

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Сидху Джуниор Саржит Сингх «Волновое сопротивление каналов сложных форм с ромбической рельефной структурой поверхности», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Диссертация Сидху Джуниор Саржит Сингх посвящена актуальной и практически важной задаче - разработке метода расчета коэффициентов волнового сопротивления, возникающего при сверхзвуковых течениях газового потока в сопловых насадках с рельефными стенками.

Течения данного типа встречаются на практике, когда ракетный двигатель, имеющий реактивное сопло, оснащают высотным насадком из композитного материала. При работе такого соплового насадка может происходить либо унос материала стенок, либо его пластическая деформация, в результате чего на стенках высотного насадка образуется рельеф с выступами и впадинами.

При сверхзвуковом обтекании газовым потоком поверхности с ромбическим рельефом возникают помимо других потерь ещё и потери из-за возникновения волнового сопротивления. Имеющиеся в настоящее время расчетные данные по волновому сопротивлению рельефных стенок были получены, как правило, с помощью методов, в которых рассматривали бесконечные стенки, не имеющие передних кромок, а также не учитывали многократное отражение волн возмущений от стенок каналов. На основании этого автор сделал вывод об актуальности разработки нового метода расчета волнового сопротивления рельефных стенок, в котором должны учитываться оба вышеуказанных эффекта.

Предложенный автором новый метод имеет ту же самую теоретическую основу, что и другие известные методы: – это, во-первых, исходная система линеаризованных уравнений газовой динамики и, во-вторых, линеаризованное граничное условие на рельефной стенке. А отличаются они постановкой краевых задач, которые необходимо решить, чтобы найти поле возмущений давления на стенке, по которым определяют ее волновое сопротивление.

Наиболее известный метод, можно назвать традиционным. В нем решали краевую задачу для поля возмущений давления, предложенную Блохинцевым и состоящую из дифференциального уравнения второго порядка и граничного условия, заданного на рельефной стенке.

С помощью традиционного метода были получены многие аналитические формулы для коэффициентов волнового сопротивления бесконечных пластин с периодическими и синусоидальными рельефами их поверхности. Рельефы пластин при этом не были произвольными. Их задавали в виде суперпозиции более простых рельефов, для которых частное решение задачи Блохинцева находили методом разделения переменных. Затем поле возмущений давления находили в виде суммы частных решений краевой задачи Блохинцева.

Очевидно, что вышеописанную версию традиционного метода нельзя применять в тех случаях, когда стенка имеет либо произвольный рельеф, либо переднюю кромку, либо и то и другое.

Диссертантом в рамках линейной теории математически точно решена задача сверхзвукового обтекания газовым потоком стенки соплового насадка, у которой ромбический рельеф её обтекаемой поверхности задан в виде суммы двух плоских синусоидальных волн, что представляет собой новизну работы.

Главное преимущество метода, предложенного автором, – это отсутствие в нем вышеуказанных недостатков и ограничений. Поэтому его можно применять для расчетов сверхзвуковых течений в каналах с любыми рельефными стенками, допустимыми в рамках линейного приближения.

Преимущество нового метода проявилось ещё и в том, что с его помощью автор обнаружил ранее не известное явление, а именно, - резонанс волнового сопротивления сопловых насадков, возникающих при некоторых углах ромба.

Практическая ценность диссертационной работы заключается в том, что автор предложил учитывать волновое сопротивление при проектировании сопловых насадков для ракетных двигателей.

В целом диссертационная работа Сидху Джуниор Саржит Сингх выполнена



на высоком научном уровне. Она является законченной научно-исследовательской работой, содержащей новое решение важной научно-технической задачи.

На основании вышеизложенного считаю, что диссертация соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор - Сидху Джуниор Саржит Сингх заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 - «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Старший научный сотрудник,  
к.ф.-м.н., доцент



И.В. Попов

Почтовый адрес: 125047, Москва, Миусская пл., д.4,  
ИПМ им. М.В.Келдыша РАН  
Контактный телефон: +7 499 978-13-14  
факс: +7 499 972-07-37  
Адрес электронной почты: [office@keldysh.ru](mailto:office@keldysh.ru)

Подпись Попова Игоря Викторовича удостоверяю:

Ученый секретарь  
ИПМ им. М.В.Келдыша РАН  
к.ф.-м.н.



Маслов А.И.