

Начальные броски токов обусловлены высоко-частотными составляющими и на время их действия, чтобы исключить ложные срабатывания, применяется временная задержка. Последующий импульс тока обусловлен принудительным подключением резистора. Причем увеличение тока происходит именно в поврежденной линии и именно в поврежденной фазе. Таким образом, способ обеспечивает однозначную локализацию повреждения. Согласование тока по величине и по длительности является нетрудной задачей, эффективно решаемой, например, с применением предлагаемой модели. Другой эффективный алгоритм защит от ОЗЗ построен на вычислении проводимости нулевой последовательности для всех отходящих присоединений. Дело заключается в том, что в неповрежденных линиях ток и напряжение нулевой последовательности сохраняют свою пропорциональность и только в линии, в которой произошло ОЗЗ, пропорциональность нарушается. Метод легко реализуется в микропроцессорных защитах.

Выводы:

1. Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что для снижения вероятности развития ОЗЗ в многофазные замыкания необходима точная

компенсация тока короткого замыкания. Настройка ДГР должна осуществляться в автоматическом режиме с максимально возможным быстродействием. Полезной также является компенсация остаточного тока ОЗЗ.

2. Для построения защит от ОЗЗ в сетях с компенсированной нейтралью должны применяться алгоритмы, отличные от применяемых в сетях с изолированной нейтралью.

3. Для принятия решения по настройке ДГР и релейной защиты эффективным средством может служить моделирование возможных вариантов. Модель может быть полезной на стадии предпроектных работ, при проектировании, в процессе монтажа и наладки оборудования и при эксплуатации.

Библиографические ссылки

1. Иваницкий В. А., Тюленёв М. Е. Моделирование перенапряжений в сетях электроснабжения с изолированной нейтралью // Наука – производству. – 2006. – № 1. – С. 43–44.

2. Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. – М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. – 288 с.

V. A. Ivanitskiy, PhD in Engineering, Associate Professor, Perm National Research Polytechnic University

M. E. Tyuleniyov, Associate Professor, Perm National Research Polytechnic University

Model for analysis of single-phase ground faults in power supply grids

The article describes the Simulink-model for the study of processes of single-phase ground faults in the power supply grids. There are simulation results for ground faults in the circuit 6 kV with isolated or compensated neutral. The model allows searching the based settings for arc suppression coils and relay protection units. The results of modeling formulate requirements for devices which compensate currents of single-phase ground fault.

Keywords: single-phase ground fault, arc suppression coil, insulated neutral, compensated neutral, relay protection, modeling

Получено: 08.11.2013

УДК 662.76(045)

Е. М. Кашин, аспирант;

В. Н. Диденко, доктор технических наук, профессор

Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

АКТИВНЫЕ ЗОНЫ ГАЗОГЕНЕРАТОРА ТВЕРДОГО ТОПЛИВА РОТОРНОГО ТИПА

Представлен обзор газогенератора роторного типа с вращающимися активными зонами, применяемого для газификации твердого органического топлива. Анализируются недостатки и основы протекания процессов в классических газогенераторах, а также в газогенераторе роторного типа. Рассматриваются особенности расположения топлива по активным зонам газогенератора.

Ключевые слова: газификация, газогенератор, пиролиз, окисление, восстановление

Рост цен на углеводородные топлива в 1970-х гг. привел к возобновлению интереса к технологиям газификации дерева. Необходимость развития данного направления обуславливается повышением энергетических потребностей человечества, с одной стороны, и осознанием конечной истощенности запасов ископаемых топлив – с другой. Также существуют и экологические проблемы, обусловленные ростом числа энергетических установок. Поэтому

замена невозобновляемого топлива возобновляемым становится в настоящее время весьма актуальным вопросом. Одним из источников альтернативной энергии является генераторный газ, вырабатываемый устройствами, называемыми газогенераторами. Для газогенераторов прямого процесса газификации генераторный газ имеет следующий состав:

– негорючая часть: углекислый газ CO_2 – 5,75 %; кислород O_2 – 0,2 %; азот N_2 – 50,7 %;

– горючие компоненты: оксид углерода CO – 27,1 %; водород H_2 – 12,9%; метан CH_4 – 3,35%.

Теплота сгорания газа: 1 440 ккал/м³ или 6029 кДж/м³.

В данный момент в мире существует достаточное количество разновидностей газогенераторов. В их числе газогенераторы прямого, обращенного, поперечного процесса газификации, с неподвижным и циркулирующим кипящими слоями и различные модификации вышеуказанных. Также существуют газогенераторы, работающие на твердом и жидком топливах, как при атмосферном, так и повышенном давлении, как с сухим золоудалением, так и с жидким и т. п. Все эти типы объединяет то, что процесс образования газа в них идет, как правило, последовательными слоями (рис. 1–3). Исключение из этой концепции составляют лишь газогенераторы кипящего слоя, где сырье находится в мелкодисперсном распыленном виде – суспензии топлива и воды. Строгого разделения на зоны в этом случае как такового не существует. Газогенераторы кипящего слоя и газогенераторы мелкодисперсного топлива достаточно сложны в изготовлении и имеют весьма высокую стоимость, поэтому широкого распространения не получили.

Наиболее простым и в то же время одним из самых распространенных типов газогенераторов является газогенератор прямого процесса газификации (рис. 1).

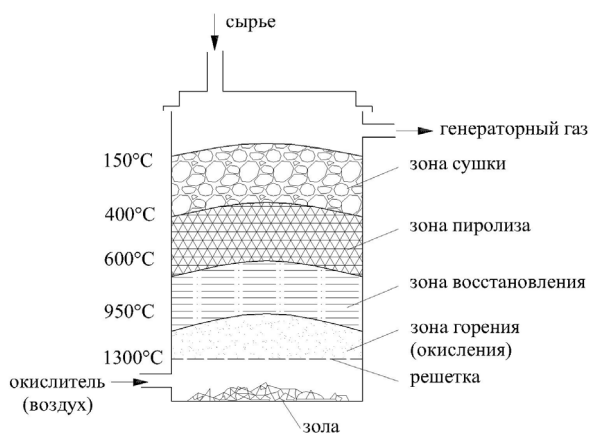


Рис. 1. Расположение зон в газогенераторе прямого процесса газификации

Окислитель (например, воздух) подводится в нижнюю часть реактора, а получаемый газ отводится сверху. Реакция горения (окисления) сырья происходит в зоне, расположенной в непосредственной близости от решетки. Выше зоны горения находится зона восстановления, где протекают восстановительные реакции. В зоне горения образуется зола, которая принудительно удаляется из нижней части газогенератора. Далее по ходу движения газа вверх находятся зоны пиролиза и сушки сырья. Такое последовательное расположение активных зон в верхней части газогенератора является результатом кондукции, конвекции и излучения из нижней зоны.

Получаемые в ходе этих процессов смолы и летучие компоненты уносятся восходящим потоком газа.

Газогенераторы обращенного процесса газификации (рис. 2) отличаются тем, что окислитель (например, воздух), необходимый для газификации топлива, подается через фурмы на одном уровне с зоной горения (окисления), а образующийся генераторный газ отводится ниже решетки, при этом сырье и газ движутся в одном (нисходящем) направлении, а зона восстановления располагается ниже зоны окисления.

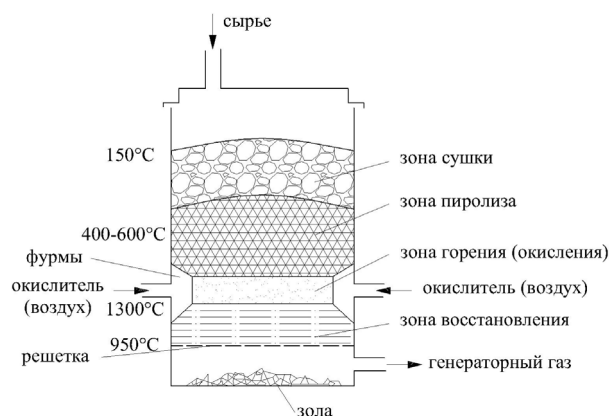


Рис. 2. Расположение зон в газогенераторе обращенного процесса газификации

Газогенераторы поперечного процесса газификации (рис. 3) имеет несколько иное расположение зон газификации.

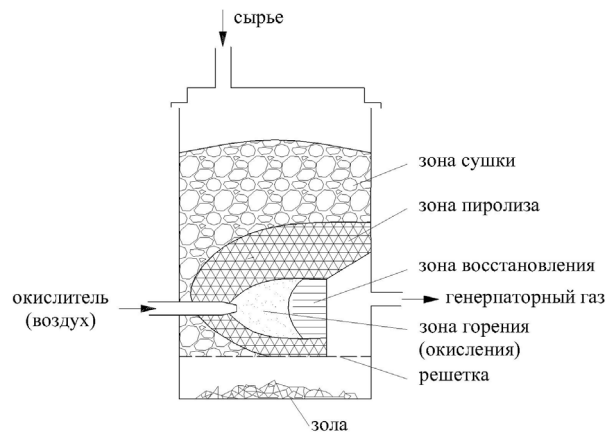


Рис. 3. Расположение зон в газогенераторе поперечного процесса газификации

Окислитель (воздух) подводится через нижнюю часть газогенератора непосредственно в глубинные слои топлива, поэтому зоны горения и восстановления занимают очень малый и весьма компактный объем газогенератора. Полученный генераторный газ отводится со стороны, противоположной подаче окислителя.

Таким образом, в процессе получения генераторного газа и сопровождающего его движения сырья, а затем углистого вещества и впоследствии – угля прослеживаются четкие стадии, выделяющие из об-

щего объема газогенератора зоны, соответствующие каждому отдельному этапу процесса образования генераторного газа (сушка, пиролиз, окисление и восстановление). Переход газифицируемого топлива из одной стадии в другую осуществляется совокупностью действий силы тяжести и теплообмена путем кондукции, конвекции и излучения.

Рассмотренные классические газогенераторы (рис. 1–3) имеют достаточно громоздкие габаритные размеры, обусловленные последовательным расположением зон, весьма требовательны к используемому топливу и ограничены по мощности. Повышение мощности газогенераторов требует увеличения диаметров их шахт, что усложняет подвод окислителя (воздух, кислород) либо смеси с ним водяного пара во внутренние слои топлива. Поэтому существуют определенные ограничения на размеры шахты газогенераторов в зоне подачи газифицирующего агента.

На рис. 4 схематически представлено распределение окислителя на уровне фурм газогенератора обращенного типа с различными диаметрами шахт.

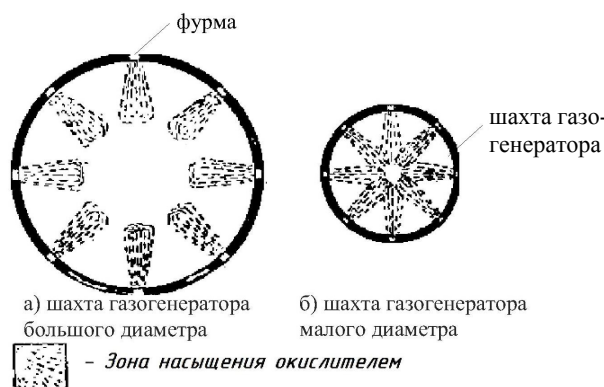


Рис. 4. Распределение окислителя в слое топлива внутри газогенератора обращенного типа

Затрудненное движение топлива и плохой доступ газифицирующего агента в газогенератор большого диаметра требуют применения дополнительных устройств, заметно усложняющих конструкцию.

Одним из путей устранения указанных недостатков современных газогенераторов является применение газогенератора роторного типа, представленного на рис. 5, для производства генераторного газа из сырья лесного и агропромышленного комплексов.

Под воздействием центробежных сил, возникающих при вращении ротора — газификационной камеры с перфорированной боковой стенкой, изменяется направление движения газифицируемого топлива и газифицирующего агента внутри ротора, теперь оно становится направленным от его центра к периферии. При этом активные зоны газификации (сушки, пиролиза, окисления и восстановления твердого топлива) последовательно располагаются от центра к периферии и имеют форму осесимметричных слоев, вложенных один в другой (рис. 6). Толщина каждой активной зоны газификации зависит от температуры горения топлива, теплопроводности каждой из зон и величины тепловых потерь в окружающую среду.

Температура горения и теплопроводность зоны определяются в первую очередь видом топлива, а величина тепловых потерь в окружающую среду — размерами рабочего пространства газогенератора, в том числе диаметром корпуса газогенератора, размерами пустот между кусками топлива. Форма зон газификации и их расположение одна в другой обеспечивают наиболее максимальное заполнение газификационной камеры активными зонами газификации, позволяя эффективно использовать пространство газогенератора, что влечет за собой либо уменьшение габаритных размеров корпуса при сходных производительностях, либо повышение производительности при сходных габаритных размерах газогенератора.

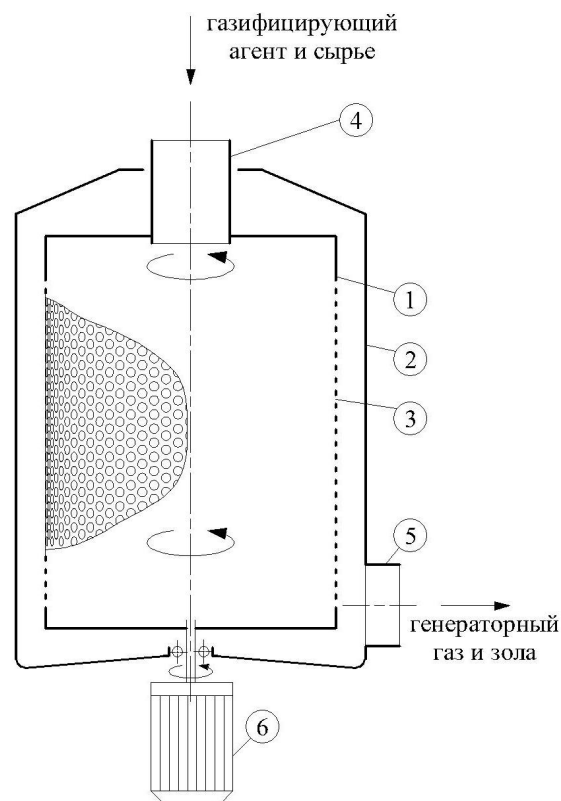


Рис. 5. Схема газогенератора твердого топлива роторного типа: 1 — корпус; 2 — ротор-газификационная камера; 3 — перфорированная стенка; 4 — патрубок для подачи сырья и газифицирующего агента; 5 — патрубок для сбора газа и золы; 6 — привод ротора

Рабочий процесс газогенератора начинается с процедуры розжига. Ротор-газификационная камера 2 газогенератора (в дальнейшем «ротор»), изначально находящийся в покое, заполняют горючим сырьем и поджигают. После установления стабильного горения ротор раскручивают. Центробежными силами горящее сырье отбрасывает к перфорированной стенке ротора, при этом образуются активные зоны в виде осесимметричных слоев, близких к цилиндрическим. Последующая загрузка сырья осуществляется уже без остановки вращения ротора.

При работе газогенератора в установившемся режиме порции сырья и газифицирующего агента в количествах, необходимых для осуществления про-

цесса газификации, через патрубок 4 подаются в полость ротора 2. Новые порции сырья под действием центробежных сил перемещаются к перфорированной стенке ротора 2, где располагаются углистые слои от ранее загруженного сырья.

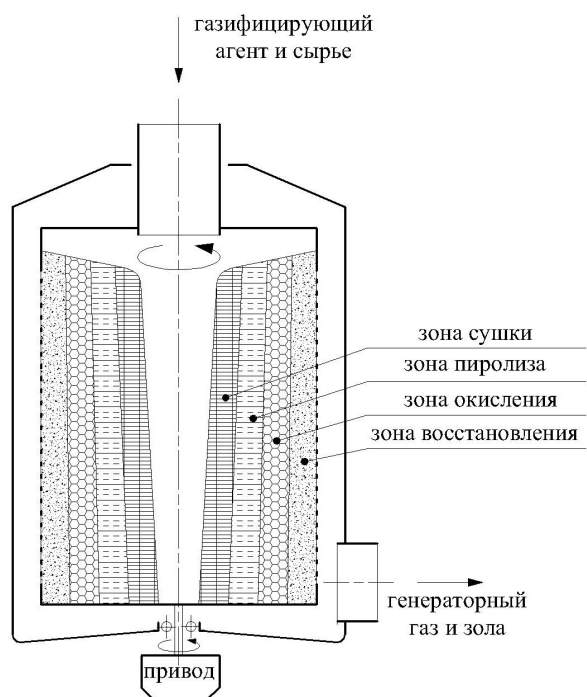


Рис. 6. Расположение активных зон газификации в газогенераторе роторного типа при периферийной подаче газифицирующего агента

При установившемся процессе газификации формируется расположение активных зон, отличное от указанных на рис. 1 и 2, направленное от оси к перфорированной стенке ротора (по пути движения сырья: зона прогрева и сушки, зона пиролиза, зона горения, зона восстановления (рис. 6)). Такое расположение активных зон объясняется особенностями распространения газифицирующего агента внутри газогенератора роторного типа. Поскольку газифицирующий агент подается через патрубок 4 только в центральную часть ротора 2, то условия для полноты осуществления реакций горения существуют лишь в части слоя, максимально приближенной к центру ротора. По мере удаления от центра ротора к его периферии доступ газифицирующего агента к сырью уменьшается и вблизи перфорированной решетки его количество минимально. Именно здесь и возможны реакции восстановления.

Образующийся в зоне восстановления газогенераторный газ под действием центробежных сил выносится через перфорированную решетку ротора 2 в свободное пространство между ротором и внутренней поверхностью корпуса газогенератора. Из свободного пространства генераторный газ вытесняется вновь образуемым газом в патрубок сбора газа для последующих очистки и охлаждения. Зола уносится из корпуса газогенератора с потоком продуктов газификации.

Интенсивность процесса газификации в зависимости от вида сырья регулируется изменением величины скорости вращения ротора.

При изменении направления движения потока газифицирующего агента, т. е. его подаче через перфорированную решетку к центру ротора, расположение активных зон изменяется (рис. 7). Теперь доступ газифицирующего агента достаточен для полного горения лишь вблизи перфорированной решетки, а в центральной части ротора наблюдается его недостаток, необходимый для появления зоны восстановления. Таким образом, при установившемся процессе газификации с подачей окислителя с перфорированной решетки к центру ротора формируется следующая последовательность расположения зон (по пути движения газифицирующего агента): зона горения, зона восстановления, зона пиролиза, зона прогрева и сушки. Такое расположение активных зон совпадает с расположением зон в газогенераторе прямого процесса газификации.

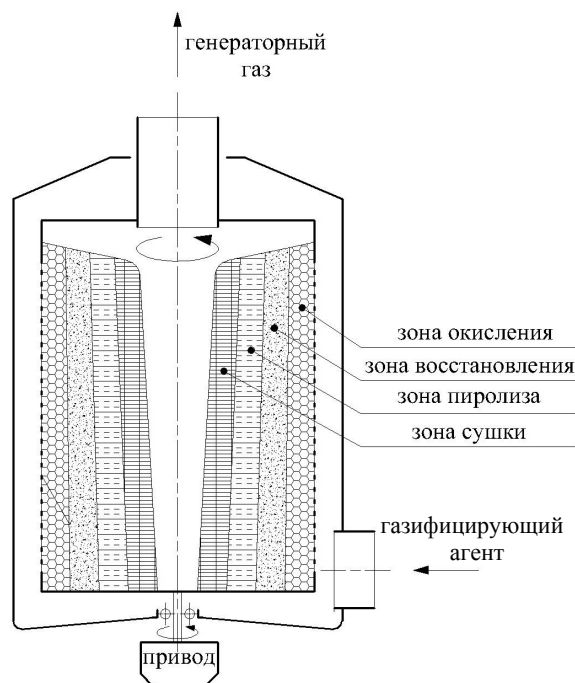


Рис. 7. Расположение активных зон газификации в газогенераторе роторного типа при центральной подаче газифицирующего агента

Независимо от направления подачи газифицирующего агента зона сушки располагается вблизи патрубка для подачи сырья – места, где газифицируемое сырье начинает движение внутри газогенератора. Но место расположения зоны пиролиза в газогенераторе роторного типа при центральной подаче газифицирующего агента нуждается в теоретическом обосновании. Из теории горения известно, что пиролиз возможен лишь при отсутствии кислорода в зоне протекания реакций либо при его ограниченном доступе. Но происходят ли реакции разложения дерева в той зоне, куда газифицирующий агент вместе с кислородом попадает в неограниченном количестве? Характер термического разложения древесины при

температурах ниже 300–350 °С практически не зависит от того, в инертной или воздушной среде ведется нагрев древесины [1]. При нагревании древесины сначала при температурах 100–150 °С происходит полное испарение всей свободной и связанной (гигроскопической) воды (зона сушки) [5]. В этот момент древесина окружена водяными парами и температура ее, как правило, редко повышается выше 100 °С [2]. Далее при 150–275 °С начинается этап разложения древесины с потреблением тепла, куски дерева начинают темнеть, постепенно приобретая бурый оттенок, а затем и черный, постепенно обугливаясь, но ни тления, ни устойчивого пламени в этот момент времени не наблюдается [1].

Выделяющиеся газы пиролиза не содержат кислорода и постепенно окружают обугленное сырье, тем самым создавая вокруг него газовый слой, препятствующий доступу газифицирующего агента к куску сырья [1], а следовательно, и реакции окисления. Именно в изолированной от окислителя среде и происходит пиролиз сырья. Следует также отметить, что разложение древесины осуществляется не только на поверхности, но и внутри куска дерева – за счет разогрева при отсутствии доступа окислителя (древесина имеет низкую газопроницаемость и, следовательно, в поры куска пары и газы окружающей среды не проникают) протекает пиролиз внутренних глубинных слоев древесины [1]. При нагреве тепло передается от внешней поверхности куска древесины к внутренним слоям теплопроводностью клеточных стенок, конвекцией газов пиролиза в клеточных полостях и излучением от более нагретой клеточной стенки к менее нагретой [3]. Но, с другой стороны, использование крупных кусков дерева вызывает дополнительные сложности эксплуатации. По причине низкой теплопроводности древесного угля тепло от сгорания угля на поверхности крупного куска не может распространяться глубоко внутрь со скоростью, достаточной для прогревания глубинных внутренних слоев древесины до температуры, при которой дерево начинает разлагаться (275 °С) [4]. Таким образом, наружная поверхность большого куска дерева нагревается до температуры воспламенения, а внутренняя

часть в то же время может и не нагреться до температуры начала разложения, что в конечном итоге увеличивает возможность затухания процесса углеобразования.

Процесс образования приграничного газового слоя носит временный характер. С течением времени толщина обугленного сырья растет, а выход газообразных продуктов пиролиза уменьшается. Как только кусок сырья полностью превращается в уголь, выход продуктов пиролиза прекращается [1] и газовый слой из продуктов пиролиза, исключающий возможность протекания реакции окисления, исчезает [2], а газифицирующий агент вступает в реакцию горения с раскаленной поверхностью угля. Таким образом, сырье переходит из зоны пиролиза в зону горения (окисления).

Приведенный выше газогенератор роторного типа достаточно компактен, что обуславливается внутренним расположением слоев – активных зон по принципу «один внутри другого», обладает широким диапазоном выдаваемой мощности, варьируемой в зависимости от скорости вращения ротора, что дает возможность использовать любые сорта топлив, в том числе и низкосортные [6].

Библиографические ссылки

1. Хошев Ю. М. Дачные бани и печи. Принципы конструирования. – М. : Книга и бизнес, 2008. – 640 с.
2. Козлов В. Н., Нимвицкий А. А. Технология пирогазотехнической переработки древесины. – М. ; Л. : Гослесбумиздат, 1954. – 620 с.
3. Химическая технология древесины / А. К. Славянский, В. И. Шарков, А. А. Ливеровский и др. – М. : Гослесбумиздат, 1962. – 576 с.
4. Хаулей Л. Ф., Уйаз Л. Е. Химия древесины : пер. с англ. В. А. Дерягина ; под. ред. П. П. Шорыгина. – М. ; Л. : Гос. науч.-техн. изд-во, 1931. – 250 с.
5. Плотников Д. А., Диденко В. Н. Энергоэффективные технологии производства топливных пеллет из отходов лесной, торфодобывающей и сельхозперерабатывающей промышленности. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2011. – 116 с.
6. Кашин Е. М., Диденко В. Н. Газогенератор твердого топлива с вращающейся активной зоной // Интеллектуал. системы в пр-ве. – 2013. – № 1. – С. 181–184.

E. M. Kashin, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

V. N. Didenko, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Active zones of rotor type solid propellant gas generator

The article provides an overview of the rotor type gas generator with rotating active zones to be used for gasification of solid fossil fuels. The shortcomings and the base course of processes in classical gas generators and also in a rotor type gas generator are analyzed. Features of fuel arrangement on active zones of the gas generator are considered.

Keywords: gasification, gas generator, pyrolysis, oxidation, reduction

Получено: 08.11.13