**Изучение скорости горения высокоэнергетических смесевых твердых топлив**

Содержание

Введение

1. Литературный обзор

1.1. Ракетные топлива

1.1.1 Твердые ракетные топлива

1.1.2 Коллоидные топлива

1.1.3 Смесевые топлива

1.1.4 Физические свойства

1.1.5 Механизм горения

1.1.6 Скорость горения топлив

1.1.7 Элементарный состав. Условная химическая формула

2. Методика эксперимента

2.1 Определение процентного состава компонентов топливной композиции по известному α

2.2 Методика изготовления образцов.

2.3 Измерение скорости горения

3. Экспериментальные данные

3.1 Характеристики исследованной партии образцов

Выводы

Список литературы

Введение

Горение взрывчатых веществ используется в практике издавна – со времени изобретения черного пороха. Однако закономерности горения взрывчатых веществ и порохов при постоянном давлении исследуется сравнительно недавно: первые работы в этой области были начаты К. К. Андреевым и А.Ф. Беляевым в 30-х годах нашего столетия и относились к области давлений, не превышающих 100-150 атм.

До сих пор нет достаточной ясности в том, какими факторами определяется зависимость скорости горения баллистических и смесевых порохов от давления, как она зависит от их состава, как она связана соответствующими зависимостями индивидуальных взрывчатых веществ, входящих в их состав и, наконец, как связана скорость горения с химической структурой взрывчатых веществ. В связи с этим изучение процесса горения взрывчатых веществ представляет большой интерес.

Основной задачей настоящей монографии является систематизация и обобщение новых экспериментальных и теоретических данных по влиянию положительных и отрицательных катализаторов на горение индивидуальных взрывчатых веществ различных классов.

Одним из путей повышения энергетических возможностей смесевых топлив является использование в их составе металлов в виде порошков.

Алюминиевый порошок остается одним из главных компонентов твердых топлив. Для мелкодисперсного алюминия обнаружено существенное увеличение скорости горения, что, возможно, связано с полнотой сгорания этих фракций металла на воздухе.

Все изучаемые составы характеризовались постоянным коэффициентом избытка окислителя, равным 0,9.

Помимо горения в работе проведено определение скорости горения.

1. Литературный обзор

1.1 Ракетные топлива

В ракетных двигателях на химическом топливе выделение энергии происходит в результате химической реакции. Энергия может выделяться в результате следующих реакций:

а) реакции окисления- восстановления (окисления), когда энергия выделяется при реакции между окислительными и горючими элементами; топливо состоит в этом случае, по крайней мере, из двух веществ - окислителя и горючего;

б) реакции разложения, когда тепло выделяется в процессе разложения сложного вещества на более простые; топливо в этом случае может состоять только из одного вещества;

в) реакции рекомбинации (соединения), когда тепло выделяется при соединении одноименных атомов или радикалов в молекулы.

Топлива ракетных двигателей могут быть разделены на следующие четыре группы: жидкие топлива раздельной подачи, жидкие унитарные топлива, твердые топлива, топлива смешанного агрегатного состояния.

В случае жидкого топлива раздельной подачи выделение энергии происходит в результате реакции окисления – восстановления. Процесс окисления условно может быть представлен как обмен электронами на внешней электронной оболочке атомов, участвующих в этом процессе. При этом атомы горючих элементов отдают свои электроны, а атомы окислительных элементов приобретают их.

К горючим элементам относятся углерод С, водород Н, бор В, алюминий АI, литий Li и др. Окислительными элементами являются фтор F, кислород О, хлор CI, бром Br. Фтор и кислород значительно превосходят по эффективности другие окислительные элементы.

Окислитель и горючее в общем случае являются сложными соединениями, в состав которых могут входить как окислительные, так и горючие элементы, а также нейтральные.

Горючим является такое вещество, которое независимо от того, содержатся в нем окислительные элементы или нет, для полного окисления своих горючих элементов требует окислителя извне. Так, например, этиловый спирт С2Н5ОН кроме горючих элементов (С и Н), содержит в себе и окислительный элемент – кислород, но его совершенно недостаточно для полного окисления горючих элементов спирта; поэтому этиловый спирт является горючим.

Окислителем является вещество, в котором хотя и могут быть горючие элементы, но окисляющих элементов в нем имеется значительный избыток, так что при полном окислении его собственных горючих элементов, которые могут быть использованы для окисления какого-либо другого горючего. Например, азотная кислота НNО3 или перекись водорода Н2О2 содержат в себе горючий элемент- водород, однако окислительный элемент (кислород) в них имеется в таком количестве, что при полном окислении водорода азотной кислоты или перекиси водорода в них остается избыток кислорода, который можно использовать для окисления какого-либо горючего; поэтому НNО3 и Н2О2 являются окислителями.

Доли окислителя и горючего в топливе определяются величиной, называемой соотношением компонентов. Теоретическим (стехиометрическим) соотношением компонентов æ0 называется такое минимальное количество окислителя, которое необходимо для полного окисления 1кг горючего. Иначе говоря, теоретическое соотношение компонентов, это такое отношение расходов окислителя и горючего, при котором окислитель полностью окисляет горючее, не оставаясь при этом в избытке.

Действительным соотношением компонентов æ называется действительное отношение расходов окислителя и горючего, подаваемых в камеру, которое может отличаться от теоретического.

Обычно æ <æ0.

Отношение α= æ/ æ0 называется коэффициентом избытка окислителя. Коэффициент избытка окислителя, при котором получается максимальная величина удельной тяги, называется оптимальным.

Топлива раздельной подачи могут быть самовоспламеняющимися и несамовоспламеняющимися. К первым относятся такие топлива, воспламенение которых начинается само по себе при контакте окислителя и горючего в условиях, имеющихся в камере при запуске, без какого-либо дополнительного вмешательства. Несамовоспламеняющиеся топлива для первичного воспламенения (при запуске двигателя) требуют средства зажигания.

Смесь окислителя и горючего в общем случае является взрывоопасной.

Унитарным (однокомпонентным) топливом может быть такое индивидуальное вещество или такая заранее приготовленная смесь веществ, которые при определенных условиях выделяют тепло в результате химических реакций разложения или окисления; в последнем случае все необходимые для окисления элементы находятся в самом унитарном топливе.

Твердые ракетные топлива являются, естественно, унитарными, так как содержат в своей массе все вещества, необходимые для протекания химической реакции. Основой твердых ракетных топлив могут быть вещества, способные к экзотермической реакции разложения, или смеси окислителя и горючего. Твердые топлива широко применяются в ракетной технике. Они позволяют иметь простой по конструкции двигатель и высокую готовность к его запуску. Однако известные твердые топлива обеспечивают меньшие значения удельной тяги, чем жидкие.

Топлива смешанного агрегатного состояния состоят из компонентов, находящихся в разных агрегатных состояниях; например, жидко-твердое топливо, в котором один из компонентов является жидким, а другой твердым. В этом случае твердый компонент помещается в камере сгорания, а жидкий в баке и тем или иным способом подается в камеру, где происходит химическая реакция между окислителем и горючим и образование газообразных продуктов сгорания.[1,стр.37-39].

1.1.1 Твердые ракетные топлива

Твердые ракетные топлива можно разделить на две основные группы: коллоидные (двухосновные) и смесевые.

1.1.2 Коллоидные топлива

Основу этих топлив составляет нитроклетчатка (нитроцеллюлоза) и растворитель, на долю которых приходится основная часть топлива (более 90%); поэтому такие топлива называют двухосновными.

Нитроцеллюлоза получается путем обработки азотной кислотой целлюлозы, условная формула которой [С6Н7О2(ОН3)]n. При этом в целлюлозе ряд групп ОН замещается нитратными группами ОNО2. Свойства нитратов целлюлозы зависят от количества групп ОNО2, содержащихся в них, или, что тоже самое, от процентного содержания азота; в нитроцеллюлозе, идущей на изготовление твердых ракетных топлив, оно составляет 12-13%. Нитроцеллюлоза способна к экзотермической реакции разложения; при этом происходит окисление горючих элементов ее кислородом. Нитроцеллюлоза имеет отрицательный кислородный баланс: атомов кислорода недостаточно для полного окисления горючих элементов. Чем выше степень нитрации целлюлозы, т.е. чем выше содержание азота, тем благоприятнее кислородный баланс. Теплота разложения нитроцеллюлозы колеблется в пределах 3000 – 4000кДж/кг.

Нитроцеллюлоза в чистом виде не может быть использована в качестве топлива из-за склонности ее к взрыву. Путем обработки нитроцеллюлозы некоторыми растворителями получают коллоидный раствор - желатиноподобную массу, которой дальнейшей обработкой придают высокую жаропрочность и необходимую форму. В таком виде заряды коллоидных топлив обладают высокой стойкостью к взрыву и способностью к равномерному горению.

В качестве растворителя наиболее часто применяется нитроглицерин. Он имеет более высокую теплоту разложения, чем нитроцеллюлоза, поэтому увеличение процентного содержания нитроглицерина в топливе повышает теплотворную способность топлива, а следовательно, и величину удельного импульса. Это связано и с тем, что нитроглицерин имеет положительный кислородный баланс, и часть горючих элементов нитроцеллюлозы окисляется избыточным кислородом нитроглицерина. Но содержание нитроглицерина в топливах не превышает 43%, так как при дальнейшем увеличении ее доли понижается прочность зарядов и ухудшается их стабильность.

Помимо основных компонентов – нитроцеллюлозы и растворителя – в состав коллоидных топлив вводят различные добавки: стабилизаторы, повышающие стабильность зарядов при хранении, флегматизаторы, понижающие скорость горения топлив, катализаторы, улучшающие процесс горения при низких давлениях, технологические добавки, облегчающие процесс прессования зарядов, и красители.

РДТТ с двухосновными топливами имеют удельные импульсы в пределах 2000-2400Н\*с/кг; большие значения относятся к топливам с более высоким содержанием нитроглицерина и с нитроцеллюлозой, обладающей большей степенью нитрации. Плотность коллоидных топлив лежит в пределах 1550- 1650 кг/м3.[1,стр.56-57]

1.1.3 Смесевые топлива

Смесевые топлива представляют собой механические смеси твердых окислителей и горючих.

Окислителями обычно служат твердые соли хлорной и азотной кислот, богатые кислородом, в частности, перхлорат аммония NН4СIO4, перхлорат калия КСIО4, нитрат натрия NаNО3 и др.

Основное применение в качестве окислителя смесевого топлива получил перхлорат аммония. Его использование позволяет получить топлива с приемлемыми эксплуатационными и достаточно высокими энергетическими характеристиками. Перхлорат калия, несмотря на большое содержание активного кислорода, обеспечивает меньшее значение удельных импульсов из-за образования в продуктах сгорания твердого КСI.

Нитраты - натриевая, аммиачная и калиевая селитры – дешевые доступные продукты, но они менее эффективны, чем перхлораты, и гигроскопичны и поэтому так же, как и перхлорат калия, широкого практического применения не имеют.

Горючее в смесевых топливах выполняет также роль связки. В качестве горючих в этих топливах применяют вещества с достаточно высокой теплотворной способностью и могущие связывать отдельные компоненты топлива. Обычно для этих целей используются синтетические полимеры типа каучук, смол и пластмасс (например, полиуретаны, полибутадиены, полисульфиды).

Твердые смесевые топлива изготовляют путем введения измельченных частиц окислителя в расплавленное горючее – связку. Полученную таким образом массу либо используют для изготовления шашек, которые затем вставляются в камеру сгорания, либо заливают непосредственно в камеру сгорания, где она затвердевает и прочно соединяется со стенками. Топливный заряд должен быть при этом достаточно упругим, чтобы под действием термических напряжений, вызванных разными коэффициентами линейного расширения материалов топлива и камеры, в нем не образовались трещины. Применение зарядов, прочно связанных конструкцией, улучшает полезное использование объема камеры; кроме того, если горение заряда происходит от центра к периферии, исключается необходимость защиты стенок камеры сгорания теплоизоляционными материалами.

Для большинства комбинаций твердых горючих и окислителей в стехиометрической смеси на долю окислителя приходится 85-90% и более. Однако при значительном его содержании вследствие малой доли горючего – связки ухудшаются механические свойства зарядов. Поэтому обычно в смесевых топливах коэффициент избытка окислителя меньше единицы и ниже оптимального значения. С этой точки зрения более благоприятны комбинации, обладающие сравнительно меньшей величиной æ0.

Смесевые топлива без добавок обеспечивают удельные импульсы того же порядка, что и двухосновные; плотность смесевых топлив находится в пределах 1700-1800 кг/м3. Повышения удельного импульса можно добиться, если вводить определенное количество металлического горючего. В настоящее время применяются смесевые топлива, содержащие добавки алюминиевого порошка, что увеличивает теплотворную способность топлива. Правда, при этом в продуктах сгорания появляется многоатомная окись алюминия АI2О3, значительная часть которой конденсируется; тем не менее, имеет место выигрыш в удельном импульсе. Добавки алюминия до 5-15% повышают удельный импульс на 100-200 Н\*с/кг. Разрабатываются и другие способы повышения удельного импульса твердых топлив, в частности, синтезированием горючих, в которых металлические элементы химически связаны с другими компонентами. Повышение удельного импульса возможно и применением более эффективных окислителей. Таким, в частности, является перхлорат лития LiCIO4. Повышение доли окислителя в твердых смесевых топливах до определенных пределов так же должно способствовать повышению удельного импульса.

Смесевые топлива имеют ряд преимуществ перед двухосновными. Они дешевле, технологичнее, позволяют создавать заряды, плотно прилегающие к оболочке; при наличии металлических добавок они обеспечивают больший удельный импульс; наконец, они позволяют путем изменения рецептуры получить более широкий диапазон изменения свойств топлива.

Иногда применяются твердые топлива смешанного типа, включающие в себя элементы как смесевых, так и двухосновных топлив. Для примера укажем на состав топлива двигателя одной из баллистических ракет; перхлорат аммония, нитроглицерин, нитроцеллюлоза, алюминиевый порошок.[1,стр.57-59]

Несмотря на многообразие существующих и разрабатываемых в иностранных лабораториях составов, смесевые топлива, как правило, содержат следующие вещества (по весу):

Окислители (перхлорат калия, нитрат аммония)………………..60-80%

Горюче-связующие вещества (каучуки, полиуретаны)…………25-15%

Алюминий (в виде порошка)………………………………………10-5%

Катализаторы и другие специальные вещества………………….до 5%.

Нитрат аммония (аммиачная селитра) NH4NO3- белый кристаллический порошок с удельным весом 1,7г/см3. Разлагается при нагревании выше 170°С. Очень гигроскопичен. Способен гореть и взрываться. При горении выделяется большое количество только газообразных продуктов.[2,стр.22,26]

1.1.4 Физические свойства

Плотность топлив является ответственной их характеристикой и всегда контролируется при производстве топлив.

Пониженная плотность топлив говорит о том, что в топливе имеются поры и пустоты, недопустимые для качественных зарядов топлив. Пониженная плотность сказывается и на скорости горения топлива: с уменьшением плотности она увеличивается и наоборот.

К теплофизическим характеристикам относятся удельная теплоемкость Сp, коэффициент теплопроводности λ и коэффициент температуропроводности α. Эти величины характеризуют способность топлив воспринимать тепло при воздействии температуры и проводить (распространять) его по толщине топлива. Они используются при теоретических расчетах термических напряжений зарядов, скрепленных с камерой двигателя, скоростей горения топлив в двигателях.

Изменение физических свойств топлив при хранении происходит под влиянием изменения внешней температуры, влаги и времени.[2,стр.42]

На поверхности ультрадисперсных частиц происходит радикальная перестройка расположения атомов и изменения типа межатомных связей по сравнению с поверхностью крупных частиц.[3].

В ультрадисперсных частицах реализуется особый тип дальнего порядка, при котором межатомные расстояния закономерно изменяются при переходе от центра частицы к ее поверхности, что приводит к образованию множества дефектов как на поверхности частицы, так и в ее объеме и увеличивает активность такой системы в целом.

1.1.5 Механизм горения

В механизме горения смесевых топлив имеется ряд особенностей, определяемых составом и природой входящих в них веществ.

Горение смесевых топлив начинается в твердой фазе с термического распада окислителей и горюче-связующих веществ. Завершается процесс горения в газовых фазах за счет интенсивных химических реакций между газообразными продуктами термического распада компонентов.

Для горения смесевых топлив наиболее характерны большие температуры поверхности горения (до 500-600ºС) и более близкие к поверхности горения максимальные температуры горения.

Процесс горения твердых ракетных топлив очень чувствителен к внешним воздействиям - давлению и начальной температуре топлива. При повышении давления и температуры резко сокращаются темная и смешанная зоны, и пламенная зона вплотную подходит к поверхности горения. Увеличивается подвод тепла к поверхности горения, скорость горения растет, а зона прогрева сужается. Чтобы избежать этих неблагоприятных условий, применяют катализаторы горения, ускоряющие химические реакции в твердой и газовой фазах, которые способствуют более полному горению и в конечном итоге улучшают характеристики топлив.[2,стр.58-59]

Введение АI в топливные системы, содержащие органическое горючее и неорганический окислитель, способствует повышению воспламеняемости, скорости горения и оказывает влияние на зависимость скорости горения от давления.

1.1.6 Скорость горения топлив

Для количественной оценки процесса горения топлив используют либо скорость перемещения фронта горения, либо массу топлива, сгорающего в единицу времени с единицы поверхности.

В первом случае скорость горения называют линейной и выражают в мм/сек или см/сек, во втором – массовой и выражают в г/см2\*сек. В практике чаще пользуются линейной скоростью горения.

Скорость горения является очень важной рабочей характеристикой топлива, так как по ней судят о количестве газов, которые образуются при горении топлива в единицу времени с поверхности заряда. Она является одним из основных параметров при проектировании зарядов топлив.

Скорость горения топлива зависит от давления в двигателе, начальной температуры топлива, его плотности, энергетических характеристик, природы составных частей топлива, размера частиц окислителя (в смесевых топливах) и катализаторов горения.

Для практических целей всегда необходимо знать, прежде всего, зависимость скорости горения от давления.

Зависимость скорости горения твердых топлив от давления определяют опытным путем и выражают формулами, которые получили наименование законов скорости горения. Закон скорости горения находится опытным путем для каждого топлива в желаемом диапазоне давлений.[2,с 59-60]

1.1.7 Элементарный состав

Условная химическая формула.

Состав вещества в массовых долях отдельных элементов называется элементарным составом. Общая формула для массовой доли отдельного(k-го) элемента в веществе имеет вид:

bk= ;

здесь bk – массовая доля k-го элемента;

ak - число атомов данного элемента в молекуле рассматриваемого соединения;

Ak- атомная масса этого элемента;

Если ограничиться пока элементами H, C, N и О, то в общем случае химическая формула вещества имеет вид

CmHnOpNq.

Тогда элементарный состав будет

bc=; bh=; bo=; bn=.

Здесь µ=12m+n+16p+14q – молекулярная масса вещества;

bc, bh, bo, bn – доли углерода, водорода, кислорода и азота.

Для углерода и водорода приняты округленные значения атомных масс (µн=1, µс=12);

Если топливо или его компонент представляет собой комбинацию нескольких веществ, то массовая доля отдельного элемента найдется так:

bk=Σgibki

где bk – массовая доля k – го элемента в смеси,

gi - массовая доля отдельного (i–го) вещества в смеси,

bki – массовая доля k – го элемента в i- м веществе;

Если топливо состоит из окислителя и горючего и известно соотношение компонентов æ элементарный состав обоих компонентов, то массовая доля отдельного (k – го) элемента в топливе найдется так:

bk=(bkг+ ækok)/(1+ æ).

Когда компоненты представляют собой смеси индивидуальных веществ, то для некоторых расчетов удобно использовать условную химическую формулу данного компонента. Такую формулу можно построить разным способом. Например, удобно определять ее, исходя из числа атомов различных элементов, приходящихся на 100 массовых единиц рассматриваемого компонента. Тогда условная химическая формула будет иметь вид

CmHnOpNq…,

где m=100bc/12; n=100bH/1; p=100bo/16; q=100bN/14,

а bc, bH, bo, bN – массовые доли соответствующих элементов в данном компоненте. [1,стр.118-119]

2. Методики эксперимента

В работе использованы методики изготовления модельных твердых топлив, измерения скорости горения.

2.1 Определение процентного состава компонентов топливной композиции по известному α

Знание коэффициента избытка окислителя системы позволяет решить обратную задачу, т.е. определить процентный состав компонентов топливной композиции.

Рассмотрим это на примере топлива с α=0,90 и содержанием алюминия 15 масс. %, тогда содержание топливной композиции можно записать как

NH4NO3 – (85-х) %

Связка – х %

Аl – 15 %

Т.к. содержание алюминия зафиксировано, а на содержание (NH4NO3 и связки) при 15 % алюминия приходится 85 %. Расчет эквивалентной формулы приведен в таблице№1.

Таблица№1. Расчет эквивалентной формулы.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| компонент | содержание, масс.% | эквивалентная формула компонента | Содержание элементов в топливе с учетом масс.% |
| Al | С | Н | О | N |
| NH4NO3 |  85-х |  N25H50O37,5 |  --- |  --- |  50(85-х) |  37,5 (85-х) | 25(85-х) |
| связка |  х | С18,4Н31,1O31,9H17 |  ---- | 18,4х |  31,1х |  31,9х |  17х |
| Al | 15 |  Al37 |  37\*15 |  --- |  --- |  --- |  ---- |
| эквивалентная формула топлива | 100 |   | 555 | 18,4х | 50(85-х) +31,1х | 37,5 (85-х) +31,9х |  25(85-х) +17х |

Т.е. эквивалентная формула топлива имеет вид:

Al555C18.4xH50(85-x)+31.1xO37.5(85-x)+31.9xN25(85-x)+17x

тогда

α=0,9==

отсюда

Т.е. состав топливной композиции с α=0,9, содержащий 15 масс.% алюминия содержит, масс.%:

NH4NO3- 67,6

Связка – 17,4

Алюминий - 15

2.2 Методика изготовления образцов

В работе топливные составы изготовляли ручным способом по лабораторной методике не более 10 гр. смеси за одну мешку.

При работе с топливными составами проводили следующие операции: взвешивание компонентов топлива, смешивание, формирование образцов, определение их основных характеристик (массы, высоты, диаметра), бронирование, повторное определение основных характеристик.

В ходе работы изготавливали составы, содержащие нитрат аммония марки ЖВ, алюминий (УДП), сажа и SnCI2.

Дозировку компонентов проводили на электронных весах с точностью до 0,02г. Суммарная масса топлива 10г.

Навеску связки (МПВТ-АСП) полностью помещали в фарфоровую чашку, а навески алюминия (УДП), нитрата аммония (марки ЖВ), сажи, SnCI2 и отвердителя помешали на листках кальки. Затем в связку постепенно добавлялись компоненты топлива и после каждого компонента смесь тщательно перемешивалась. Отвердитель вносили в готовую топливную массу, которую далее дополнительно перемешивают. Полученную топливную массу формовали с помощью фторопластовой сборки в виде цилиндрических образцов диаметром 10 мм.

Полученные образцы взвешивали, измеряли высоту, определяли плотность. Затем образцы бронировали по боковой поверхности линолеумом, растворенным в ацетоне, и сжигали на воздухе при нормальных условиях.

2.3 Измерение скорости горения

Нами использован лабораторный метод измерения скорости горения.

Скорость горения определяли на воздухе при комнатной температуре.

Образец помещали на текстолитовую подложку. Затем заряд поджигали на верхнем торце одновременно по всему протяжению границы контакта при помощи открытого пламени. Время сгорания фиксировали секундомером. Расчет скорости горения проводили по формуле:

U=l/τ, мм/сек., где l- длина образца, мм

τ - время сгорания, сек.

Для определения скорости горения данного состава проводили не менее трех определений.

3. Экспериментальные данные

В работе использовали топливную композицию, характеризующуюся постоянным коэффициентом избытка окислителя, равным 0,9. Характеристикой, определяющей пригодность топлив к исследованию, служила плотность образцов.

При нормальных условиях определяли стационарную скорость горения.

3.1 Характеристики исследованной партии образцов

В таблице№2 приведены характеристики исследованной партии образцов, а именно масса (с бронировкой и без), высота, диаметр (с бронировкой и без), плотность, время горения, скорость.

Таблица№2. Характеристики образцов.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | m,гр. | h,мм. | d,мм. | ρ,г/см3 | mбр.,гр | dбр,мм. | h бр.,мм | t, c | v,мм/с |
| 1 | 24,9 | 20,5 | 10 | 1,55 | 2,76 | 10,7 | 20,9 | 18,2 | 1,15 |
| 2 | 2,56 | 21 | 10,2 | 1,55 | 2,87 | 108 | 21 | 17,3 | 1,2 |
| 3 | 2,31 | 19,3 | 10,2 | 1,52 | 2,58 | 10,8 | 19,5 | 17 | 1,15 |
| 4 | 2,44 | 14 | 10,2 | 1,52 | 2,68 | 10,8 | 14 | 12 | 1,17 |

Средняя плотность образцов оказалась равной 1,54г/см3, а средняя скорость горения 1,15мм/с, что не противоречит данным, полученным ранее в опытах с образцами такого же состава.

Выводы

Изучена методика расчета компонентного состава смеси топлива при α=0,9.

Изучены свойства компонентов смесевого твердого топлива.

Изготовлены образцы смесевого твердого топлива и определена их плотность.

Определена скорость горения высокоэнергетической композиции.

Список литературы

1. Т.М. Мелькумов, Н.И. Мелик-Пашаев, П.Г. Чистяков, А.Г. Шиуков Ракетные двигатели. Москва // Машиностроение,1976,400с.

2. И.А. Силантьев, Твердые ракетные топлива. Москва, Воениздат //1964, 80 с.

3. Лидоренко Н.С., Чижик С.П., Гладких Н.Н. и др. Сдвиг электронного потенциала в высокодисперсных системах. // Изв. АН СССР. Металлы. 1981. №6. с. 91-95.