. Nelubova V., Strokova V., Fediuk R., Amran M., Vatin N., Vasilev Y. Effect of an aluminosilicate disperse additive on behaviors of autoclave silicate materials. Buildings. 2021. Vol. 11. No. 6. doi: 10.3390/buildings11060239.

32. Lesovik R.V., Ageeva M.S., Matyukhina A.A., Fomina E.V. On the issue of designing structures of composite binders. Lecture Notes in Civil Engineering. 2021. Vol. 95. Pp. 246–252. doi: 10.1007/978-3-030-54652-6_37.

33. Puchka O.V., Lesovik V.S., Vaysera S.S. Heat-insulating and sound-insulating materials as the basis for creating comfortable living environment [Teplo- i zvukoizolyacionnye materialy kak osnova sozdaniya komfortnoj sredy obitaniya cheloveka]. Effektivnye stroitel'nye kompozity. Nauchno-prakticheskaya konferenciya k 85-letiyu zaslužennogo deyatelya nauki RF, akademika RAASN, doktora tekhnicheskikh nauk Bazhenova YUriya Mihajlovicha. Sbornik dokladov. Belgorodskij gosudarstvennyj tekhnologicheskij universitet im. V.G. Shuhova. 2015. Pp. 537–542. (rus)

34. Evtushenko E.V., Konyaeva E.V., Stavchikova L.F. Advanced sound-insulating materials [Sovremennye zvukoizolyacionnye materialy]. Fizika i sovremennye tekhnologii v APK. Materialy mezhdunarodnoj molodezhnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. 2016. Pp. 325–330. (rus)

35. Yao Y.F., Gao L., Yang Q.L., Zhou G., Fu Y.Q., Liu G.F. Sound insulation property of PVC matrix composite material filled with cenosphere fly ash. Gaofenzi cailiao kexue yu gongcheng polymeric materials science and engineering. 2009. No. 11. Pp. 61–64.

36. Sargianis J.J., Kim H.-I., Andres E., Suhra J. Sound and vibration damping characteristics in natural material based sandwich composites. Composite Structures. 2013. No. 96. Pp. 538–544. doi: 10.1016/j.compstruct.2012.09.006.

37. Amran M., Fediuk R., Murali G., Vatin N., Al-Fakih A. Sound-Absorbing Acoustic Concretes: A Review. Sustainability. 2021. Vol. 13. No. 19. 10712. doi: 10.3390/su131910712.

38. Fedyuk R.S. Improving the efficiency of non-autoclaved aerated concretes with the improved sound-absorbing characteristics [Povyshenie effektivnosti neavtoklavnyh yacheistykh betonov s uluchshennymi zvukopogloshchayushchimi karakteristikami]. Stroitel'noe materialovedenie: Nastoyashchee i budushchee. Sbornik materialov I Vserossijskoj nauchnoj konferencii, posvyashchyonnoj 90-letiyu vydayushchegosya uchyonogo-materialoveda, akademika RAASN YUriya Mihajlovicha Bazhenova. Moskva. 2020. Pp. 199–204. (rus)

39. Fedyuk R.S., Baranov A.V., Mugahed Amran Y.H. The influence of porous structure on sound absorption of aerated concrete [Vliyanie poristoj struktury na zvukopogloshchenie yacheistogo betona]. Stroitel'nye materialy i izdeliya. 2020. Vol. 3. No. 2. Pp. 5–18. (rus)

40. Absimetov M.V., Elistratkin M.Y., Ageeva M.S. Structure formation features of non-autoclaved gas concrete matrix on the basis of composite binders with various mineral additives. Materials Science Forum. 2020. Vol. 974 MSF. Pp. 249–254. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.974.249.

41. Pototsky V.N., Grechanikov A.V., Kozel A.S., Kononok A.A. Research of noise parameters of sound-proofing (sound-absorbing) materials [Issledovanie parametrov shuma zvukoizolyacionnykh (zvukopogloshchayushchih) materialov]. 54-aya mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya prepodavatelej i studentov. Materialy dokladov v 2-h tomah. Vitebsk. 2021. Pp. 282–284. (rus)

Information about the authors

Lesovik, Galina A. PhD, Assistant professor. E-mail: galina.lesovik@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Lesovik, Ruslan V. DSc, Professor, Vice-Rector for International Affairs. E-mail: ruslan_lesovik@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, St. Kostyukova 46.

Klyuev, Sergey V. PhD, Assistant professor. E-mail: Klyuyev@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, St. Kostyukova 46.

Wenxu, Xiao. Postgraduate student. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, St. Kostyukova, d. 46.

Xuan, Zhang. Postgraduate student. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, St. Kostyukova, d. 46.

Received 10.12.2021

Для цитирования:

Лесовик Г.А., Лесовик Р.В., Ключев С.В., Вэньсюй С., Сюань Ч. О перспективах использования золуноса в газобетоне // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 10. С. 20–33. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-10-20-33

For citation:

Lesovik G.A., Lesovik R.V., Klyuev S.V., Wenxu X., Xuan Zh. About the prospects of using fly ash in aerated concrete. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 10. Pp. 20–33. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-10-20-33