

УТВЕРЖДАЮ

Директор ФГБУН Института
теоретической и прикладной механики

им.

доктс

чл.-корр. РАН

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук.

Диссертация «Изменение сил на поверхности осесимметричного тела конечного размера в сверхзвуковом потоке при выдуве поперечной газовой струи» выполнена в лаборатории №5 «Гиперзвуковых технологий» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук.

В период подготовки диссертации соискатель Кисловский Валентин Алексеевич работал в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук, в лаборатории №5 «Гиперзвуковых технологий», в должности старшего лаборанта с высшим профессиональным образованием и младшего научного сотрудника.

В 2014 г. окончил факультет элитного образования и магистратуры Омского государственного технического университета по направлению «Ракетные комплексы и космонавтика». В 2018 окончил аспирантуру в Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук по направлению 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы.

Справка о сдаче кандидатских экзаменов №781 от 18.02.2021 г. выдана Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук.

Научный руководитель: Звегинцев Валерий Иванович, доктор технических наук, главный научный сотрудник лаборатории №5 «Гиперзвуковых технологий» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института

теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

1. Диссертация посвящена

Исследованию изменения сил на поверхности осесимметричного тела конечного размера в сверхзвуковом потоке при выдуве поперечной газовой струи

2. Актуальность темы.

Исследование связано с газоструйными (газодинамическими) системами управления. Такой способ управления имеет несколько преимуществ по сравнению с более распространенными на данный момент времени способами управления с использованием отклоняемых аэродинамических поверхностей. К преимуществам относят: эффективную работу системы управления при любых условиях внешней среды; быстроедействие; широкие возможности энергетического контроля; слабая восприимчивость к пространственному положению; отсутствие органов управления в потоке. Недостатками газоструйной системы управления являются ограниченная продолжительность работы и сложность картины течения при взаимодействии набегающего потока со струей.

Перестройка течения в результате взаимодействия набегающего сверхзвукового потока с выдуваемой струей, приводит к перераспределению давления по всей поверхности ЛА. Сила, образующаяся в результате перераспределения давления, может, как совпадать по направлению действия с реактивной тягой выдуваемой струи, так и противодействовать ей. Этот фактор оказывает значительное влияние на управляющее воздействие в целом.

Лучшее понимание условий, влияющих на изменение аэродинамических характеристик ЛА в случае выдува реактивной струи, может быть основой для создания эффективных систем управления, базирующихся на газоструйном воздействии.

3. Научная новизна работы.

Проведено параметрическое исследование величины силы, формирующейся в результате перераспределения давления по поверхности обтекаемого осесимметричного тела конечных размеров, вследствие взаимодействия набегающего сверхзвукового потока с выдуваемой струей и получены новые зависимости этой силы от соотношения параметров набегающего потока и струи, размера и положения отверстия выдува и т.д.

Показано, что перераспределение давления на поверхности, в результате выдува поперечной струи, приводит к существенному изменению моментных характеристик осесимметричного сверхзвукового ЛА.

Показано, что выдув поперечной струи приводит к изменению аэродинамических характеристик хвостового стабилизатора.

Впервые исследована динамика полета ЛА осесимметричной конфигурации с учетом управляющего воздействия поперечной газовой струи и перераспределения давления по поверхности ЛА.

4. Достоверность результатов обеспечена использованием в работе традиционных для аэродинамического эксперимента надёжных и достоверных методов измерения сил, давлений и температур. Расчетные методики верифицированы путем сравнения с известными результатами других авторов. Результаты численного моделирования верифицированы путем сравнения с результатами экспериментов.

5. Научная и практическая значимость работы заключается в уточнении влияния выдува поперечной газовой струи на аэродинамические характеристики сверхзвукового ЛА осесимметричной конфигурации в целом и на его элементы в частности, а также в том, что полученные результаты могут быть использованы для создания или улучшения систем корректировки траектории полета, основанных на газоструйном воздействии.

6. Личный вклад автора.

Все основные результаты работы получены самим автором. При выполнении работ по теме диссертации, опубликованных совместно с научным руководителем и другими соавторами, диссертант самостоятельно проводил исследования путем численного моделирования, а также осуществлял подготовку и проведение экспериментальной части исследований. Автором была предложена методика расчета трехмерного возмущенного движения ЛА и создана программа на ее основе. С использованием созданной программы выполнен анализ возможностей воздействия поперечной газовой струи на динамику возмущенного движения ЛА осесимметричной конфигурации. Основные результаты проведенных исследований опубликованы в рецензируемых журналах. Результаты работы были доложены автором на конференциях, в том числе международных.

7. Автором представляется к защите:

Результат исследования влияния степени нерасчетности струи выдуваемой с поверхности обтекаемого сверхзвуковым потоком осесимметричного тела конечной формы на величину поперечной силы, образующейся вследствие перераспределения давления по поверхности обтекаемого тела при взаимодействии потока со струей, показывающий возможность линейного изменения поперечной силы в 8 раз при изменении степени нерасчетности от $n = 200$ до $n = 3200$.

Результат исследования влияния скорости набегающего потока или скорости истечения выдуваемой струи в диапазоне $M = 1 - 6$, показывающий изменение интенсивности зоны повышенного давления перед струей. Результат исследования, показывающий наличие кривизны поверхности осесимметричного тела уменьшает поперечную силу по сравнению с плоской пластиной. Увеличение диаметра струи увеличивает эффект кривизны поверхности. Установлен диапазон отношения диаметров отверстия и модели (0,18 – 0,30), в котором поперечная сила не меняется.

Результат исследования, показывающий, что смещение отверстия выдува по длине ЛА меняет величину поперечной силы до 120 % от импульса выдуваемой струи с изменением управляющего момента до 100%.

Результат исследования, показывающий, что выдуваемая струя изменяет усилия, действующие на отдельные консоли хвостового стабилизатора, в результате чего меняется моментная характеристика ЛА (до 33% в рассмотренном случае).

Создана методика и программа для расчета трехмерного возмущенного движения ЛА. С помощью программы выполнен анализ возможностей воздействий поперечной газовой струи на динамику возмущенного движения ЛА осесимметричной конфигурации. Показано, что наличие перераспределения давления при выдуве струи в работе газодинамической системы управления может приводить к существенному изменению конечной точки траектории полета на 8-39 м (на 10% - 13%).

8. Апробация работы.

Основные результаты диссертационной работы докладывались на семинаре «Теоретическая и прикладная механика» ИТПМ СО РАН, а также на многочисленных российских и международных научных конференциях: ISMAR'2016 (Пермь, 2016), ISMAR'2018 (Новосибирск, 2018), на Международной конференции НЕРСМ (Новосибирск, 2017 и 2019), на Всероссийской молодежной конференции «Проблемы механики: теория, эксперимент и новые технологии» (Новосибирск-Шерегеш, 2017, 2018, 2019), на Всероссийской конференции ФППСМ-2016 (Томск, 2016), на Всероссийской молодежной конференции «Актуальные проблемы современной механики сплошных сред и небесной механики» (Томск, 2017), на Всероссийской конференции «Наука и технологии» (Миасс, 2018), на Всероссийском съезде по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики (Уфа, 2019).

9. Публикации.

По теме диссертации опубликовано 14 работ, в том числе 3 в научных изданиях, рекомендованных ВАК. Получено 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ:

1. Кисловский В.А., Звегинцев В.И. Численное моделирование влияния выдува газовой струи на аэродинамические характеристики летательного аппарата осесимметричной конфигурации с хвостовым стабилизатором// Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. 2018. №52. – С. 39-47.
2. Кисловский В.А., Звегинцев В.И. Численное моделирование распределения давления на поверхности осесимметричного тела при взаимодействии сверхзвукового набегающего потока с поперечно выдуваемой газовой струей // Теплофизика и аэромеханика, 2019, том 26, № 1, С. 19 – 26.
3. Кисловский В.А., Звегинцев В.И. Исследование динамики полета летательного аппарата осесимметричной конфигурации с выдувом боковой поперечной струи // Теплофизика и аэромеханика, 2020, том 27, № 1. – С. 63 – 72.
4. Кисловский В.А., Звегинцев В.И., Певзнер А.С. Программа «Динамика управляемого полета (ДУП)» - регистрация интеллектуальной собственности ФИПС (Свидетельство № 2020663385).
5. Кисловский В.А., Звегинцев В.И. Газодинамические особенности при управлении движением тела осесимметричной конфигурации в сверхзвуковом потоке с помощью выдува поперечной струи // Наука и техника. Том 1. Материалы XXXVIII Всероссийской конференции, посвященной 75-летию Южно-Уральского государственного университета. – М.: РАН, 2018. – С. 137 – 147.
6. Kislovskiy V.A., Zvegintsev V.I. The change in pressure on the surface of an axisymmetric body during the interaction of a supersonic free stream with a transversely blown gas jet // AIP Conference Proceedings: High-Energy Processes in Condensed Matter (HEPCM-2019): Proceedings of the XXVI Conference on High-Energy Processes in Condensed Matter, dedicated to the 150th anniversary of the birth of S.A. Chaplygin (Novosibirsk, 3–5 Apr. 2019). –S.l.: AIP Publishing, 2019. –Vol. 2125 No. 030016(5). DOI: 10.1063/1.5117398.

7. Kislovskiy V.A., Zvegintsev V.I. Investigation of the influence of pressure redistribution arising out of the cross flow jet to the aerodynamic characteristics of the axisymmetric supersonic vehicle // AIP Conference Proceedings: XIX International Conference on the Methods of Aerophysical Research (ICMAR 2018) (Novosibirsk, Russia, 13–19 Aug., 2018). –S.l.: AIP Publishing, 2018. –Vol. 2027 No. 1. –P. 040016(9). DOI: 10.1063/1.5065290
8. Кисловский В.А., Звегинцев В.И. Параметрическое исследование поперечно выдуваемой реактивной газовой струи для управления движением сверхзвукового осесимметричного летательного аппарата // Актуальные проблемы современной механики сплошных сред и небесной механики: VII Всероссийская молодежная научная конференция, посвященная 55-летию физико-технического факультета Томского государственного университета (Томск, 27-29 ноября 2017 г.). – Томск: 2018. – С. 185-188.
9. Kislovskiy V.A., Zvegintsev V.I. Redistribution of pressure along the surface of axisymmetric vehicle as a result of transverse gas jet blowing // Proceedings of the XXV Conference on High-Energy Processes in Condensed Matter (HEPCM 2017): Dedicated to the 60th anniversary of the Khristianovich Institute of Theoretical and Applied Mechanics SB RAS (Russia, Novosibirsk, 5–9 Jun., 2017): AIP Conference Proceedings. –S.l.: AIP Publishing, 2017. –Vol. 1893 No. 1. –P. 030028. DOI: 10.1063/1.5007486
10. Kislovsky V.A., Zvegintsev V.I. Study of changes in the aerodynamic characteristics of the axisymmetric supersonic vehicle in case of gas blowing from the lateral surface // 18th International Conference on the Methods of Aerophysical Research (ICMAR 2016) (Russia, Perm, 27 Jun.-3 Jul., 2016) : AIP Conference Proceedings. –S.l.: 2016. –Vol. 1770. –P. 030013. DOI: 10.1063/1.4963955
11. Кисловский В.А., Звегинцев В.И. Аэродинамические характеристики осесимметричного летательного аппарата в сверхзвуковом потоке при наличии поперечной газовой струи // Фундаментальные и прикладные проблемы современной механики (ФППСМ-2016): сборник трудов IX Всероссийской научной конференции, посвященной 55-летию полета Ю. А. Гагарина (Томск, 21-25 сент. 2016 г.). –Томск: 2016. – С. 325-327.
12. Кисловский В.А. Исследование образования зон давления на поверхности осесимметричного тела в результате взаимодействия сверхзвукового набегающего потока с поперечно выдуваемой газовой струей // Проблемы механики: теория, эксперимент и новые технологии: тезисы

докладов XIII Всероссийской конференции молодых ученых (Новосибирск - Шерегеш, 15 - 22 марта 2019 г.). – Новосибирск: 2019. – С. 78-79.

13. Кисловский В.А., Звегинцев В.И. Динамика полета осесимметричного летательного аппарата с выдувом поперечной газовой струи // XII Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики (Уфа, 19-24 авг. 2019 г.) : аннот. докл. –Уфа: РИЦ БашГУ, 2019. – С. 100.

14. Кисловский В.А. Исследование влияния выдува продуктов горения твердого топлива на аэродинамические характеристики летательного аппарата осесимметричной конфигурации // Проблемы механики: теория, эксперимент и новые технологии: тезисы докладов XII Всероссийской конференции молодых ученых (Новосибирск - Шерегеш, 16 - 22 марта 2018 г.) / под ред. В.В. Козлова. –Новосибирск: 2018. – С. 81-82.

15. Кисловский В.А. Определяющие параметры выдуваемой с боковой поверхности осесимметричного летательного аппарата струи, предназначенной для формирования аэродинамических сил // Проблемы механики: теория, эксперимент и новые технологии: тезисы докладов XI Всероссийской конференции молодых ученых (Новосибирск-Шерегеш, 20 - 23 марта 2017 г.) / под ред. В.В. Козлова. – Новосибирск: Параллель, 2017. – С. 59-60.

Учитывая вышеизложенное, постановили:

Диссертация Кисловского Валентина Алексеевича «Исследование сил на поверхности осесимметричного тела в сверхзвуковом потоке при выдуве поперечной газовой струи» удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Диссертация является законченной научной работой, содержащей новые результаты по актуальной теме. Опубликованные по теме диссертации научные работы отражают ее содержание.

Диссертация Кисловского Валентина Алексеевича «Исследование сил на поверхности осесимметричного тела в сверхзвуковом потоке при выдуве поперечной газовой струи» рекомендуется к защите на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы.

Заключение принято на заседании семинара «Теоретическая и прикладная механика» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института

теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского
отделения Российской академии наук.

На заседании присутствовали: чл.-корр. РАН Шиплюк А.Н., академик РАН
Фомин В.М., д.ф.-м.н. Гапонов С.А., д.ф.-м.н. Козлов В.В., д.ф.-м.н. Косинов А.Д.,
д.т.н. Запрягаев В.И., д.ф.-м.н. Катасонов М.М., д.ф.-м.н. Киселев С.П., д.ф.-м.н.
Бойко В.М., д.т.н. Третьяков П.К., д.ф.-м.н. Литвиненко М.В., д.т.н. Звезгинцев В.И.,
д.ф.-м.н. Лебига В.А., д.т.н. Занин Б.Ю., д.ф.-м.н. Яковенко С.Н., д.ф.-м.н. Федорова
Н.Н., д.ф.-м.н. Корнилов В.И., д.ф.-м.н. Кудрявцев А.Н., д.ф.-м.н. Зудов В.Н., к.ф.-м.н.
Болеста А.В., к.ф.-м.н. Маликов А.Г., к.ф.-м.н. Голышев А.А., к.ф.-м.н. Хотяновский
Д.В., к.ф.-м.н. Бедарев И.А., к.ф.-м.н. Краус Е.И., к.ф.-м.н. Павленко А.М., к.ф.-м.н.
Наливайченко Д.Г., к.ф.-м.н. Гимон Т.А., к.ф.-м.н. Внучков Д.А., и другие, всего 35
сотрудников с учёной степенью. Результаты голосования: "за" – 33 чел., "против" – 2
чел., "воздержалось" – 0 чел.

12 февраля 2021 г.

Председатель семинара

Академик РАН

Секретарь семинара

к.ф.-м.н.

В.М. Фомин

Е.И. Головнева

2021