

---

УДК 629.7.036.54-66.225

## **Раздвижное сопло ракетного двигателя с электроприводом выдвижения насадка**

**Федулов В. С.**

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет,*

*Комсомольский проспект, 29, Пермь - ГСП, 614990, Россия*

*e-mail: Stalker-59@yandex.ru*

### **Аннотация**

В статье рассматривается наиболее оптимальный закон выдвижения конического насадка для раздвижных сопел ракетных двигателей с помощью управляемого высокоскоростного электропривода. Проведен анализ работы существующих принципиальных схем выдвижения, которые применяются до запуска двигателя. Выявлены их достоинства и недостатки. Предложенная инновационная схема выдвижения насадка позволяет значительно снизить ударные нагрузки на силовые элементы конструкции узла стыка, сохраняя, при этом высокие скоростные характеристики выдвижения насадка.

**Ключевые слова:** сопло, насадок, выдвижение, рычаг, привод, нагрузки, электропривод, шарнир, скорость

В ракетной технике сохраняются основные тенденции в области снижения пассивной массы конструкции, обеспечения наибольшей энергетики двигательных установок, а также возможности управления и отслеживания процессов, происходящих в узлах конструкции.

В двигателях современных межконтинентальных баллистических ракет используются сопла с дискретно изменяемой степенью расширения, т.е. с телескопическими последовательно выдвигаемыми насадками, для повышения энергетики в заданных габаритах двигателей.

Существует множество приводов выдвижения насадка для «холодной» раздвижки, т.е. после отделения отработавшей ступени и до запуска двигателя текущей ступени. К таким приводам относятся пороховые двигатели, гидравлические приводы, пластинчатые пружины, различные устройства, использующие давление сжатого газа, и т.д.

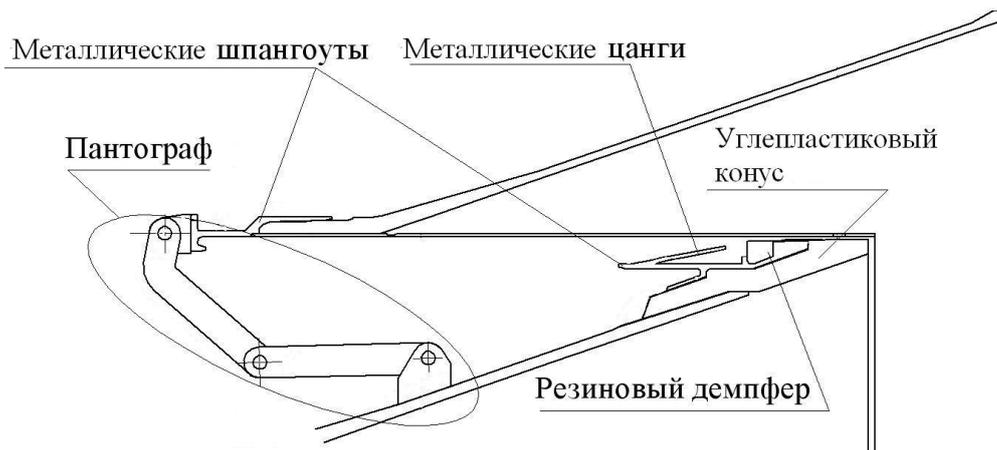


Рис. 1 Раздвижное сопло с пантографом

Достоинство этих приводов - высокая скорость выдвижения насадка, которая необходима для сокращения длительности неуправляемого участка полета ракеты и снижения потерь дальности.

Однако, высокая скорость на конечном участке пути выдвижения насадка, ввиду неуправляемости привода, приводит к существенным ударным нагрузкам на узел амортизации (от прямого удара) и фиксации, т.е. на цанги (от обратного удара). Такие ударные нагрузки требуют использования металлических шпангоутов для раструба и насадка в узле их стыка, металлических цанг и резинового амортизатора. Для защиты для всех перечисленных конструктивных элементов от теплового воздействия в процессе работы двигателя необходимо использовать раструб или конус из углепластика. Все эти элементы увеличивают массу сопла. Соосное выдвижение насадков для сопел с высокоскоростными приводами может обеспечиваться двухзвенным шарнирно-рычажным механизмом (пантографом) (Рис.1).

Другой способ выдвижения насадка - с помощью электродвигателя, передающего усилие для выдвижения с вала через редуктор и зубчатую передачу. Соосность выдвижения насадка осуществляется с помощью направляющей рейки. Достоинством при таком способе выдвижения насадка является отсутствие ударных нагрузок, но низкая скорость выдвижения насадка ограничивает его применение, поэтому такой привод может использоваться только на раздвижных соплах разгонных блоков космических аппаратов, где протяженность неуправляемого участка полета не играет такой важной роли, как на стадии полета высотных ступеней ракет (Рис. 2).

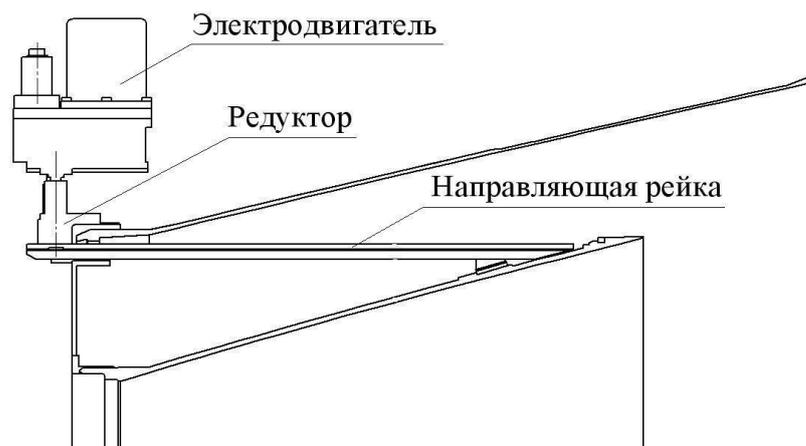


Рис. 2 Раздвижное сопло с электроприводом и редуктором

Для повышения эффективности применения раздвижного сопла предлагается создать управляемый привод выдвигания насадки. Это возможно реализовать с помощью шагового электродвигателя с большим крутящим моментом, установленного в одном из звеньев шарнирно-рычажного механизма, при этом статор электродвигателя жестко соединен с одним рычагом, а ротор - с другим рычагом.

В качестве элемента питания для электродвигателя может быть использована конденсаторная батарея, которая обеспечит приемлемую массу конструкции при оптимальных значениях емкости и скорости разрядки.

Для обеспечения необходимого крутящего момента в каждой точке пути выдвигания насадки, используется программируемый электронный блок управления. Конденсаторная батарея питания и блок управления для электродвигателя могут быть установлены на пантографе (Рис.3).

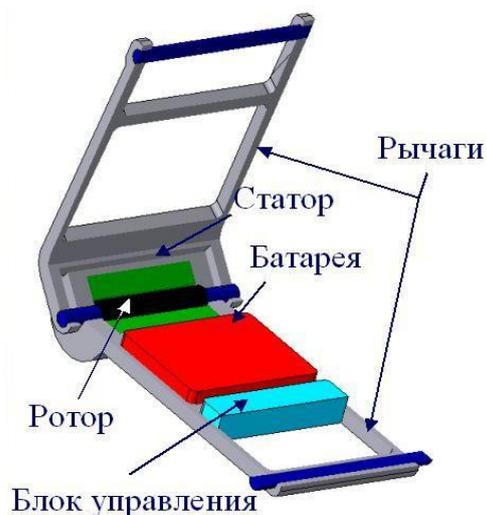


Рис. 3 Шарнирно-рычажный механизм (пантограф) с электроприводом выдвигания

Таким образом, сочетаются достоинства высокоскоростных приводов по скорости и электродвигателя по управляемости, и одновременно исключаются недостатки - ударные нагрузки и длительное время выдвижения, соответственно.

Раздвижка сопла происходит после расфиксации насадка из транспортного положения, затем, с блока управления электродвигателем поступает сигнал на подачу тока на обмотку электродвигателя, который создает крутящий момент на валу. Благодаря кинематической связи раструба и насадка создается сила, направленная в сторону среза раструба, происходит выдвижение насадка и его фиксация в рабочем положении (Рис.4).

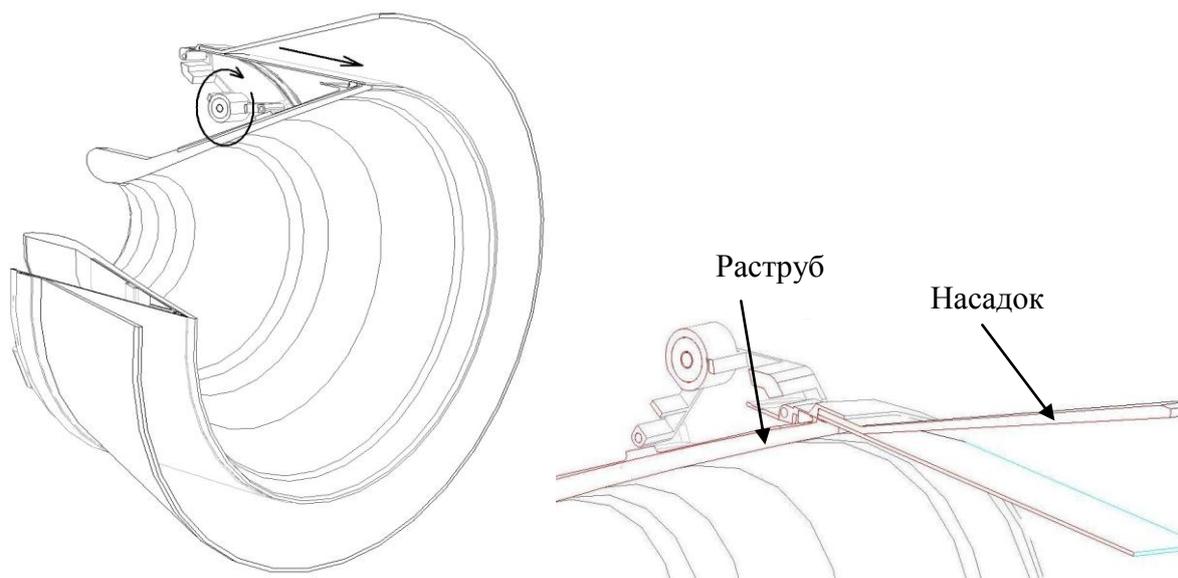


Рис.4 Выдвижение насадка и фиксации в рабочем положении

Блок управления электродвигателем имеет возможность варьирования силой тока, т.е. величиной крутящего момента, и изменения направления вращения магнитного поля в электродвигателе, что позволяет не только ускорить движение насадка, но и уменьшить набранную скорость созданием противоположного по направлению крутящего момента, до скорости, достаточной для фиксации насадка цапгами в рабочем положении. Существующие же высокоскоростные приводы выдвижения насадка, придают насадку максимальную скорость к концу пути выдвижения (Рис.5).

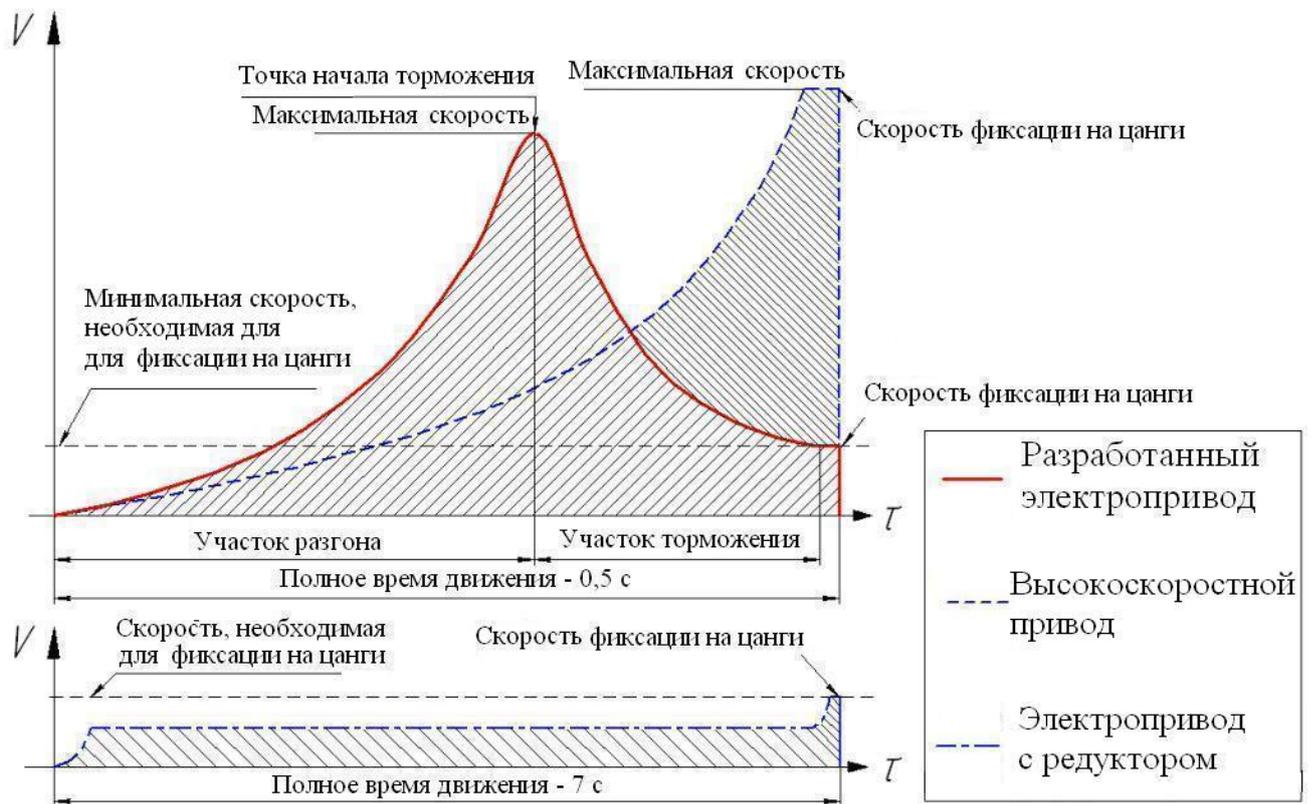


Рис.5 Законы выдвигания насадков

Кроме того, при наружном расположении пантографов, привод может выступать в качестве устройства фиксации сопла в транспортном и рабочем положении. Это делает описанный привод выдвигания многофункциональным комплексным устройством для выдвигания насадков раздвижных сопел ракетных двигателей, и позволяет избавиться от устройств фиксации, используемых в настоящее время, снизив, тем самым, массу сопла и повысив его надежность.

Также возможен вариант конструкции сопла, в которой шарнирно-рычажный механизм выдвигания с электроприводом установлен на внутренней поверхности раструба, что позволяет сбросить всю систему выдвигания после фиксации насадка в рабочем положении, уменьшая массу сопла (Рис.6).

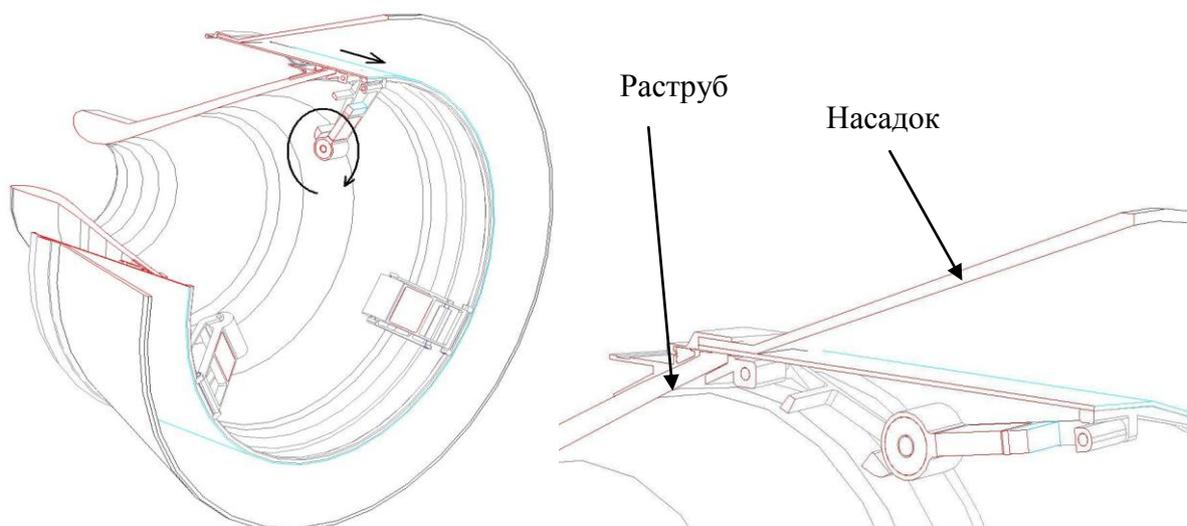


Рис.6 Выдвижение насадка с внутренним расположением пантографов и фиксация в рабочем положении

При внутреннем расположении пантографов можно применить модернизированный узел стыка насадка с раструбом. В этом случае металлические шпангоуты исключаются из конструкции сопла ввиду существенного снижения ударных нагрузок. Металлические цанги заменяются цангами из углерод-углеродного конструкционного материала (УУКМ), резиновый демпфер, обеспечивающий герметичность узла стыка, заменяется шнуром из тефорасширенного графита (ТРГ). Раструб изготавливается полностью из УУКМ. Углепластиковая тепловая защита в таком случае не является необходимостью, т.к. все замененные элементы из терлостойких материалов. Все это существенно снижает массу конструкции сопла (Рис. 7).

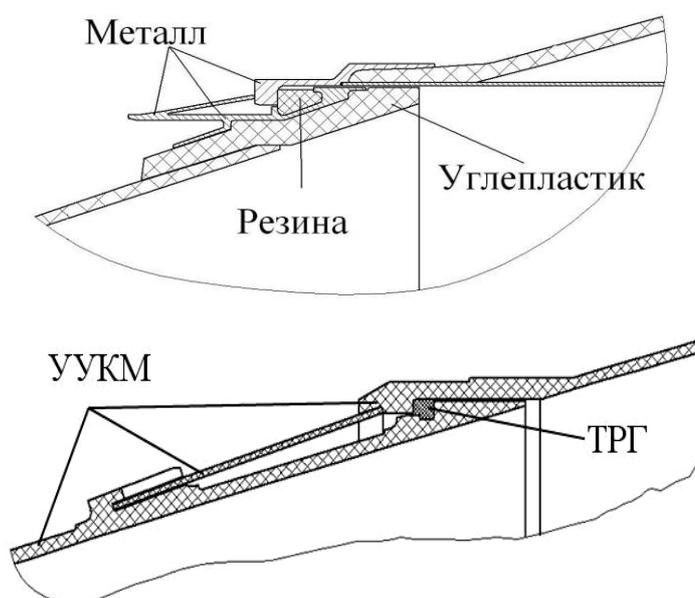


Рис.7 Узел стыка насадка и раструба

Таким образом, описанный способ выдвижения насадка с использованием управляемого электропривода позволяет существенно снизить ударные нагрузки при минимальном времени выдвижения насадка, а значит, и минимальной длительности участка неуправляемого полета ракеты. Снижение нагрузок на силовые конструктивные элементы стыка насадка и сопла позволит уменьшить их геометрические размеры и снизить, тем самым, их массу. Применение описанного привода возможно на раздвижных соплах РДТТ высотных ступеней, а также на раздвижных соплах радиационного охлаждения жидкостных ракетных двигателей любых габаритов и исполнений. Использование описанного привода открывает новые возможности применения и внедрения материалов уплотнения стыка и узла фиксации в рабочем положении, что ведет к дополнительному уменьшению массы сопла.

### **Библиографический список**

1. Фахрутдинов И.Х., Котельников А.В. «Конструкция и проектирование ракетных двигателей твердого топлива: Учебник для машиностроительных вузов» М.: Машиностроение, 1987.-328с.

2. Лавров Л.Н., Болотов А.А. В.И. Гапаненко, Думин О.С., Зиновьев П.А., Панасевич Б.Л., Поломских Н.Л., Соколовский М.И., Щербаков Ю.Н.. «Конструкции ракетных двигателей на твердом топливе» М.:Машиностроение, 1993-215с.