



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 209 333** ⁽¹³⁾ **C2**
(51) МПК⁷ **F 02 K 9/97**

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

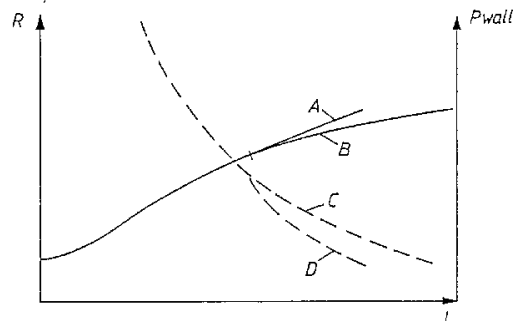
(21), (22) Заявка: 2001114577/06, 04.12.1998
(24) Дата начала действия патента: 04.12.1998
(43) Дата публикации заявки: 20.02.2003
(46) Дата публикации: 27.07.2003
(56) Ссылки: WO 98/12429 AI, 26.03.1998. WO 97/29277 AI, 14.08.1997. US 4821962 A, 18.04.1998. US 3394549 A, 30.06.1968. US 3352495 A, 14.11.1967. RU 2117814 CI, 20.08.1998. RU 2095609 CI, 10.11.1997.
(85) Дата перевода заявки РСТ на национальную фазу: 04.07.2001
(86) Заявка РСТ: SE 98/02222 (04.12.1998)
(87) Публикация РСТ: WO 00/34641 (15.06.2000)
(98) Адрес для переписки: 191186, Санкт-Петербург, а/я 230, "АРС-ПАТЕНТ", пат.пов. В.М.Рыбакову, рег. № 90

(71) Заявитель:
ВОЛЬВО АЭРО КОРПОРЕЙШН (SE)
(72) Изобретатель: ХАГАНДЕР Ян (SE), МАТТССОН Ян (SE), ОЛОФССОН Матс (SE), АНГТАРД Йон (SE)
(73) Патентообладатель:
ВОЛЬВО АЭРО КОРПОРЕЙШН (SE)
(74) Патентный поверенный:
Рыбаков Владимир Моисеевич

(54) КОНТУР РАКЕТНОГО СОПЛА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РАЗДЕЛЕНИЕМ ПОТОКА И СНИЖЕНИЯ БОКОВОЙ НАГРУЗКИ

(57) Полнопоточное ракетное сопло, профиль которого в продольном сечении соответствует параболе, в котором, начиная от точки, соответствующей коэффициенту расширения, равному 50%, параболический контур сопла в направлении от его критического сечения (горловины) преобразуется либо в строго конический профиль с углом при вершине между 15 и 25°, либо в криволинейный профиль с небольшой выгнутостью наружу, т. е. профиль, характеризующийся положительной второй производной радиуса, либо в криволинейный профиль с небольшой вогнутостью внутрь, т. е. профиль, характеризующийся отрицательной второй производной радиуса, но лежащей снаружи параболического контура. В последнем

варианте третья производная γ постоянно равна нулю. Изобретение позволит обеспечить управление разделением потока и снизить боковую нагрузку. 1 з.п. ф-лы, 4 ил., 1 табл.



ФИГ. 1



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 209 333** ⁽¹³⁾ **C2**
(51) Int. Cl.⁷ **F 02 K 9/97**

RUSSIAN AGENCY
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: 2001114577/06, 04.12.1998

(24) Effective date for property rights: 04.12.1998

(43) Application published: 20.02.2003

(46) Date of publication: 27.07.2003

(85) Commencement of national phase: 04.07.2001

(86) PCT application:
SE 98/02222 (04.12.1998)

(87) PCT publication:
WO 00/34641 (15.06.2000)

(98) Mail address:
191186, Sankt-Peterburg, a/ja 230,
"ARS-PATENT", pat.pov. V.M.Rybakovu, reg. №
90

(71) Applicant:
VOL'VO AEhRO KORPOREhJShN (SE)

(72) Inventor: KhAGGANDER Jan (SE),
MATTSSON Jan (SE), OLOFSSON Mats
(SE), ANGGARD Jon (SE)

(73) Proprietor:
VOL'VO AEhRO KORPOREhJShN (SE)

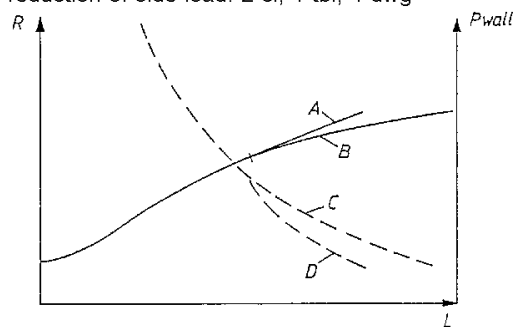
(74) Representative:
Rybakov Vladimir Moiseevich

(54) CONOUR OF ROCKET NOZZLE TO CONTROL DIVISION OF FLOW AND REDUCT SIDE LOAD

(57) Abstract:

FIELD: rocketry. SUBSTANCE: profile of fuel-flow rocket nozzle corresponds to parabola in longitudinal section in which starting from point corresponding to expansion coefficient equal to 50%, parabolic contour of nozzle in direction from its critical section (neck) is transformed either into strictly conical profile with apex angle between 15° and 25°, or into curvilinear profile with slight convexity outwards, i.e. into profile characterized by positive second derivative of radius, or into curvilinear profile with slight concavity inwards, i. e. into profile characterized by negative second derivative of radius, but lying outside parabolic

contour. According to last third version, third derivative r is equal to zero. EFFECT: provision of control of flow division and reduction of side load. 2 cl, 1 tbl, 4 dwg



ФИГ. 1

Изобретение относится к полнопоточному ракетному соплу, продольный контур которого, по существу, соответствует параболе.

Уровень техники

Функция ракетного сопла состоит в том, чтобы осуществлять расширение и ускорение газа до высокой скорости и тем самым обеспечивать эффективность тяги и грузоподъемность. Способность расширять поток газа ограничивается тем обстоятельством, что давление окружающей среды на уровне моря приводит к разделению потока. Разделенный поток генерирует нестабильные аэродинамические силы. Эти силы устанавливают предел для размеров сопла и тем самым ограничивают эффективность сопла при работе в вакууме. По теплотехническим соображениям сопла первой ступени могут работать, будучи разделенными в направлении выхода. Это означает, что если удастся снизить аэродинамические силы до приемлемого уровня, сопла могут работать в разделенном состоянии в непрерывном режиме как на уровне земли, так и при наборе высоты. Тем самым будет обеспечена возможность создания более крупных и более эффективных сопел.

Обычно контур сопла соответствует непрерывному плавному профилю, оптимизированному для минимизации ухудшения характеристик при ударных нагрузках и расхождении потока. В типичном случае контур описывается параболической функцией. До настоящего времени контуры сопел не оптимизировались для работы с разделенным потоком на уровне моря, поскольку не было известно необходимых для этого средств управления боковой нагрузкой.

Предпринимались попытки не прямых воздействий на контур сопла. Подобные предшествующие попытки включали, например, использование выходного диффузора (см. EP 626513 A1); перекидывающегося кольца; подвергающейся абляции или эжектируемой вставки; периодическое изменение радиуса (см. PCT/SE96/00176); сопла с прорезями (US 4947644); выходные эжекторные средства (EP 894031) и механизм выдвигаемой выходной части сопла (EP 924041). Устройство для управления разделением потока известно из документа US 3394549 A1.

Итак, известные сопла характеризуются ограниченным коэффициентом расширения, что ограничивает эффективность их работы. Указанная эффективность оптимизируется с учетом степени разделения потока и боковых нагрузок.

Все вышеперечисленные меры предназначены для использования в сочетании с параболическим контуром или контуром в форме колокола. Это приводит к появлению длинных и тяжелых сопел. С учетом увеличения веса чистый выигрыш оказывается весьма умеренным, причем для очень больших сопел он уменьшается еще больше. Сопло с профилем в форме колокола, оптимизированное в отношении своих рабочих показателей, характеризуется наличием у своего среза постоянного градиента давления как функции длины по оси. Однако подобная оптимизация вступает в противоречие с оптимизацией в отношении

боковых нагрузок. Вес сопла оказывает негативное влияние на вес и сложность двигателя в целом, а также на структуру ракетной тяги. Размер сопла может оказаться несовместимым с пространственными ограничениями, свойственными испытательным установкам, ракетным системам и стартовым площадкам.

Сущность изобретения

Таким образом, в соответствии с настоящим изобретением предлагается полнопоточное ракетное сопло, профиль которого в продольном сечении, по существу, соответствует параболе и которое обеспечивает устранение отмеченных недостатков, присущих известным из уровня техники полнопоточным соплам. Основная идея настоящего изобретения заключается в том, что эффективный параболический профиль сохраняется по всей длине той части сопла, давление в которой остается высоким и оказывает значительное влияние на результирующие характеристики. После этого предлагается использовать один из трех альтернативных профилей. Таким образом, основная отличительная особенность настоящего изобретения состоит в том, что, начиная от точки, соответствующей коэффициенту расширения, равному 50%, параболический контур сопла в направлении от его критического сечения (горловины) преобразуется в (1) строго конический профиль с углом при вершине между 15 и 25°, (2) криволинейный профиль с небольшой вогнутостью наружу, т.е. профиль, характеризующийся положительной второй производной радиуса r , или (3) криволинейный профиль с небольшой вогнутостью внутрь, т.е. профиль, характеризующийся отрицательной второй производной радиуса r , но лежащий снаружи параболического контура, причем в последнем варианте третья производная r постоянно равна нулю.

В соответствии с изобретением площадь нижней части сопла при переходе к модифицированному профилю возрастает быстрее. Уровень давления в данной зоне ниже, и рабочие характеристики не испытывают резкого ухудшения. Интересно также уменьшить в этой зоне градиент давления как функцию длины сопла для того, чтобы уменьшить аэроупругое сопряжение. Эта задача также решается настоящим изобретением.

В качестве предпочтительного варианта выполнения сопла по изобретению предусматривается, что в переходной зоне от параболического контура в контуре имеется скачок, выбранный в интервале от 0 до 6°. Более резкое (скачкообразное) расширение сопла на начальном участке расширения вносит дополнительный вклад в сокращение общей длины сопла.

При использовании изобретения могут быть разработаны сопла с профилями, существенно отличными от известных. Изобретение позволяет применять более крупные сопла на уровне моря, обеспечивая тем самым повышенную грузоподъемность. Далее, изобретение минимизирует длину и, следовательно, уменьшает вес сопла, а также момент боковой нагрузки, создаваемый механическими силами в сопле увеличенного размера по сравнению с соплами обычных

размеров. Изобретение обеспечивает увеличение производной давления как функции длины сопла в той зоне по оси сопла, где действуют значительные боковые нагрузки, что способствует снижению этих нагрузок. Наконец, изобретение улучшает возможность пленочного охлаждения, поскольку длина пленки сокращена по сравнению с соплами увеличенных размеров и с контуром в форме колокола.

Сама по себе оптимизация профиля может не обеспечить удовлетворения требований, определяющих возможность непрерывной работы сопел в режиме разделения потоков на уровне моря. Тем не менее, улучшаются условия для выполнения этих требований при разделении потока.

Для типичного сопла первой ступени, модифицированного с целью использования преимуществ разделенного потока, примерная структура выигрыша может в принципе быть проиллюстрирована приводимой далее таблицей. Таблица охватывает три предлагаемых контура. Сравнение проводится для сопла первой ступени, модифицированного для получения коэффициента площади на выходе, равного 170%. Все вклады в рабочие характеристики были пересчитаны для конкретного импульса с использованием приближенных коэффициентов, соответствующих ракете Vulcain 5.

Удельный импульс I_{sp} (удельная тяга) на уровне моря возрастает благодаря тому, что давление в разделенной зоне возрастает в связи с расширением зоны рециркуляции. Возрастание удельного импульса на уровне моря может быть пересчитано в небольшое увеличение I_{sp} в вакууме.

Площадь смачивания поверхности сопла сокращается. В результате уменьшаются потери на трение, что даст положительный вклад в I_{sp} в вакууме.

В результате уменьшения длины сопла уменьшится и вес двигателя. Уменьшение веса может быть пересчитано в прирост I_{sp} в вакууме.

Снижение стоимости двигателя также может быть пересчитано в прирост I_{sp} в вакууме.

При этом можно допустить наличие негативного вклада в I_{sp} в вакууме (из-за потерь вследствие расходимости) в пределах суммы положительных вкладов, т. е. при сохранении показателей затраты-эффективность, с точки зрения рабочих характеристик, для ракеты по сравнению с идеальным контуром.

Согласно изобретению плечо момента боковой нагрузки сокращается на величину порядка 20%. Можно ожидать, что боковая нагрузка изменится примерно на эту величину. Боковая нагрузка уменьшится также вследствие положительного эффекта от увеличения градиента аксиального давления на выходе.

Все предлагаемые профили обеспечивают более быстрое расширение газа с меньшим восстановлением давления на выходе из сопла. Это означает, что тепловая нагрузка снижается. Данное обстоятельство может стать очень важным при оснащении существующих сопел модифицирующими комплектами.

Перечень фигур чертежей

Далее настоящее изобретение будет более подробно описано со ссылками на прилагаемые чертежи.

Фиг. 1 схематично иллюстрирует усеченное сопло в форме колокола с добавленной к нему конической частью.

Фиг. 2 схематично иллюстрирует усеченное сопло в форме колокола с добавленной к нему частью, для которой вторая производная радиуса по длине положительна.

Фиг. 3 схематично иллюстрирует усеченное сопло в форме колокола с добавленной к нему частью, для которой вторая производная радиуса по длине отрицательна, но третья производная радиуса постоянна и равна нулю.

На фиг.4 представлены результаты сравнения известных профилей и профилей по изобретению.

Сведения, подтверждающие возможность осуществления изобретения

На фиг.1-3 через А обозначен модифицированный профиль сопла; В - это базовый радиус; С - базовое давление; D - модифицированное давление.

Обычная практика состоит в выборе параболического профиля ракетного сопла с использованием профилей, имеющих отрицательную вторую производную радиуса по длине. В отличие от профилей этого типа, коническое сопло представляет собой специальный случай с постоянной производной. В связи с этим обсуждение конического профиля вполне уместно в рамках данной заявки. Потери в I_{sp} могут быть меньше, поскольку появляется возможность дольше сохранять эффективный колоколообразный профиль и тем не менее обеспечить желаемое соотношение для выходной зоны.

Аналогичным образом, как это показано на фиг.3, профиль выбирается таким образом, чтобы вторая производная радиуса по длине была отрицательна, но третья производная радиуса (эквивалентная второй производной угла между касательной к контуру сопла и его продольной осью) была постоянна и равна нулю.

На фиг.4 профили, приведенные на фиг.1-3, представлены на едином графике, чтобы облегчить их сравнение.

Для обеспечения сокращения длины сопла по изобретению в некоторых вариантах его выполнения целесообразно предусмотреть также более быстрое расширение сопла в переходной зоне от параболического контура, т.е. скачок на профиле, выбранный в интервале от 0 до 6°.

Формула изобретения:

1. Полнопоточное ракетное сопло, профиль которого в продольном сечении, по существу, соответствует параболе, отличающееся тем, что, начиная от точки, соответствующей коэффициенту расширения, равному 50%, параболический контур сопла в направлении от его критического сечения (горловины) преобразуется в (1) строго конический профиль с углом при вершине между 15 и 25°, (2) криволинейный профиль с небольшой выгнутостью наружу, т.е. профиль, характеризующийся положительной второй производной радиуса r , или (3) криволинейный профиль с небольшой вогнутостью внутрь, т.е. профиль,

характеризующийся отрицательной второй производной радиуса r , но лежащей снаружи параболического контура, причем в последнем варианте третья производная r постоянно равна нулю.

2. Полнопоточное ракетное сопло по п.1, отличающееся тем, что в переходной зоне от параболического контура в контуре предусмотрен скачок, выбранный в интервале от 0 до 6° .

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

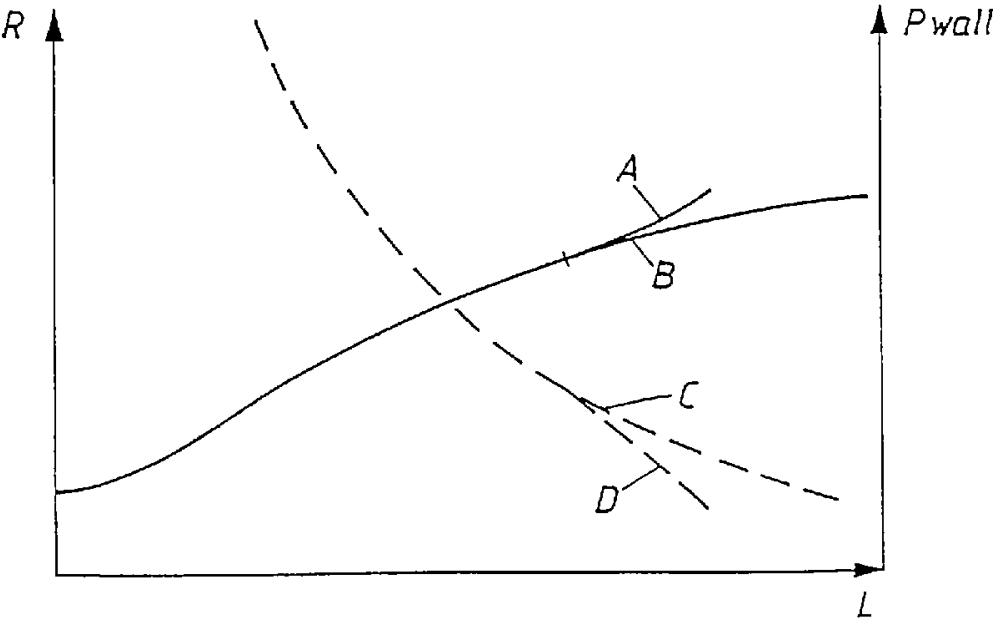
55

60

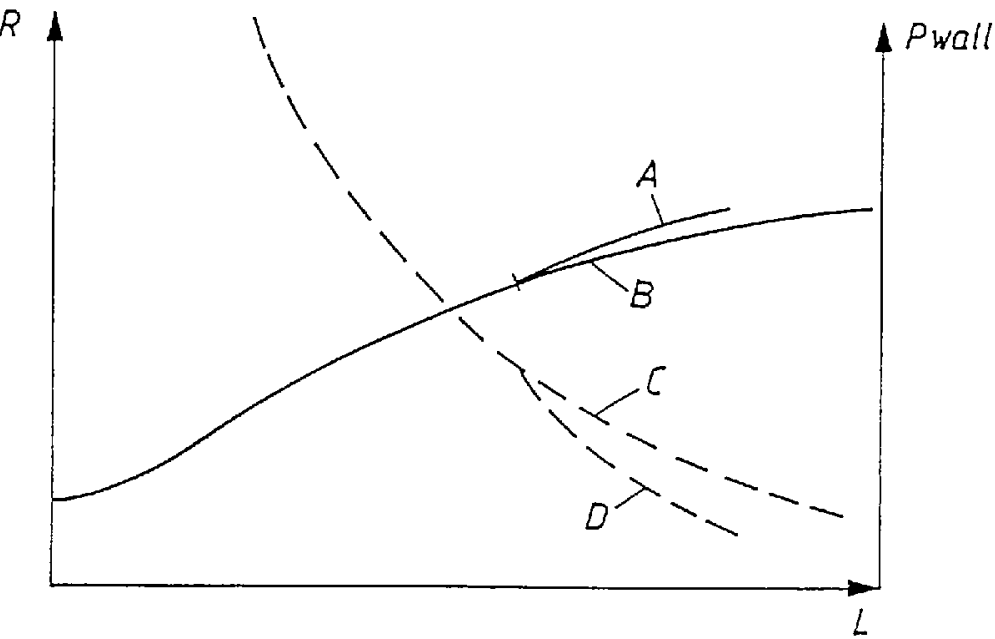
RU 2209333 C2

RU ?209333 C2

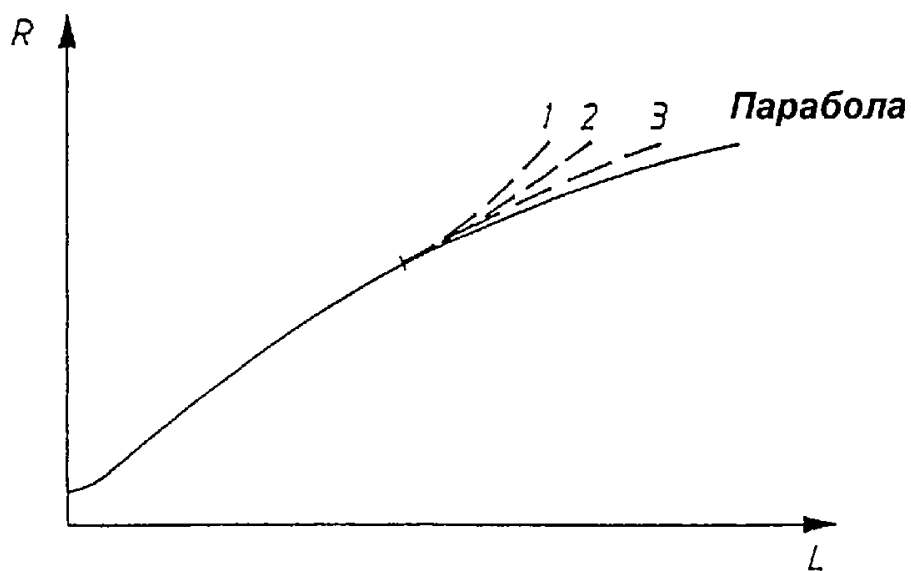
ΔI_{sp} на уровне моря	положительный
ΔI_{sp} вследствие сокращения трения	положительный
ΔI_{sp} вследствие сокращения веса	положительный
ΔI_{sp} вследствие сокращения стоимости	положительный



ФИГ. 2



ФИГ. 3



ФИГ. 4