

## РЕЦЕНЗИЯ

на статью А. С. Левенко, В. И. Присяжного,  
О. Л. Паука, А. С. Дрозденко

«ГИБРИДНЫЙ РАКЕТНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ  
НА ТВЕРДОМ МЕТАНЕ»

Статья посвящена теоретическому обоснованию возможности создания эффективного ракетного двигателя на твердом метаносодержащем веществе — гидрате метана и высококонцентрированной перекиси водорода (обычно так принято называть «водорода пероксид»). По мнению авторов, рассматриваемая топливная пара в перспективе может прийти на смену сегодня применяемым — кислород + керосин и кислород + водород, и возможно завтра применяемой паре — сжиженный метан + кислород.

По порядку и сути. В настоящее время наибольшее распространение в качестве топлива ЖРД первых ступеней ракет-носителей (РН) нашли жидкий кислород и керосин. Эти компоненты обеспечивают хорошую энергетику, наиболее дешевы, и производятся практически во всех странах, имеющих промышленность, вне зависимости от потребностей ракетной техники. Только в Днепре (место проживания авторов статьи) два кислородных завода.

Кислород и водород применяются на первых ступенях РН, как правило, в двух случаях. Первый, когда не хватает комплексного ракетного опыта, а в избытке бюджетное финансирование. Пример — японские РН. Второе, для решения «крупногабаритных» задач, когда возникают трудно решаемые проблемы транспортировки слишком больших ступеней с завода-изготовителя на космодром. Пример — РН «Энергия» (вторая ступень), «Space Shuttle».

Для космических ракет-носителей высокий удельный импульс не является самоцелью, фетишом. Так, ЖРД F-1 I ступени РН «Saturn-V», обеспечивший полет американских космонавтов на Луну, имел достаточно посредственный даже по тем временам удельный импульс на уровне Земли около 260/263 секунд (из разных источников). Не намного больше удельный импульс у современного ЖРД «Merlin-1C» (~282 с) РН «Falcon-9» (компания Space X Элона Маска).

Высокий удельный импульс ЖРД был крайне нужен для межконтинентальных боевых ракет, т. к. именно он во многом определял габариты носителя и размеры шахтной пусковой установки, количество боевых блоков и возможности средств преодоления противоракетной обороны. В силу субъективных причин (возможность большого длительного финансирования, сохранение десятков тысяч рабочих мест) в Советском Союзе этот подход был перенесен и на космические ЖРД (РД-170/171 для РН «Энергия» и «Зенит» и современные РД-180, РД-191, НК-33М) и канонизирован.

Сегодня в связи с коммерциализацией пусковых услуг на первый план выходит стоимость выведения 1 кг полезной нагрузки на опорную орбиту при общепринятой надежности. Надежность любой технической системы во многом является синонимом конструктивной простоты. Поэтому сегодня наиболее востребованы такие РН как PSLV-C29 (Индия) и вышеупомянутая РН «Falcon-9».

Именно с целью упрощения и удешевления двигательных установок РН, самых дорогих их частей, появились в начале шестидесятых годов так называемые гибридные ракетные двигатели (ГРД). Они используют твердое дешевое горючее (полиэтилен, парафин) и жидкий окислитель (например, закись азота). По замыслу их создателей конструкция ГРД должна сочетать простоту конструкции и эксплуатации твердо-топливных РД, и простоту регулирования тяги жидкостных РД. Работы в этом направлении ведутся во многих странах мира. Результат, возможно, скоро придет.

Удельный импульс у ГРД по определению ниже, чем у жидкостных РД. Но, как уже отмечалось выше, не это главное.

Именно гибридным РД посвящены расчетные исследования авторов. Ими рассмотрена новая топливная пара — высококонцентрированная перекись водорода (ВПВ) и твердый гидрат метана.

ВПВ давно и успешно использовалась в авиационной и ракетной технике. Особенно она хороша как окислитель для разгонных блоков, где требуется многократное включение РД, и для посадочно-взлетных ступеней на Луну и планеты,

т.к. позволяет максимально глубокое дросселирование тяги. Например, в НПО «Энергомаш» в начале 70-х годов велась разработка и экспериментальная отработка 12-тонного двигателя РД-510 на ВПВ и керосине. Предусматривалось создать регулируемый в широком диапазоне РД, с многоразовым запуском и большим ресурсом для блока мягкой посадки и взлета лунного ракетного комплекса Н1-Л3М. Но в связи с прекращением лунной программы в СССР в 1973 году работы по созданию двигателя РД-510 были продолжены как научно-исследовательские.

Таким образом, теплофизические свойства ВПВ для нужд двигателистов изучены, технологии работы с ней известны. Единственный ее недостаток — дороговизна, которая с ростом концентрации возрастает в квадрате. Высококонцентрированная перекись в промышленности не используется и, соответственно, не производится, кроме как в лабораторных условиях.

Другое дело гидрид метана. Свойства его не изучены, поэтому трудности, с которыми столкнулись авторы при расчетах, понятны. Далее, технологии добычи гидрида метана пока не разработаны. Появятся они, скорее всего, через несколько десятков лет, когда будут заканчиваться газообразные углеводороды. Создавать технологии искусственного получения гидрида метана исключительно в интересах ракетной техники вряд ли целесообразно.

Расчеты характеристик РД авторами проведены в нулевом приближении и не учитывают ряд важных моментов. Вода, находящаяся в перекиси, и в гидрате метана является балластом, а не кислород-водородным топливом. Она, как известно, является аномальной жидкостью по величинам теплоемкости и удельной теплоте испарения. Эти величины почти на порядок больше, чем, например, у кислорода. Для того чтобы довести воду до температуры разложения, надо затратить большое количество тепловой энергии. Согласно закону Гесса, тепловые эффекты реакций разложения химического соединения (воды) и его образования из продуктов разложения равны, но противоположны по знаку. В конечном итоге температура продуктов сгорания в камере сгорания будет существенно ниже, чем в расчетах, что отразится и на удельном импульсе РД.

Чрезмерное желание авторов показать высокий удельный импульс предложенной топливной пары не дало им возможности в рамках статьи хотя бы качественно оценить принципиальные моменты для работы гибридного РД:

— скорость горения гидрида метана и возможностей влияния на нее;

— возможности размещения ВПВ на борту РН, находящейся в контейнере с «сухим льдом», замерзающей при минус 11—12 градусах.

К сожалению, на первый вопрос сегодня вряд ли кто-нибудь знает ответ. Нужны кропотливые лабораторные исследования.

Резюме. Ракетная техника, в особенности, отечественная, зачастую работала за гранью научных достижений. Более того, она являлась локомотивом научных изысканий. Поэтому большое количество неясных мест в рецензируемой пионерской работе не должно смущать.

Далее необходимо сделать то, что возможно. Первое, устранить замечаний по влиянию паров воды в топливной паре на температуру в камере сгорания РД и удельный импульс. Второе, обосновать эффективность использования предложенной топливной пары. Третье, показать наиболее рациональную область применения предложенного гибридного РД. Четвертое, хотя бы качественно описать совместную сохранность ВПВ и гидрида метана на борту РН.

Считаю, что после доработки статью полезно опубликовать с посылаем в реквизитах «Для обсуждения». Такого уровня пионерских работ в отечественных научно-технических изданиях я давно не встречал. Статья побуждает к размышлениям, к поиску новых сумасшедших решений, которых так не хватает отечественной ракетной технике. У нас был бы приоритет. Уверен, что авторы предложенную идею патентуют.

Как отмечал А. Эйнштейн, — Если вам самому новая идея не кажется сумасшедшей, то она — либо ошибочна, либо неверна.

*С уважением, рецензент*