УДК 621.9:621.048: 621.181

АНАЛИЗ СХЕМ ПОДАЧИ ГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗА ИЗ БИОМАССЫ И ОТХОДОВ ДЛЯ СЖИГАНИЯ В КАМЕРНЫХ ТОПКАХ КОТЛОВ

Потапов В.Н., Костюнин В.В., Ханова А.С., Саутченко Н.И., Зимовец И.А., Очайкин К.В.

ООО «Вихревые газовые системы», Екатеринбург, Россия

АННОТАЦИЯ

На базе опыта создания аппаратов вихревой газогенерации рассмотрены базовые технологические схемы подачи низкокалорийного генераторного газа для сжигания его в камерных топках водогрейных или паровых котлов. Дан анализ применимости этих схем в зависимости от стратегии использования низкокалорийных искусственных горючих газов при замещении ими дорогих товарных ископаемых топлив и повышения экологической безопасности.

ВВЕДЕНИЕ

Наступающий новый этап развития энергетики, с переходом к рассредоточенной генерации двух основных видов вторичной энергии (теплоты или электроэнергии), вместе с решением задач защиты климата требует, наряду с иными технологиями, и развития технологий газогенерации различных органических отходов, некоторых видов растительной биомассы и местных малотоварных топлив, таких как торф. Использование биомассы и органических отходов для вытеснения сжигания ископаемого углерода натуральных топлив, прежде всего углей, на сжигание углерода, который был взят из атмосферы любыми растениями. Это направление имеет весьма сложные экономические и экологические последствия. Их необходимо трезво оценивать и заранее выбирать оптимальные варианты, прежде всего, технологий и аппаратов, или внедрения новых типов газогенераторов. Во многих случаях важен не столько выбор способа газогенерации органики, мощности реактора, но и его конкретное исполнение, и, в значительной мере, связанный с этим выбор схем подачи и сжигания полученного газа в топке котла или подготовки и подачи газа на ДВС приводов электрогенераторов.

Новые типы вихревых реакторов, созданные на ООО «Вихревые газовые системы» («ВГС»), были устновлены и находятся в опытной эксплуатации на разных предприятиях для генерации газа из опила, шелухи, а также и высокозольного твердого топлива. На ряде аппаратов успешно опробована опытная огневая переработка торфа, бурого угля и их смесей с биомассой. Общим у всех этих аппаратов является схема ступенчатой генерация газа (минимум в 3 стадии), которая, начиная с 2004 го-да, разрабатывалась нами в разных вариантах. Эта технология позволяет управлять распределением в этих аппаратах температур и дефицита воздуха в одном вихре по мере его развития и движения по аппарату. В качестве базовой была принята схема разделения избытков воздуха на уровне 0,18 в первой стадии процесса и 0,28 – во второй. Далее небольшими изменениями этой схемы на практике опробовано частичное разделение процесса на пиролиз и газогенерацию, а также существенно понижен уровень выгорания углерода в золе. На ряде видов биомассы и высокозольного топлива механическая неполнота сгорания снижена до уровня значений, характерных для мощных угольных котлов электростанций. Также была доказана возможность реализовать частичное разложение высокомолекулярных смол в самом аппарате на более простые соединения, даже с указанием на возможность частичной конверсии смол в аппарате водяным паром, содержащимся в промежуточных продуктах процесса.

С учетом разной зольности у различых видов биомассы и органических отходов, идущих на газогенерацию, с учетом типа котла и особенностей его топки, а также наличия системы очистки продуктов сгорания за котлом, следует выбирать и применять принципиально разные подходы к установке самих газогенераторов, к очистке и подаче горючего газа для сжигания в топке или приводном ДВС. С учетом нашего опыта разработки и внедрения газогенераторов на биомассе и на твердом топливе, мы сделали предварительную классификацию систем подачи генераторных газов на котлы для сжигания, и даем рекомендации по использованию этих схем.

ОБЩИЙ ВЗГЛЯД НА ПРОБЛЕМУ

Внедрение технологий газификации биомассы, органических отходов и углей часто бывает невыгодно для коммерческого производства вторичной энергии, но привлекательно с точки зрения защиты климата замещением ископаемого углерода растительным из воздуха. С другой стороны, схемы газификации некоторых органических отходов и биомассы привлекательны для ликвидации свалок гниющей органики, вредной для людей и экосистем. При этом важно учесть и условия поставок конкретных видов биомассы или органических отходов под конкретные условия генерации газа и назначение его использования. Это и определит технологию газификации и ее особенности, выбор мощности газогенератора. Коммерчески оправданное внедрение агрегатов для газификации и схем подготовки и подачи газа на паровой котел для производства электроэнергии с использованием полученного пара существенно затрудняет ситуационная нестыковка графиков рынков потребления электроэнергии и теплоты. Но самые большие проблемы связаны с выполнением жестких требований к охлаждению и очистке искусственных газов при подаче их на приводные двигатели электрогенераторов, как правило, выдвигаемых поставщиками приводных ДВС и, особенно, газовых турбин. Поэтому подавляющее большинство известных технологий использования искусственных газов для производства электроэнергии требует глубокой, дорогой предварительной очистки этих газов от смол. Очистка газа, в свою очередь, обычно требует его предварительного охлаждения в теплообменниках, быстро заносящихся смолами и золой.

Далее требуется тщательная очистка уже холодных газов от летучей золы, а главное, от кислот, которые всегда присутствуют в продуктах газификации углей и некоторых видов органики. Решение этих задач требует технологий и устройств, которые гораздо сложнее и дороже соответствующих систем очистки газов на лучших угольных электростанциях Центральной Европы. Прежде всего это важно при организации сжигания газа в новых экономичных газовых турбинах с очень высокой температурой начала процесса, таких, как турбины Siemens или ALSTOM. Затраты на реализацию технологических схем глубокой очистки газов велики, надежность их невысока, а все экономические и экологические достоинства на практике сильно нивелируются, что сделало все эти энергоустановки непривлекательными для мощных перспективных электростанций наиболее развитых стран мира в последние годы.

Считаем, что гораздо привлекательнее во всех отношениях и, главное, коммерчески и социально более оправдано и доступно сжигание генерторных газов в малых котельных установках местного, прежде всего, теплового обеспечения. Но здесь возможны различные варианты. Правильный выбор опредлеит привлекательность тех или иных конкретных решений.

САМАЯ ЭФФЕКТИВНАЯ СХЕМА УСТАНОВКИ ГАЗОГЕНЕРАТОРА У КОТЛА

Первая, самая простая и дешевая схема подачи генераторного газа для сжигания в топке состоит из генератора низкокалорийного газа, который установлен непосредственно у топки котла, рядом с горелками, с прямым сбросом через эти горелки в топку полученного в газогенераторе неочищенного и, самое главное, неохлажденного горючего газа. В этой схеме (рис.1) можно считать, а лучше сделать, сам газогенератор элементом конструкции горелки или всего топочно-горелочного устройства котла.

На практике эту схему можно допустить, если между генератором газа и топкой газопровод имеет минимальную длину. Лучше, если газогенератор вообще представит собой элемент горелки и даже топки котла. В этой схеме при возникновении на котле или в реакторе аварийных ситуаций можно быстро отключать подачу воздуха и топлива на газогенерацию, предотвращая взрыв газа без использовния специальной дополнительной газовой арматуры. Главным преимуществом этой технологической схемы подачи газа в топку, кроме предельной дешевизны и простоты, является то, что только эта схема обеспечит полное сжигание всех смол, содержащихся в виде газов в любом генераторном газе, если температура после генерации превышает уровень 500 - 600 °С. С учетом всех потерь и затрат это повысит полный КПД использования исходного сырья в единой схеме «газогенератор – топка» не менее, чем на 2-3 абсолютных процента. Во всех иных известных нам технологиях газогенерации и любых технологиях дальнейшего получения электричества и теплоты обычно невозможно или слишком сложно и дорого получить подобный прирост КПД за счет более полного сжигания смол (без внедрения дополнительных технологий и оборудования).

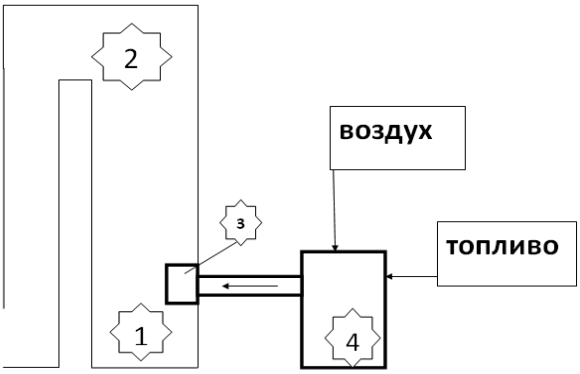

Рис.1 Схема с прямым вдуванием газа в топку горячего неочищенного газа: 1 – топка; 2 – паровой котел;3 – горелка; 4 - газогенератор.

Отметим, что схемы «газогенератор – топка», разработки ООО «Вихревые системы», а позже ООО «ВГС», в будущем могут постепенно превратиться в совершенно новую технологию сжигания практически любых топлив с предельно глубоким подавлением выбросов оксидов азота (NO_x). Одновременно решается проблема самого полного использования теплоты сгорания исходных твердых топлив или биомассы, и других топлив, с учетом полного сжигания генераторного газа, смол, а также по технологиям ООО «ВГС» почти всех твердых продуктов неполноты сгорания.

По сравнению с известными схемами снижения образования и подавления выбросов NO_x в обычных технологиях сжигания, все упомянутые разработанные нами новые принципы и схемы прямого сжигания неохлажденного, неочищенного, низкокалорийного газа, с точки зрения снижения выбросов NO_x, в перспективе могут стать даже более эффективными: возможно даже в случае, если дополнительно поднять температуру генерации газа, вводимого в топку для сжигания. Это связано с тем, что в новом интегральном процессе до 50-80 % всей теплоты сгорания топлива выделяется в самом генераторе при избытках воздуха не выше, чем 0,3. Одновременно мы увеличиваем на порядок (пока до 5-6 секунд) время пребывания образовавшихся NO_x в концентрированной восстановительной среде продуктов газификации в вихревом аппарате нашей разработки. Это время в отдельных, пока опытных, аппарах мы увеличивали и до 15-18 секунд, и его можно увеличить дополнительно.

Время пербывания NO_x в восстановительной атмосфере в наших реакторах также на порядок больше времени процесса частичного восстановления NO_x в зонах дефицита O_2 в факелах обычных горелок котлов при сжигании топлив в схемах двух и трехстадийного сжигания. При избытках воздуха всего около 0,3, согласно данным известных работ П.В.Рослякова (МЭИ) или демонстрационных материалов бывшей фирмы Duetsche Babccok, будет вероятно достигнут даже предел минимизации выхода топливных NO_x, а при температурах от 600 до 1200 °С, прямо в газогенераторе можно достичь и предельного подавления быстрых и термических NO_x. Достигнутое в созданных нами новых вихревых газогенераторах ступенчатой генерации увеличение времени пребывания газов, смол и всех реагирующих компонентов в атмосфере высоких концентраций CO и H_2 возможно, даже приведет в перспективе их развития к почти полному восстановлению в молекулярный азот N_2 всех уже образовавшихся в процессе топливных NO_x.

При реализации данной схемы сжигания горячего неочищенного газа, полученного из биомассы, на тепловыделение в топке при горении газа останется лишь 20-30% суммар-

ного выхода полной теплоты всего процесса сжигания исходного органического топлива. Правильный выбор и настройка горелок для сжигания горячего генераторгного газа поможет достичь итогового снижения выбросов NO_x возможно ниже, чем в технологиях прямого высокотемпературного факельного сжигания тех же самых твердых топлив в камерных топках.

Реализация схемы (Рис.1) также допустима для сжигания малозольных углей, если на малом котле уже есть простейшая система очистки продуктов сгорания. В случае газогенерации биомассы перспективы данной технологии существенно расширяются, так как неочищенный генераторный газ можно подавать в топки малых угольных котлов для замещения на них сжигания гораздо более дорогих твердых топлив, имеющих более высокую зольность и сжигаемых на этих котлах обычно с очень низким КПД. Сжигание генераторного газа, полученного из биомассы, с учетом всех потерь процесса в самом генераторе, может поднять КПД этих котлов в комбинации с газогенератором по итогу сжигания биомассы на десятки процентов, например, с 40-50% на угле до 70-75% на газе. Все потери этого процесса можно еще понизить и получить повышение итогового КПД до 85 – 90%, если использовать вихревые газогенераторы ступенчатой газогенерации ООО «ВГС», которые на практике показали снижение выхода смол в газе в несколько раз, одновременно с улавливанием части золы в самом газогенераторе.

Приведенная нами схема (Рис.1) пригодна для частичного и полного вытеснения на малых котлах даже дорогого природного газа, а если исходная биомасса имеет низкую цену или бесплатна для владельца котла, то схема становится коммерчески выгодной. Еще лучше, если исходная биомасса имеет малую зольность и является отходом основного производства и подлежит уничтожению или вывозу за плату. По нашим данным, именно в этом случае можно весьма рентабельно получать небольшую электрическую мощность для внутреннего потребления, так как в некоторых малых ДВС нет предельно жестких требований к очистке газа, на фоне требований к его очистке перед мощными зарубежными ДВС и особенно, - перед газовыми турбинами, на которые неоправданно уповают многие разработчики ТЭС с внутрицикловой генерацией горючих газов из товарных энергетических углей.

ДРУГИЕ СХЕМЫ УСТАНОВКИ ГАЗОГЕНЕРАТОРОВ ДЛЯ ПОДАЧИ ГАЗА НА КОТЛЫ

На практике, однако, пока реальны более сложные и дорогие схемы сжигания газа при достаточно удаленном от топки расположении газогенератора. При этом линию подачи искусственного газа к горелкам котла уже следует оснащать стандартными схемами безопасности сжигания газа, как природного, – со всеми задвижками, клапанами и свечами. К тому же, газ придется очищать и охлаждать до температуры, приемлемой для золоуловителей и всего набора газовой арматуры котла, что, конечно, несколько снизит итоговый экономический эффект и будет значительно дороже. Дешевле всего устанавливать газовую арматуру, работающую на темепертурах до 100 °С. Но в этом случае, вся технологическа схема подачи газа на котел предельно усложняется и сильно удорожается (Рис.2).

Совершенно очевидно, что все требования к газу при использовании арматуры потребуют его глубокого охлаждения, а оно будет происходить в теплообменниках, в которых поверхности нагрева будут быстро заноситься смолами и потребуют частой (по меньшей мере, раз в неделю) очистки теплообменных аппаратов от загустевших и спекшихся смол.

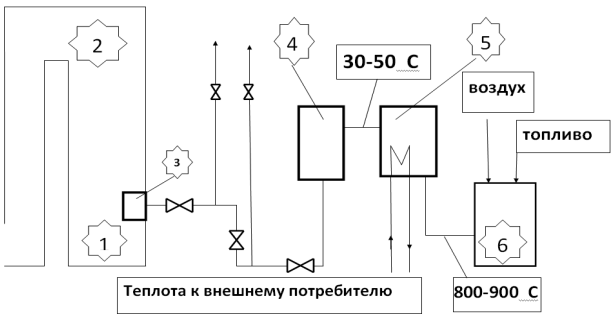

Рис.2 Схема с полным охлаждением и очисткой газа: 1 – топка; 2 – паровой котел; 3 – горелка; 4 – золоуловитель; 5 – охладитель газа; 6 - газогенератор.

Число самих теплообменников, скорее всего, придется увеличивать сверх минимально

необходимого для сокращения времени простоя газогенератора и всей установки в неизбежные периоды вывода из эксплуатации для очистки части этих теплообменников. Причем, чем ниже температура газа, подаваемого в топку, тем больше мощность и число теплообменных аппратаов, которые необходимы, тем выше затраты на их эксплуатацию.

Отметим также, что больше всего смол при газогенерации могут дать слоевые газогенераторы разных типов, а минимальное - видимо, вихривые аппараты нашей разработки, причем, как минимум, с трехступенчатой управляемой газогенерацией.

Но эта более сложная, дорогая и, на первый взгляд, малонадежная схема, может оказаться эффективнее всех иных известных схем при использовании газогенерации в схемах получении электроэнерии для местного потребления, - уровня небольших поселков, хуторов, ферм или малых пердприятий перерабоки любой органики. Однако отметим, что внутрицикловая генерация газа из любых товарных энергетических твердых топлив, сжигание которых можно осуществлять на обычных современных мощных ТЭС, нигде в мире, по нашим данным, себя не оправдала. Во многих, самых развитых странах, интерес к подобным технологиям для относительно мощных ТЭС быстро и необратимо падает. Они уже десятки лет не могут доказать коммерческую и даже экологическую привлекательность. По нашему мнению, они вообще не пригодны для коммерческого получения электроэнергии на мощных ТЭС при работе на коммерческие рынки электроэнрегии. Потери в таких технологиях на угольных ТЭС с внутрицикловой генерацией товарных твердых топлив всегда будут в 2-3 раза выше внутрицикловых потерь любых современных паротурбинных ТЭС. Все угольные ПГУ имеют более высокий КПД брутто, но на практике всегда будут дороже и при этом иметь КПД нетто ниже, чем любые относительно новые экологически безопасные паротурбинные ТЭС на бурых или каменных углях.

Однако для установок энрегоснабжения малой мощности на биомассе, органических отходах или торфе, считаем лучше использовать следуюшую схему с частичным охлаждением генераторного газа и его очисткой по упрощенной схеме.

Такая технологическая схема была разработана нами в 2008-2009 годах для газификации опила, торфа, шелухи зерновых культур и другой биомассы в новых вихревых аппаратах горизонтального типа с трехступенчатой генерацией газа, тепловой мощностью по перрабатываемому топливу 2,5 – 3,5 МВт. Газ по этой схеме предполагалось сжигать на малых угольных или даже газовых котлах малых предприятий или коммунальных систем.

Поводом к созданию такой схемы подготовки и подачи газа на котел послужила высокая стоимость регулирующей и запорной арматуры при работе на газе с температурой 800 – 900 ° С. Именно на такую темпертуру газа расчитаны и созданы нами газогенераторы данной серии. На рынке оборудования самой приемлемой по цене для нас оказалась газовая арматура, способная работать при температуре газа 300 – 400 °С. Под нее создан и новый тип газогенератора горизонтального типа со ступенчатой вихревой гезогенерацией и была предложена схема установки с котлом, показанная на рисунке 3.

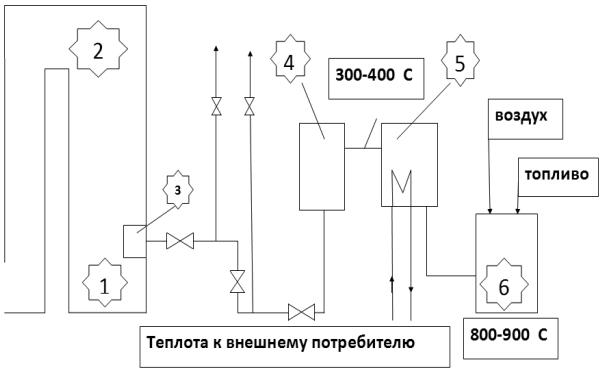

Рис.3 Схема с частичным охлаждением и очисткой газов: 1 – топка; 2 – паровой котел; 3 – горелка; 4 – золоуловитель; 5 – охладитель газа; 6 – вихревой газогенератор ООО «ВГС».

Эта схема разработана под конкретные заказы газогенерации щелухи овса и опила, после которой газ направлялся для сжигания на газовый паровой котел производительностью 6 тонн пара в час. Новизна схемы и необычность газогенератора, не включенного пока ни в какие классификации, определила все режимы работы установки. Это периодическое включение на несколько десятков часов или на несколько суток для ликвидации отходов основного производства. Их вывоз и утилизация сторонними фирмами досточно дороги. Полученный газ было предложено сжигать в этих котлах с природным газом при полной паропроизводительности котлов и отдельно - при отпуске пара с расходом 30-40 % от номинала.

Газ из газогенератора подается на охлаждение до температур 300-400 °С в весьма простом небольшом теплообменнике. После этого газ подается на простеший батарейный циклон для очистки от золы (исходная зольность биомассы в двух варантах составляет 1% или 6%). Далее очищенный и частично охлажденный газ поступает в корпус котельной и подается для сжигания в котел. Перед котлом на линии подачи газа смонтирована стандартная схема безопасности со всеми запорными и регулирующими органами и всеми продувочными свечами. Теплота, отведенная от газа в охладителе за газогенератором, используется двояко. Она идет на отопление производственного здания, либо, в другом варианте - на нагрев воздуха за пределами установки.

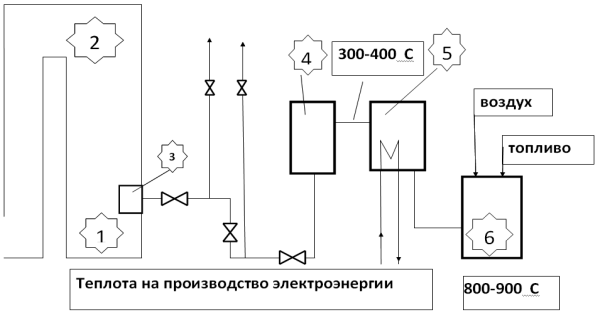

Рис.4 Схема с частичным охлаждением газов и отпуском теплоты на производство электроэнергии (обозначение как на рис.3).

Далее предлагаем новую оргинальную схему использования нашей установки для производства электроэнрегии (Рис.4). Теплоту относительно не очень высокого потенциала, отводимую от охладителя газа, сдедут подавать не на отопление или вентиляцию, а на производство электроэнрегии. Это можно сделать с помощью циклов Ренкина на органических низкокипящих теплоносителях как через промежуточные контуры теплоносителей (вода, углеводороды, газы, воздух), так и непосредственно от охлаждаемого генераторного газа.

Главным принципиальным достоинством такого подхода является отказ от использования пара с парового котла, размещенного традиционно на хвосте технологии получения и сжигания генераторго газа. Это сильно повысит мобильность и надежность всей схемы при когенерации электроэнрегии и теплоты для сложного потребителя. При любых нарушениях процесса генерации газа без останова газогенератора можно, по нашим оценкам, почти полностью сохранять поставку потребителю одного из двух видов вторичной энрегии или перераспределить их приемлемым образом. С другой стороны, при любых нарушениях работы или останове парового или водогрейного котла (при сохранении работы газогенератора) вполне реально сохранить как электрическую мощность установки, сбрасывая в атмосферу избыток охлажденного газа и сжигая его, так и сохранить отопительную нагрузку, если затратить средства на дополнительный теплообменник. То есть, эта схема обладает пластичностью эксплуатации и надежностью, необычной для традиционных установок производства двух видов энергии через газогенерацию топлив.

Однако, в небольших устновках, подобных тем, что уже разработаны на ООО „ВГС" и внедрены на трех промышленных объектах (тепловой мощностью по исходному топливу от 0,5 до 5 МВт), на прозводство электроэнергии будет отводиться в отработанных нами режимах работы таких установок примерно 50–300 кВт теплоты. В таком случае, вряд ли есть смысл использовать для производства электроэнергии любые термодинаические циклы, подобные циклу Ренкина.

Считаем, что для установок ООО „ВГС", и им подобных, более целесообразно использовать в качестве приводных двигателей электрогенераторов двигатели Стирлинга мощностью не более 50 – 100 кВт, которые уже серийно производятся в США, Японии и в ряде стран Европейского Союза. По нашим грубым оценкам, это может позволить снизить удельные капиталовложения в генерацию электроэнрегии по сравнению с иными машинами, и, прежде всего, будет дешевле и надежнее, чем использование схем реализациями цикла Ренкина в традиционных концепциях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Коммерческое получение низкокалорийных генераторных газов для производства отдельно или одновременно одного или двух видов вторичной энрегии целесообразно только лишь в относительно небольших установках и при использовании либо, дешевых и бесплатных,

либо некондиционных, и не товарных твердых энергетических топлив. При этом выбор технологии газифиации топлива, мощности реактора и схемы подготовки газа для сжигания в топке или в ДВС должен производиться индивидуально, с учетом свойств исходного топлива или биомассы, а также их цены. Важно учитывать и экологическую безопасность внедрения новой технологии, прежде всего, с точки зрения защиты климата, через вытеснение ископаемого углерода углеродом растительным, взятым растениями из атмосферы, а также для закрытия свалок органических отходов. Ожидаем получение ощутимого эффекта и при решении проблемы снижения выбросов оксидов азота.

Для каждого случая мы предлагаем свою схему подготовки и подачи генераторного газа к сжиганию, в том числе и схему промежуточного отбора теплоты на производство электроэнрегии - не из конечного агрегата сжигания искусственного газа, а из промежуточной точки его частичного охлаждения. Эта схема значительно пластичнее и надежнее, а, в конечном счете, - дешевле наиболее известных нам схем получения электроэнрегии и теплоты в схемах с газогенерацией биомассы или твердого топлива. Для предложенной нами концепции малых установок метного энрегообеспечения, в том числе в схемах рассредоточенной генерации, нами были разработаны (а некоторые уже прошли промышленное опробование) вихревые газогенераторы совершенно нового класса – с управляемой ступенчатой вихревой генерацией газа.

Они отличаются от известных типов подобных устройств существенным снижением выхода смол с генераторным газом из аппарата и возможностью глубокого выжигания углерода топлива в летучей золе, с доведением механической неполноты сгорания топлива на всю интегральную установку переработки сырья до значений, характкерных для лучших котлов с камерными топками.