

УДК 621.181:621.048

ОПЫТ СОЗДАНИЯ ВИХРЕВЫХ ГАЗОГЕНЕРАТОРОВ НОВОГО ТИПА ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ СЛОЖНЫХ ТОПЛИВ И БИОМАССЫ

Костюнин В.В., Потапов В.Н.

ООО «Вихревые системы», Екатеринбург, Россия

АННОТАЦИЯ

Приводятся опыт разработки, опытного и промышленного внедрения разработанных под руководством и при участии авторов нескольких модификаций оригинальных вихревых газогенераторов с развитием ре-

альных возможностей постадийного управления процессами пиролиза, газогенерации биомассы или иных топлив, свойства которых отличаются от коммерческих энергетических топлив.

ВВЕДЕНИЕ

Процесс генерации горючих газов из твердого сырья, содержащего горючие компоненты для использования в устройствах разного назначения (главным образом, для сжигания) обычно осложнен проблемами, почти неразрешимыми в условиях коммерческого внедрения. Особо выделим быстротечность процесса термической переработки сырья и малые размеры зоны основных реакций в большинстве известных типов генераторов газа, и вытекающую из этого обстоятельства невозможность организации эффективного управления этими реакциями. Отметим попутно задачу выделения из интегральной технологии зоны пиролиза и создания механизмов управления им. Отметим проблему образования и выхода с газом тяжелых смол с высокими температурами кипения, которые не только могут снизить эффективность использования теплоты топлива, но и вызывают обычно необходимость очистки газа от этих смол в специальных технологических узлах со всем комплексом снижения надежности и удорожания газогенерации, с неизбежными и обычно неустраняемыми эксплуатационными затратами на очистку и газа и оборудования от смол и золы, на ремонты оборудования очистки газа и его подготовку к использованию.

Наш опыт [1] показал, что для преодоления или ослабления этих ограничений лучше всего подходит газогенерация, реализуемая в специально разработанных и особым образом реализованных вихревых процессах, как

с выделением пиролиза, так и без выделения. Это перспективно для огневой переработки биомассы и ряда сложных, нетоварных органически топлив, таких, как горючие отходы с низкой теплотой сгорания, или с высокой зольностью, или обладающими особыми физическими свойствами, делающими эти топлива непригодными при использовании в традиционных технологиях энергетики.

Главными преимуществами вихревого процесса являются возможность разделения процесса на стадии, стабилизация процессов в каждой стадии и возможность управления параметрами процесса в каждой из них. Число стадий определяют необходимые конечные свойства газа. Чаще всего это допустимая температура для потребления, наличие или отсутствие в газе тех или иных смол, а также содержание горючих веществ в золе и шлаке процесса. Важной является возможность минимизация затрат на очистку генераторного газа от смол и летучей золы, а при необходимости и возможности одновременного управления элементами состава золы, прежде всего наличие в ней горючих соединений - продуктов неполноты сгорания. Еще привлекательнее схемы получения горючего газа без необходимости его очистки. В ряде случаев можно подготовить стадийную вихревую технологию для очистки газа от оксидов серы или паров иных кислот. В перспективе может появиться и проблема очистки газа от щелочных компонентов при переработке биомассы, а также других опас-

ных элементов, в том числе, вероятно, от ртути или иных свертывающих веществ при переработке углей. Поэтому при разработке генераторов газа следует учесть заранее все аспек-

ты для реализации возможностей управления процессом. От этого зависит самое главное - коммерческая привлекательность всей технологии для ее промышленной реализации.

ОСОБЕННОСТИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ПРОЦЕССОВ В ЗАКРУЧЕННЫХ ПОТОКАХ, ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ГАЗОГЕНЕРАТОРОВ НОВОГО КЛАССА ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ УПРАВЛЯЕМОЙ МНОГОСТАДИЙНОЙ ГАЗОГЕНЕРАЦИИ

Самым изученным среди традиционных вихревых устройств являются циклонные топки и вихревые камеры, а также, пожалуй, обычные, стандартные улитки для закрутки газовых сред, и двухфазных потоков (вихрей), переносящих взвесь [3]. Но известно, что даже самые развитые представления о течении сильно закрученных потоков в улитках и циклонах обычно не обеспечивают заранее, до опыта, надежных оценок места появления негативных явлений в аппаратах, например, появление областей заноса камер взвесью и шлакование ряда зон, непредвиденный вынос из камер взвеси даже крупных частиц топлива или золы. Обычно также трудно заранее оценить место появления зон концентрированного выноса твердой взвеси из камерных завихрителей, и невозможно в промышленных аппаратах и в горящих факелах устранять неравномерности распределений в них твердой взвеси.

Известно, что при закрутке воздуха или аэропыли улитками (например, регистрами горелок), а также циклонами и вихревыми камерами формируются неоднородные, несимметричные относительно оси вращения потоки с выраженной спиралевидностью [4]. При закрутке двухфазных потоков камерными регистрами и циклонами часто имеет место сепарация взвеси в некоторых, иногда определенных зонах у боковых стенок и у торцов камер или шлакование подобных зон в циклонных топках или в газогенераторах. Эти нарушения структуры вихря в подобных аппаратах, деформируют закрученные потоки (вихри), снижают крутку потоков и горящих факелов на их основе. В любых циклонах и в камерах газогенераторов могут быстро накапливаться отложения взвеси топлива и золы, нарушая и далее разрушая весь технологический процесс [6]. Это дополнительно затрудняет предложить и реализовать приемы повышения эффективности сжигания топлив или их газогенерации, затрудняя регулирование избытков (точнее дефицита) воздуха в огневом процессе, ухуд-

шая выгорание топлива, способствуя выбросам канцерогенных углеводородов и оксидов азота. Например, именно поэтому улиточные горелки для сжигания угольной пыли, отличаются повышенной неполнотой сгорания при высоких уровнях избытков воздуха в топке, что снижает КПД котла и всей установки, и вызывает усиление выбросов оксидов азота, не гарантируя снижения выбросов более токсичных продуктов неполноты сгорания - того же бензапирена.

В основу наших разработок положены пока почти не опубликованные исследования структуры вихря в стандартной улитке модели простейшей горелки одним из авторов, выполненные в конце 70-х годов. Эти материалы показали, что практически любая улитка и циклонная камера с весьма большим выходным окном в принципе не может создать осесимметричный поток, то есть вихрь с одинаковыми на разных радиусах полями скоростей, давлений и концентраций твердой фазы. Многим исследователям известно, что ось вращения вихря при выходе из этих аппаратов никогда не совпадает с центром их выходных окон. Ось вращения вихря всегда смещена относительно продольной оси устройства, условно проходящей через центр выходного окна. В улитке смещение оси вращения вихря обычно сдвинуто в сторону, где потоке (в струе), идущем в объеме камеры вдоль боковой стенки, поворачивается примерно на 160-200 градусов.

Согласно нашим ранним экспериментам этот эффект в некотором приближении можно объяснить тем, что момент вращения вихря в улитке формируется не только и не столько на срезе ее патрубка входа газа (воздуха) в ее объем, сколько далее по потоку, главным образом, у боковой стенки улитки (циклона) [7]. При развитии струи всегда происходит характерная деформация струи в зоне при повороте струи вдоль стенки на угол, который в наших исследованиях наблюдался в диапазоне от 120 до 230 градусов. Там же у стенки улитки в наших опытах на 5-15% возрастали танген-

циальные скорости в потоке вместе со снижением статического давления. Считаем, что это и есть механизм, который вызывает деформации всего формируемого улиткой вихря именно в ту сторону, где возрастают тангенциальные скорости и падает статическое давление, вызывая смещение оси вращения всего вихря и окружающей ее зоны приосевого обратного тока. На эффект смещения оси влияют также форма боковой стенки улитки и соотношение среднего радиуса входа воздуха в камеру и радиуса выходного окна улитки, а также еще несколько мелких факторов. Нами разработаны приемы выравнивания вихря на выходе из камеры и ряд режимных решений, отработанных на опытных аппаратах, позволивших на некоторых видах биомассы и сложных некоммумерческих твердых топливах практически полностью решить задачу работы подобной камеры газогенератора без заносов твердой взвесью.

Для ослабления и даже устранения этих явлений, отрицательно влияющих, как на процесс газогенерации, так и на область пиролиза, если она выделена из всего процесса, нами предложена конструкция первой каме-

ры газогенератора или отдельного пиролизера [5]. В этом патенте предложено усиливать момент вращения холодного или горячего двухфазного потока в локальных областях у боковой стенки улитки (циклона) и в угловых зонах стыков боковой стенки камеры с ее торцами, подачей отдельных струй воздуха, пара или продуктов горения (газогенерации) регулируемых расходов и скоростей для местного увеличения момента вращения, переносимого вихрем в пристенных зонах. Прием основан на нашей гипотезе, подтвержденной нами опытным путем на разных моделях, о том, что отложения взвеси или шлакование имеют место там, где у стенок устройства по разным причинам имеет место локальное снижение момента вращения, переносимого вихрем. Использование рекомендаций, включенных в патент, в объеме всего лишь 10-15% от заявленных возможностей, на новом газогенераторе в реальной коммерческой эксплуатации и на двух аппаратах в опытной эксплуатации, выполненных по нашим проектам, доказали возможность их длительной работы без отложений золы и материала на стенках этих аппаратов.

ОПЫТ СОЗДАНИЯ И ОСНОВЕНИЯ МНОГОКАМЕРНЫХ ВИХРЕВЫХ АППАРАТОВ ГАЗОГЕНЕРАЦИИ СЛОЖНЫХ ТОПЛИВ И ОТХОДОВ

Стабилизация и управление двухфазным вихрем в камерном завихрителе позволила нам разделить газогенерирующий огненный вихрь на три части, а процесс генерации газа на две или три основных, индивидуально регулируемых стадии. После отработки на холодных и горячих моделях нам удалось предложить, построить и продать два аппарата с рядом различий, вызванных их адаптацией под газификацию разной биомассы: овсяной шелухи и опила. Эти трехкамерные газогенераторы, каждый по своему, реализуют общий принцип организации процесса и схему газогенератора [2], который в простейшем виде выглядит следующим образом. В качестве первой камеры использован камерный завихритель - вихревая камера без пережима с тангенциальным вводом топлива и воздуха, где реализуется прогрев, пиролиз и начало газификации топлива. Для управления процессами предусмотрен второй набор воздушных, паровых сопел в область поворота струи на 180 градусов. Далее через выходное окно первой камеры вся среда входит в цилиндри-

ческую камеру ускоренной газогенерации углеродного остатка, с тщательным перемешиванием продуктов процесса и повышения осесимметричности вихря. Для этого диаметр поперечный второй камеры меньше диаметра первой камеры, а стенка канала второй камеры выполнена перфорированной и через нее в вихрь вдувается основная или вся оставшаяся часть воздуха, нужного для завершения процесса газогенерации. После этого поток газов и золы переходит в третью камеру, где происходит кондиционирование продуктов газогенерации, то есть завершение всего процесса, поддержание требуемой температуры и состава газа и выравнивание состава газа и углубление выгорания горючих в оставшейся золе процесса, основная часть которой, не накапливаясь в третьей камере, выносится интенсивным вихрем из аппарата для последующего охлаждения и очистки газов от золы, если необходимо. Третья камера в этой схеме представляет собой цилиндр увеличенного диаметра, пристыкованный ко второй камере, а по оси выходной торцевой стенки третьей

камеры расположено выходное окно газогенератора.

Успешная опытная эксплуатация такого аппарата на шелухе овса около полугода, после ряда небольших доработок коммерчески эксплуатируется свыше двух лет. Сначала в этом аппарате, тепловой мощностью по генерируемому газу 2,5 МВт со средней температурой горючего газа на выходе около 850 °С, была реализована и отработана только прямая газогенерация биомассы. Температура среды при этом изменялась в камерах аппарата в основных режимах эксплуатации в диапазоне 750 – 900 °С. Оптимальной оказалась схема, когда в первой камере этого газогенератора при естественных колебаниях качества биомассы поддерживался дефицит воздуха 82 - 85%, а во второй камере 70 - 73%. Этого было достаточно для завершения газогенерации с содержанием горючих в уносе 2 - 3,5% и КПД установки по переходу теплоты сгорания исходной биомассы в теплоту сгорания уже частично охлажденного газа на уровне 85 - 86%. Подача воздуха в третью камеру в этих режимах оказалась излишней и производилась только в первых опытах, в ходе наладочных работ. Однако на установке прототипе - газогенераторе, тепловой мощностью по газу 0,5 - 0,6 МВт была успешно опробована не только газогенерация шелухи, но и древесного опила, торфа и смесей биомассы с углем. Там некоторое дополнительное кондиционирование газа в третьей камере иногда было желательным.

После полутора лет эксплуатации вскрытие аппарата показало необычный факт – в третьей камере на выходном участке вообще не было следов нагара или сажи. Это несмотря на то, что аппарат первые полгода находился в стадии опытной эксплуатации в неотработанных, неоптимальных режимах, а при промышленной эксплуатации в условиях реального накопления шелухи на заводе установку включали и выключали 4 – 6 раз в неделю для непрерывной работы периодами от 5 до 25 часов. В этих режимах при разогреве аппарата и настройке режима в течении 25 – 35 минут нами иногда наблюдались выбросы сажи. Однако в нормальных режимах в третьей камере всегда происходил пиролиз или разложение всех тяжелых смол газогенерации. Видимо, в газе оставались лишь легкие смолы в парообразном состоянии с температурой кипения не более 120 – 150 °С. Это следует из того, что при осмотре охладителя газа, размещенного за аппаратом (при том же вскрытии) в нем был

зафиксирован небольшой, легко удалимый рукой занос золой, но не было никаких явных следов смол на стенках труб охладителя газов в эксплуатации, по нашим оценкам, не превышала 100 - 120 °С. Возможно, что и часть более легких смол в третьей камере подверглась или пиролизу или разложению, а теплота сгорания генерируемого газа была выше расчетной, примерно равной 1200 ккал/м³. На это указывают данные, полученные нами на ином аппарате и топливе, когда теплота сгорания газа была много выше теплоты сгорания газа, полученного из того же топлива в слоевых газогенераторах классической схемы «Lurgi». Это вполне вероятно, так как на наших аппаратах при средней температуре процесса 750–850 °С, все тяжелые смолы процесса, имеющие такие температуры кипения и выше уже могут пройти в аппарате термическое разложение (конверсию).

На втором году промышленной эксплуатации газогенератора нам удалось разделить процесс в аппарате на пиролиз и газогенерацию углеродного остатка. Для этого мы перераспределяли подачу воздуха и изменяли его скорости на входе в аппарат на разных участках, а также увеличивали подачу топлива. Самым успешным оказался режим когда, по нашим оценкам, мы вышли на режим полной конверсии H₂O продуктов процесса уже в первой камере при дефиците воздуха 88 - 90%. Газогенерация углерода и конверсия смол завершаются при этом в других зонах вихря при дефиците воздуха, соответственно равных 80-85% (во второй камере) и 70-73% (в камере кондиционирования), доведя всю схему до работы с предельным снижением подачи воздуха в аппарат. Считаем, это стало возможно из-за увеличения, как минимум на порядок, времени пребывания сырья и газов в нашем реакторе по сравнению с любыми типами слоевых аппаратов, а также из-за внедрения оригинальной системы струйной турбулизации горящего вихря во второй камере, до входа продуктов процесса в камеру кондиционирования.

Заметим, что на данном аппарате и еще на одном, близком ему по конструкции и по мощности, спроектированном, построенном и проданном для газификации опила, было установлено минимальное количество дополнительных тангенциальных сопел для увеличения момента вращения в отдельных зонах вихря у стенок первой и третьей камер. Если увеличить их число, как позже было предложено

(Патент РФ № 2499955), и даже в разных видах опробовано нами на холодных двухфазных моделях, а также увеличить и определенным образом изменить ввод воздуха, пара или газов процесса во вторую камеру в виде их струйного вдува в рабочий огненный вихрь, то можно предположить, что есть потенциал дополнительного увеличения управляемых стадий процесса, включая и зону пиролиза, и камеру кондиционирования конечного состава генерируемой газовой смеси и золы процесса. Но сначала на шелухе, а позже на сланцевой мелочи, мы пытались узнать реальный потенциал опробованной нами схемы трехкамерного аппарата с оптимальной организацией процесса в соответствии с упомянутым выше патентом № 2469073.

Так, при форсировке аппарата на шелухе овса с выделении в нем пиролиза в первой камере была повышена мощность реактора, и он вышел на совершенно необычный режим автостабилизации. Без каких – либо воздействий на подачу воздуха или биомассы при неизбежных колебаниях качества биомассы, изменяется аэродинамическое сопротивление всего аппарата и его камер. Эти часто разнонаправленные изменения являются следствием изменений объемных расходов сред вследствие медленных колебаний температур и состава продуктов процесса в разных камерах, вызывая изменение сопротивления всего реактора и как следствие, поступления в реактор воздуха без воздействия на дутьевой вентилятор. Изменения подачи воздуха компенсируют спровоцировавшие их изменения характеристик камер и сред в них, возвращая аппарат в исходный режим, без участия персонала или автоматики в течение многочасовой работы. Около года периодической работы в таких режимах позволили нам постепенно производить увеличение мощности реактора с 2,5 - 3 до 5 - 6 МВт, а в крайних режимах, – при одновременной форсировке подачи воздуха вентилятором с увеличением подачи топлива, тепловая мощность по газу обсуждаемого газогенератора реально увеличивалась даже до 7 – 7,5 МВт.

Выход на режимы автостабилизации при мощности аппарата 3-4 МВт без выделения в нем зоны пиролиза позволило далее адаптировать его схему под высокосольные топлива, лучше стабилизировать качество полученного газа, снизить содержание горючих в золе. Для этого схема была дополнена четвертой камерой с необычной передачей вихревого движе-

ния газов (Рис.1). Выход из третьей камеры мы заменили на тангенциальный в нижней части этой камеры. Такое сопло отвода газов выполнено одновременно входным тангенциальным соплом четвертой камеры, крутка газа в которой направлена против его вращению в камере 3. Причем в четвертой камере также предусмотрены корректирующие тангенциальные вводы воздуха или пара для стабилизации характеристик газа на выходе и для дожигания горючих веществ в переносимой золе переработанной биомассы (топлива). Это не вызывает существенного повышения аэродинамического сопротивления аппарата, но существенно повышает время пребывания газа и золы в последних стадиях процесса с достаточно активным перемешиванием. В ряде режимов была установлена возможность колебания расходов и давлений в камерах 3 и 4 во взаимно противоположных фазах, что дополнительно стабилизирует расход газа и его состав на выходе из реактора, полагая в том числе и возможность коррекции состава газа вдувом в камеру 4 воздуха или пара для конверсии смол процесса. Поэтому мы назвали эту камеру камерой стабилизации.

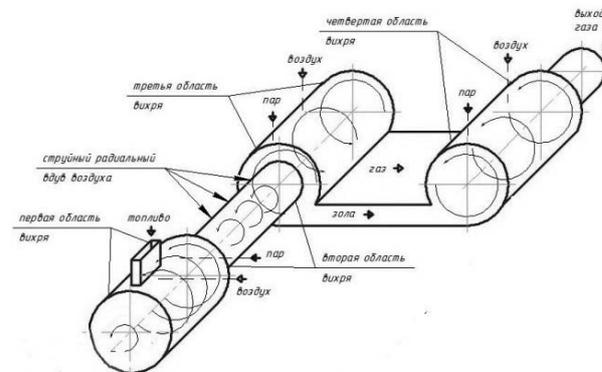


Рис.1 Принципиальная технологическая схема четырехкамерного вихревого реактора.

Первым реализованным нами проектом четырехкамерного аппарата был реактор для утилизации и газогенерации сланцевой мелочи (отходов) на заводе переработки сланцев с зольностью 60 - 63% и влажностью 5 - 12%. Проектная мощность этого реактора по газу составляла 2,5 МВт. Опытное опробование реактора доказало возможность получения устойчивого процесса на таком тяжелом топливе с получением газа с теплотой сгорания примерно 1200 ккал/м³. Это в полтора раза

выше теплоты сгорания газа, полученного при переработке того же сланца в традиционных слоевых аппаратах Lurgi. Это связано с тем, что мы в реакторе получили полную газификацию всей органики. Потери с механической неполнотой сгорания исходной сланцевой мелочи в ряде режимов были снижены даже до уровня значений всего 0,03 – 0,04%. Позже, на той же установке без ее переделки была предпринята попытка газификации костной муки с теплотой сгорания 3517 ккал/кг для выжигания горючих в золе процесса (требования Европейского Союза) для предотвращения распространения тяжелых неизлечимых заболеваний животных и людей. Необычность топлива потребовала вмешательства в работу сопловых аппаратов первой камеры. Только это обеспечило устойчивый процесс и практически нулевое содержание горючих в золе костной муки, уловленной далее частично центробежными процессами в четвертой камере и далее в специальной топке сжигания полученного газа, имевшего теплоту сгорания около 1050 ккал/м³. Для газификации сажи выносимой из топки мелкой золой, часть из которой может выноситься из реактора, нами спроектирован специальный уловитель – газификатор золы.

На базе аэродинамических испытаний модели такого же четырехкамерного реактора, нами был выполнен рабочий проект новой модели четырехкамерного реактора газификации шелухи риса. Этот проект выполнен нами по заказу фирмы ООО «Интерремаш» г. Брянск

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе уточненных представлений о движении закрученных потоков в камерных завихрителях и цилиндрических каналах, после отработки на физических холодных моделях, моделях на двухфазных потоках нами был предложен, отработан на прототипах с горением новый класс вихревых многокамерных газогенераторов различной биомассы,

ЛИТЕРАТУРА

1. Костюнин В.В., Потапов В.Н., Копейка А.В. Некоторые проблемы при разработке вихревых газогенераторов. Доклад на VII Всероссийской конференции с международным участием «Горение твердого

с разрешением изготовления двух реакторов, тепловой мощностью 2,5 МВт каждый вместе с оригинальными новыми золоуловителями. Обе установки должны обеспечить подачу искусственного горючего газа в дизель - генераторы для получения до 1 МВт электрической мощности.

Те же оригинальные схемы трех и четырех камерных вихревых аппаратов считаем в перспективе целесообразным использовать как топки или предтопки для сжигания или газогенерации углей или биомассы в схемах сжигания в кислороде или в смеси воздуха с кислородом для группы перспективных технологий “Oxi - Coal Combustion“ (или “Oxi - Fuel Combustion“) направления CCS по «отсечению» CO₂ при сжигании органических топлив с целью решения проблемы защиты климата (независимо от отношения авторов к данной проблеме) или для производства искусственных жидких топлив.

Последнее направление в ряде случаев считаем интересным и практически реализуемым. Например, на одном из наших малых опытных трехкамерных аппаратов тепловой мощностью 0,2 - 0,4 МВт при работе на отбельной глине от производства растительных масел нам удалось температуру процесса снизить до уровня ниже 300 °С. Кратковременно нам удалось даже получить устойчивый процесс газогенерации органики, содержащейся в глине, при температуре всего лишь 200 °С. Полученный из этой глины генераторный газ горел в малой топке очень активно, как пары солярового масла.

отходов и широкого спектра твердых топлив. На коммерческих и пилотных аппаратах нашей разработки доказана их работоспособность в достаточно длительной эксплуатации и возможность тонкой настройки и стадийного управления процессами пиролиза и газогенерации при глубоком выгорании горючих в золе горючего сырья.

топлива». Новосибирск, Институт теплофизики им. С.С.Кутателадзе СО РАН. 2009 г. С.83-86.

Kostyunin V.V., Potapov V.N., Kopejka A.V. Nekotorye problemy pri razrabotke

- vihrevykh gazogeneratorov. Doklad na VII Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Gorenie tverdogo topliva». Novosibirsk, Institut teplofiziki im. S.S.Kutateladze SO RAN. 2009 g. S.83-86.
2. Пат. РФ на изобретение № 2 469 073. Способ получения генераторного газа из растительного сырья / В.В.Костюнин, В.Н.Потапов и др.
Pat. RF na izobretenie № 2 469 073. Sposob polucheniya generatornogo gaza iz rastitelnogo syrya / V.V.Kostyunin, V.N.Potapov i dr.
 3. Потапов В.Н., Костюнин В.В. Особенности формирования момента вращения в камере аппарата вихревой газогенерации твердого сырья: Доклад на VIII Всероссийской конференции с международным участием «Горение твердого топлива». Новосибирск, Институт теплофизики им. С.С.Кутателадзе СО РАН. 13-16 ноября 2012 г. С. 115-119
Potapov V.N., Kostyunin V.V. Osobennosti formirovaniya momenta vrashcheniya v kamere apparata vikhrevoy gazogeneratsii tverdogo syrya: Doklad na VIII Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Gorenie tverdogo topliva». Novosibirsk, Institut teplofiziki im. S.S.Kutateladze SO RAN. 13-16 noyabrya 2012 g. S. 115-119
 4. Костюнин В.В., Потапов В.Н. Анализ работы вихревых газогенераторов нового типа: Доклад на VIII Всероссийской конференции с международным участием «Горение твердого топлива». Новосибирск, Институт теплофизики им. С.С.Кутателадзе СО РАН. 13-16 ноября 2012 г. С. 216-220.
Kostyunin V.V., Potapov V.N. Analiz raboty vikhrevykh gazogeneratorov novogo tipa: Doklad na VIII Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Gorenie tverdogo topliva». Novosibirsk, Institut teplofiziki im. S.S.Kutateladze SO RAN. 13-16 noyabrya 2012 g. S. 216-220.
 5. Пат. РФ на изобретение № 2 499 955. Способ вихревого сжигания и/или газогенерации твердых топлив и реактор для его осуществления / В.Н.Потапов, В.В.Костюнин В.В. и др.
Pat. RF na izobretenie № 2 499 955. Sposob vikhrevogo szhiganiya i/ili gazogeneratsii tverdykh topliv i reaktor dlya ego osushchestvleniya / V.N.Potapov, V.V.Kostyunin V.V. i dr.
 6. Потапов В.Н., Костюнин В.В. Опыт создания вихревых газогенераторов нового типа: Доклад на конференции с международным участием «VIII всероссийский семинар вузов по теплофизике и энергетике». Екатеринбург, УралЭНИН Уральского федерального университета 2013 г. С.310-312.
Potapov V.N., Kostyunin V.V. Opyt sozdaniya vikhrevykh gazogeneratorov novogo tipa: Doklad na konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «VIII vserossiyskiy seminar vuzov po teplofizike i energetike». Ekaterinburg, UralENIN Uralskogo federalnogo universiteta 2013 g. S.310-312.
 7. Потапов В.Н., Костюнин В.В. Новые концепции малых тепловых электростанций. Доклад на конференции с международным участием «VIII всероссийский семинар вузов по теплофизике и энергетике». Екатеринбург, УралЭНИН Уральского федерального университета 2013 г. С. 347-350.
Potapov V.N., Kostyunin V.V. Novye kontseptsii malyykh teplovykh elektrostantsiy. Doklad na konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «VIII vserossiyskiy seminar vuzov po teplofizike i energetike». Ekaterinburg, UralENIN Uralskogo federalnogo universiteta 2013 g. S. 347-350.