

Организация нескольких каналов статического давления от одного ПВД

1.Общее состояние вопроса

Организация нескольких каналов статического давления от одного приемника воздушного давления – известное техническое решение [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9].

Преимущества многоканальности приемников статического давления:

- 1.Обеспечение резервирования каналов статического давления, что повышает надежность функционирования систем измерения высотно-скоростных параметров летательных аппаратов.
- 2.Уменьшение общего количества приемников на борту, что сокращает общее число выступающих за фюзеляж зондов, снижает мощность, потребляемую системами обогрева приемников.
- 3.Исключение взаимного влияния приборов и групп приборов по магистралям статического давления.
- 4.Обеспечение разных аэродинамически компенсированных линий статического давления для разных потребителей.

Исследованию многоканальности приемников статического давления с наружной профилированной поверхностью посвящен ряд работ, например, [10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17].

Схематично многоканальный приемник статического давления можно представить в виде, рис.1



Рис.1 Схематичное представление приемника с тремя каналами восприятия статического давления набегающего воздушного потока

Представленный на рис.1 пример соответствует приемнику статического давления с тремя каналами статического давления. То есть к такому устройству можно подключить три линии (магистрали) статического давления. Коэффициенты давлений $R_{ст1}$, $R_{ст2}$ и $R_{ст3}$ могут быть как одинаковыми, так и различными [17, 18, 19]. При этом приемник

может иметь либо внутреннюю, либо наружную профилированную обтекаемые поверхности.

Чаще всего это используется для аэродинамической компенсации [20], рис.2.

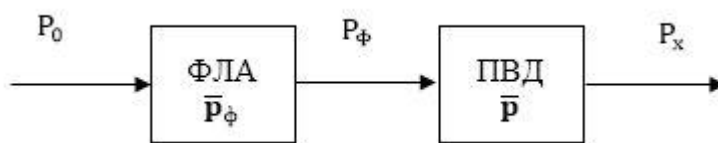


Рис.2. Схема преобразования статического давления на борту ЛА

В этом случае коэффициенты давлений должны быть отличны от нуля. С другой стороны, возможно, что только одно из трех или два из трех давлений будут являться скомпенсированными, тогда коэффициент давления оставшегося не скомпенсированным канала будет иметь нулевое или около нулевого значение [21].

В приемниках статического давления проточного типа, рис.3, производится отбор только одного давления, хотя о возможной многоканальности таких приемников говорится в [18, 20, 22].

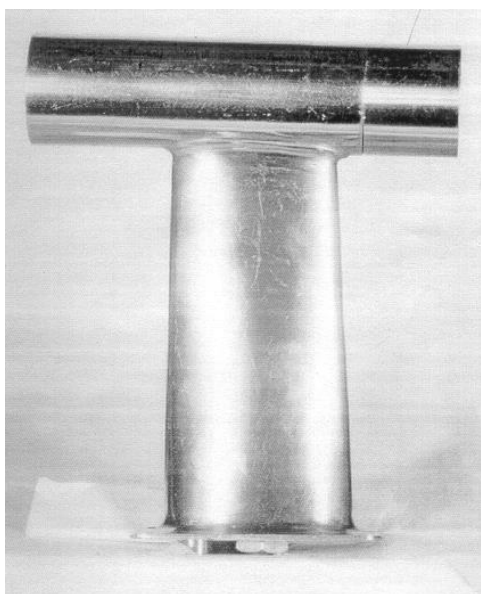


Рис.3. Проточный приемник статического давления

В настоящее время многоканальными являются, в основном, приемники с наружной профилированной обтекаемой поверхностью, рис.4.



Рис.4. Приемник воздушных давлений с наружной обтекаемой поверхностью

На рис. 4 показан приемник ПВД-18 (одна из его модификаций). Приемник воспринимает полное и три статических давления. Однако, он не позиционируется как многоканальный приемник, так как от него в один и тот же момент времени отводится только одно статическое давление, а соответствующий канал выбирается в зависимости от скорости набегающего воздушного потока.

На рис.5 представлен цилиндрический приемник, предназначенный для установки на вертолете, и обеспечивающий восприятие только одного давления.



Рис.5. Гладкий цилиндрический приемник воздушных давлений без аэродинамической компенсации

Приемник, показанный на рис.5, не имеет аэродинамической компенсации, хотя она, в принципе возможна, за счет установки дополнительного внешнего кольца, расположенного за приемными отверстиями.

В работах [6, 13, 18] приводятся исследования макета приемника статического давления с двумя контурами компенсации аэродинамической погрешности, рис.6.

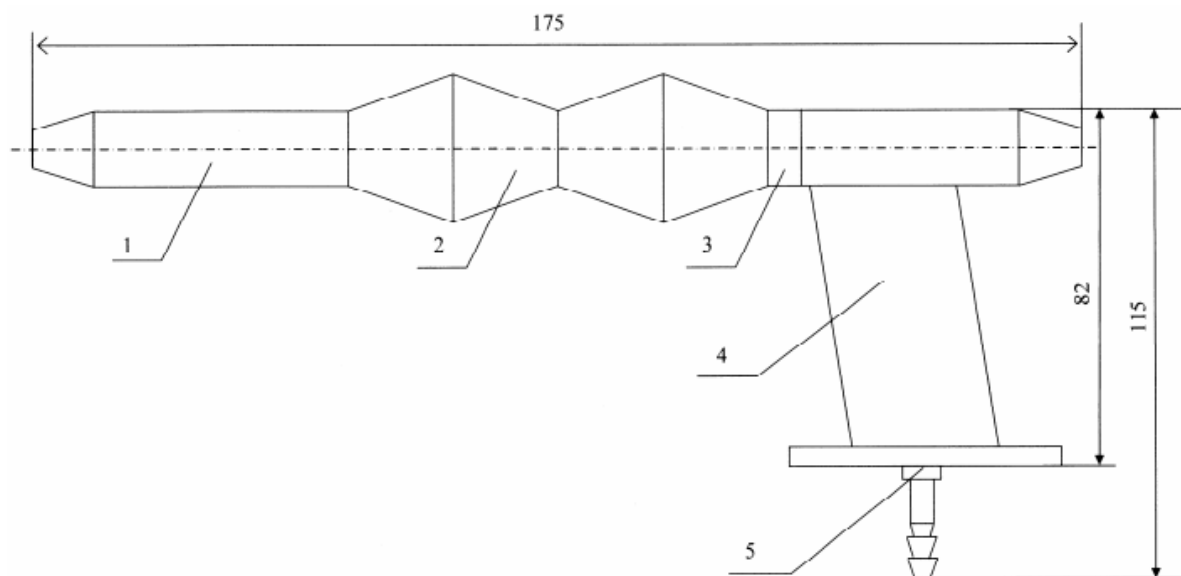


Рис.6. Макет приемника с двумя контурами компенсации аэродинамической погрешности: 1 – входной цилиндрической участок; 2 – профилированный участок; 3 – контрольная гайка; 4 – крепежный кронштейн; 5 – штуцер отбора «статики»

Данные исследований такого приемника показывают, что от него можно отбирать четыре статических давления с одинаковыми коэффициентами и еще несколько давлений с коэффициентами, отличными от нуля.

2.Обеспечение многоканальности в проточных приемниках статического давления

Схема проточного приемника показана на рис.7

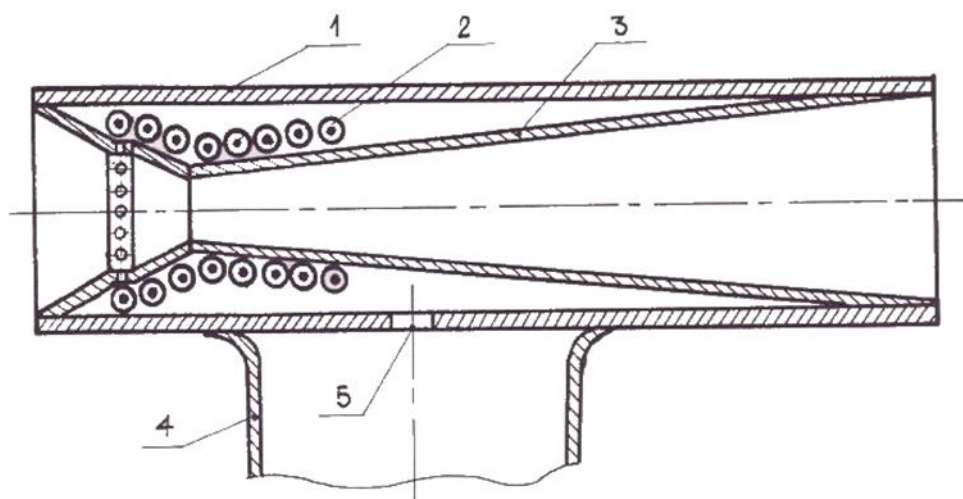


Рис.7. Схема проточного приемника статического давления

Приемник состоит из цилиндрического кожуха 1, внутри которого расположен электрический нагреватель 2 и внутренний профилированный вкладыш 3, который оказывает геометрическое воздействие на воздушный поток внутри приемника.

Статическое давление через приемные отверстия попадает во внутреннюю полость приемника и затем в полый крепежный кронштейн 4 через отверстие 5.

Как видно из рис.7, приемник два конфузорных и диффузорный участок. Если отбирать давление из разных сечений приемника, то его коэффициент давления будет иметь разные значения (обычно в диапазоне от +0,7 до -6,0). Например, в [4] показано распределение статического давления по длине диффузора, рис.8 для приемника, рис.9.

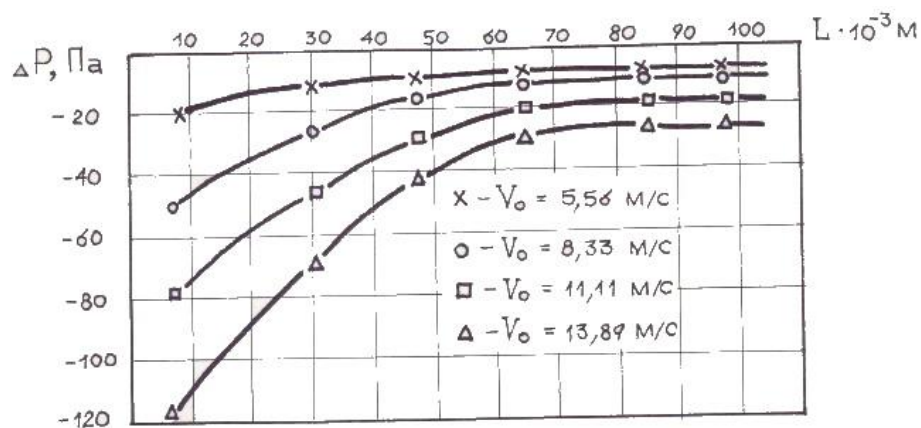


Рис.8. Распределение разности давлений потока и отбираемого из приемника по длине диффузора для приемника, рис.9

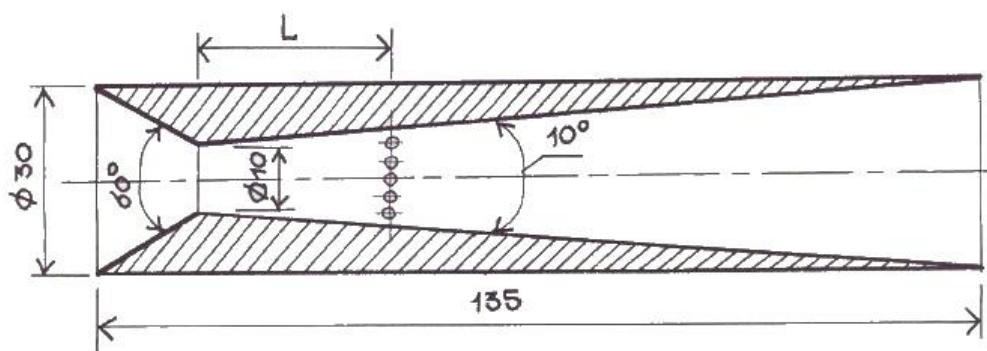


Рис.9. Геометрические параметры приемника, для которого определялось распределение статического давления по длине диффузора

Как видно из рис. 8, меняя диаметр сечения отбора давления в диффузоре можно получить разные значения коэффициента давления.

Возможности по обеспечению многоканальности проточных приемников исследовались в [23]. Ниже приводятся данные для приемника, рис. 10, с геометрическими параметрами, табл. 1.

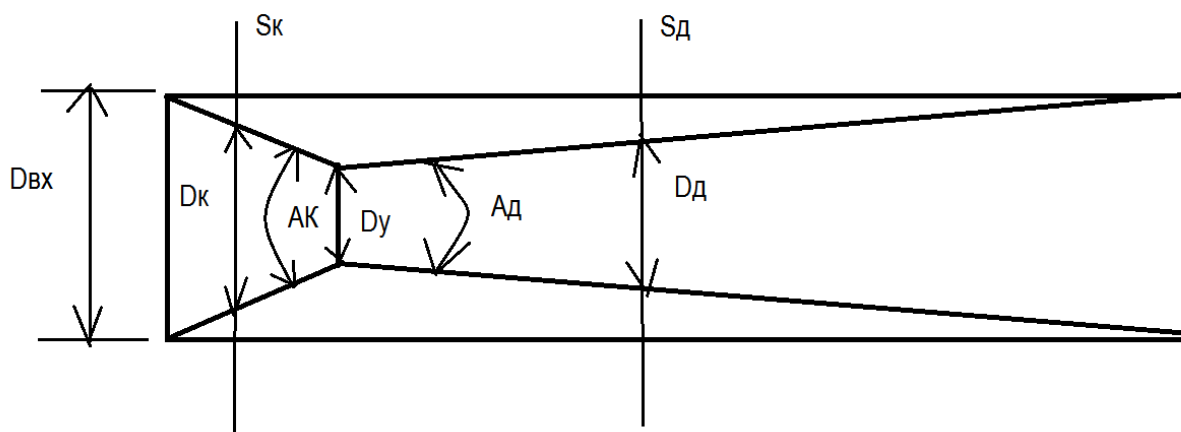


Рис.10. Приемник, исследуемый в [23]

Таблица 1

Геометрические параметры моделируемых приемников

№ приемника	$D_{вх}$, мм	$D_{у}$, мм	$\alpha_{к}$, °	$\alpha_{д}$, °
1	30	13,5	60	60
2	30	19	12	12

Скоростные характеристики приемников при отборе статического давления из конфузора показаны на рис.11 и 12.

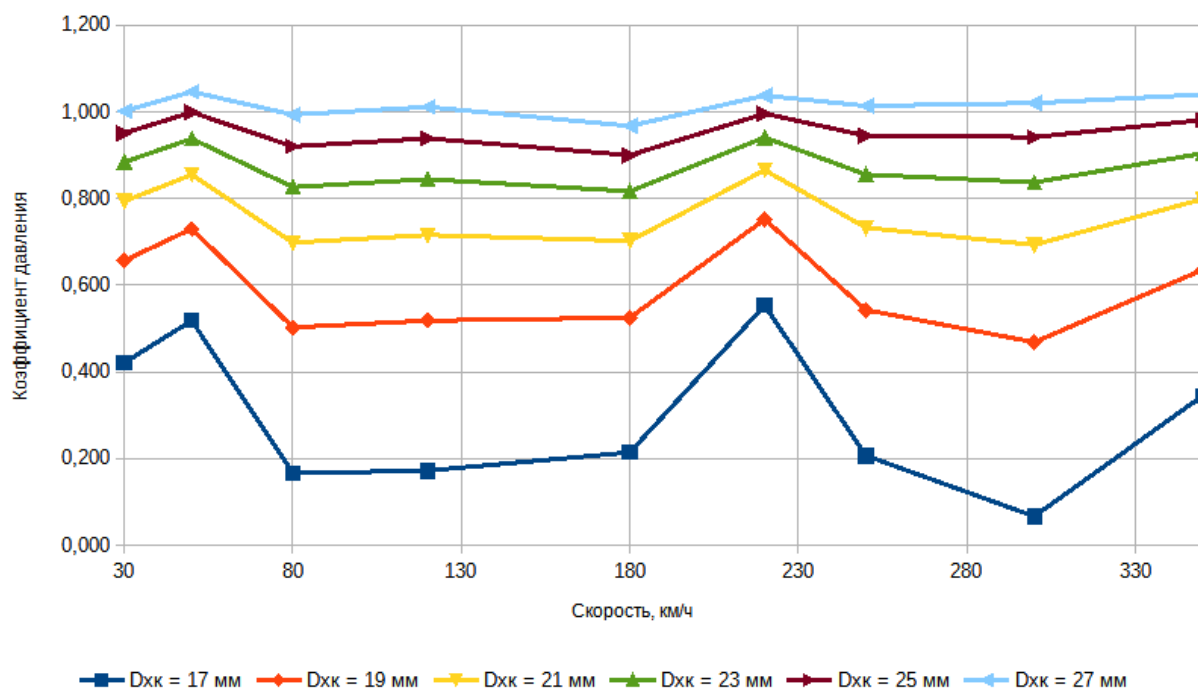


Рис.11. скоростные характеристики приемника №1 при отборе статического давления из конфузора

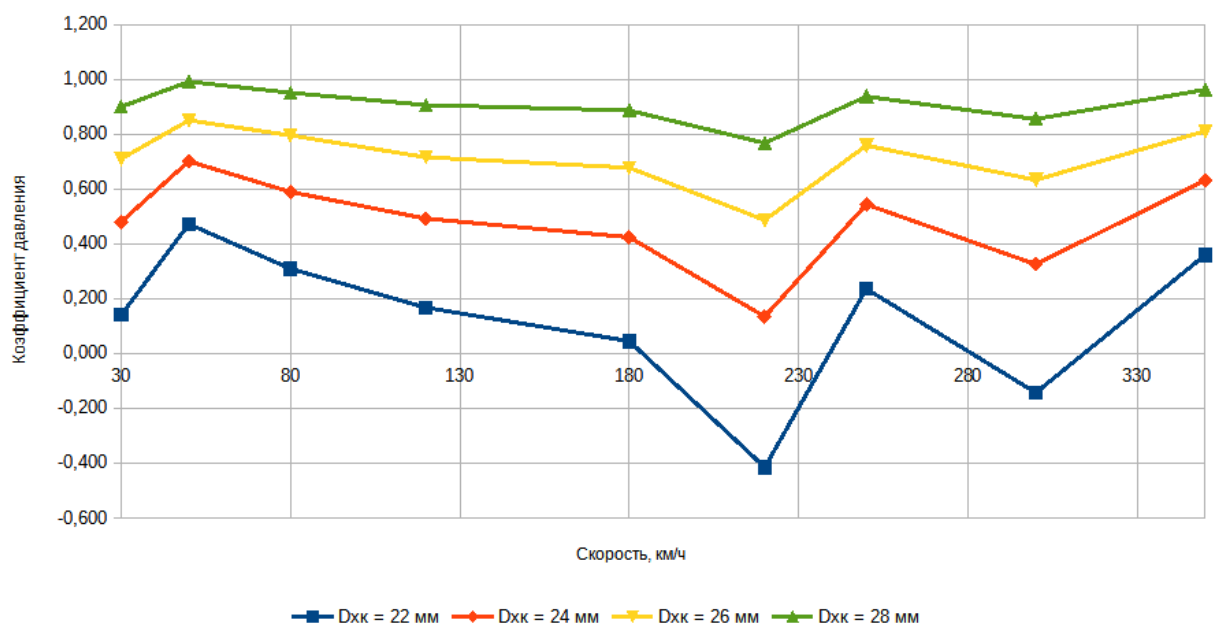


Рис.12. скоростные характеристики приемника №2 при отборе статического давления из конфузора

Полученные автором данные, рис.11 и 12, могут быть использованы для проектирования многоканальных приемников статического давления проточного типа в части предоставления информации о распределении статического давления по конфузору приемника и зависимости этого давления в каждом из рассматриваемых сечений от скорости набегающего воздушного потока.

Аналогичные результаты для приемников при отборе статического давления с конфузора приведены на рис.13 и 14.

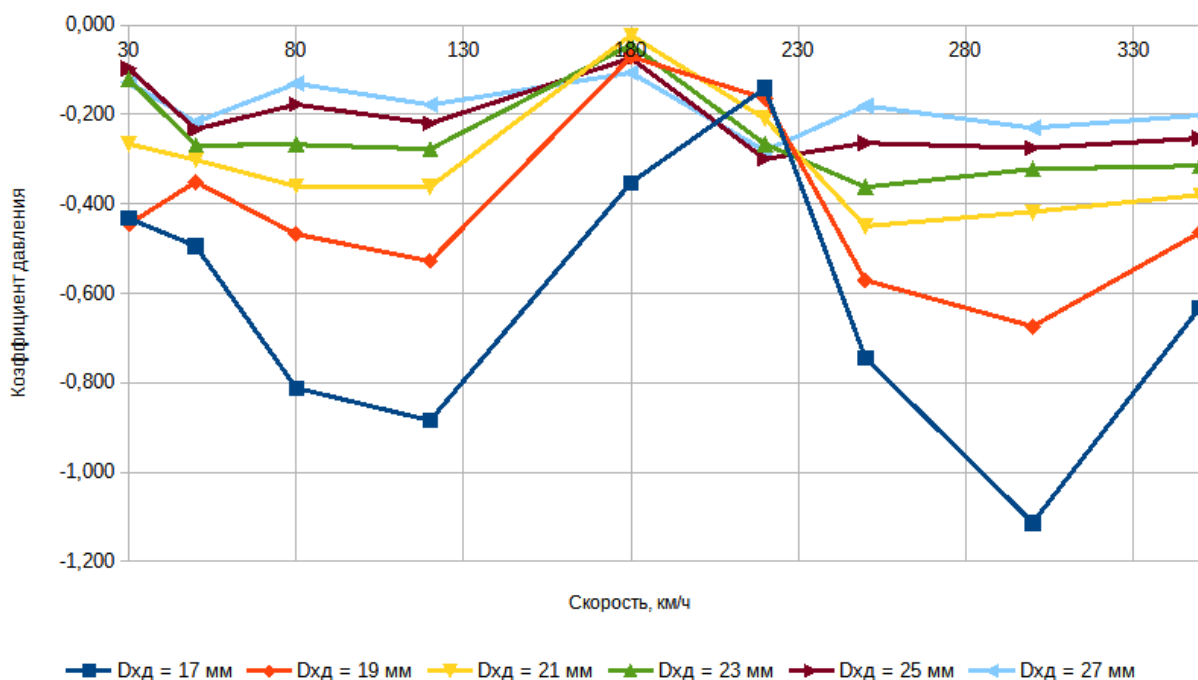


Рис.13. скоростные характеристики приемника №1 при отборе статического давления из диффузора

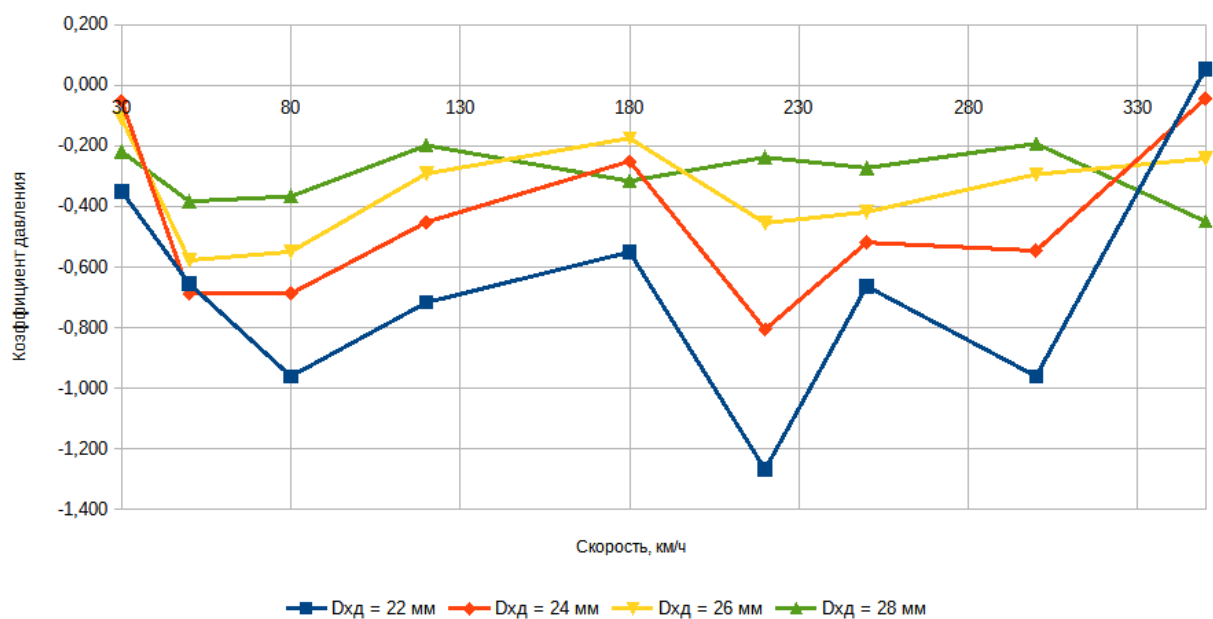


Рис.14. скоростные характеристики приемника №1 при отборе статического давления из диффузора

Приведенные рис.13 и 14 результаты, полученные автором в результате моделирования, могут быть использованы для проектирования многоканальных приемников статического давления проточного типа в части предоставления информации о распределении статического давления по диффузору приемника и зависимости этого давления в каждом из рассматриваемых сечений от скорости набегающего воздушного потока.

При построении многоканальных приемников проточного типа следует учитывать следующие основные моменты:

- 1.Отбор статического давления может производиться как с конфузора, так и с диффузора.
- 2.Исходя из конструктивных особенностей приемника, проще всего выполнять отверстия отбора статического давления в диффузоре.
- 3.Число сечений отбора давления в диффузоре может достигать до пяти-семи штук.
- 4.При отборе статического давления с конфузора затруднительно организовать несколько каналов отбора статического давления.
- 5.Число каналов отбора статического давления в конфузоре может быть равно двум, максимум – трем в силу конструктивных ограничений.
- 6.Давления, отбираемые с конфузора более стабильны, чем давления, отбираемые с диффузора.
- 7.Наибольшая инвариантность коэффициента давления к изменению скорости потока наблюдается для максимальных диаметров в конфузоре.

3. Обеспечение многоканальности в приемниках статического давления с наружной профилированной поверхностью

Как уже было сказано выше, приемники с наружной профилированной поверхностью, рис.4, 6, 15, более приспособлены к организации нескольких каналов статического давления [8].

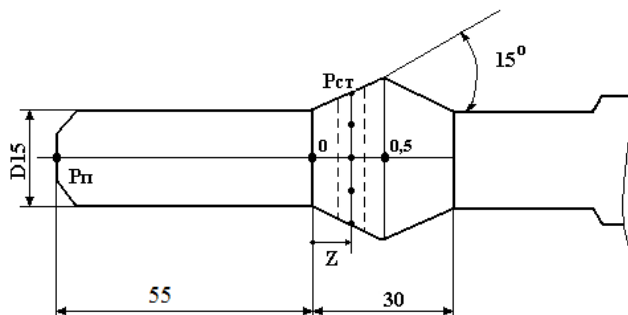


Рис.15. Приемник с наружной профилированной поверхностью и одним контуром компенсации аэродинамической погрешности

Распределение коэффициента давления по длине приемника показано на рис.16.

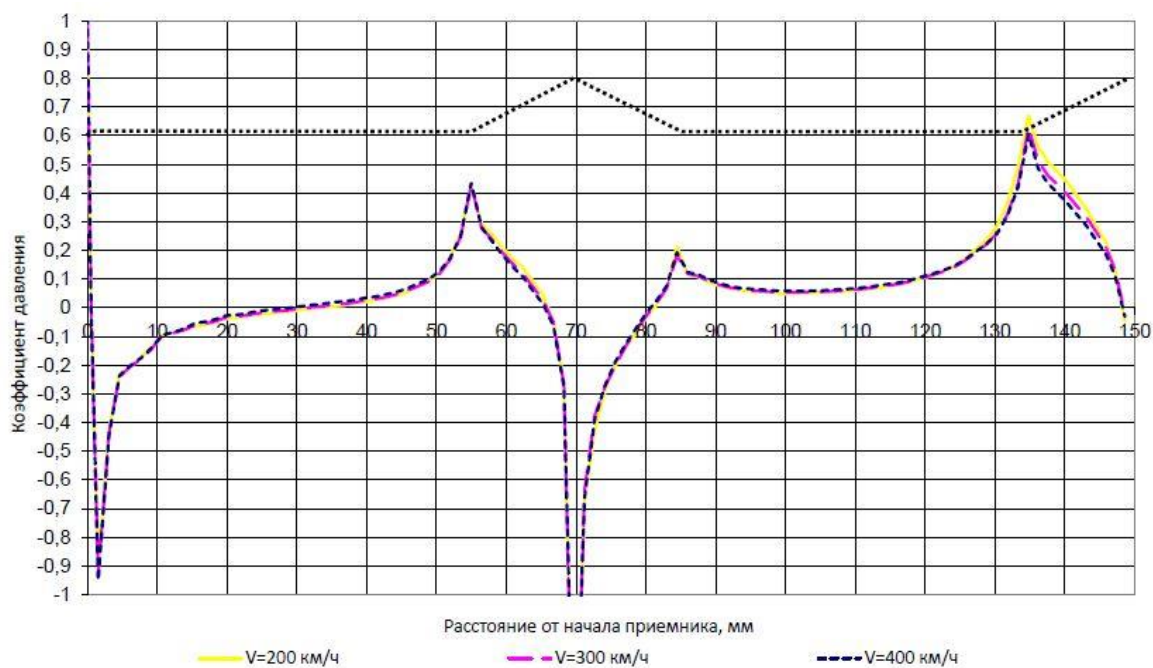


Рис.16. Распределение коэффициента давления по длине приемника, рис.15.

Видно, что приемник обеспечивает как положительные, так и отрицательные значения коэффициента давления, в том числе имеются три сечения с нулевым значением коэффициента давления.

Распределение коэффициента давления по передней части приемника, рис.15, приведено на рис.17.

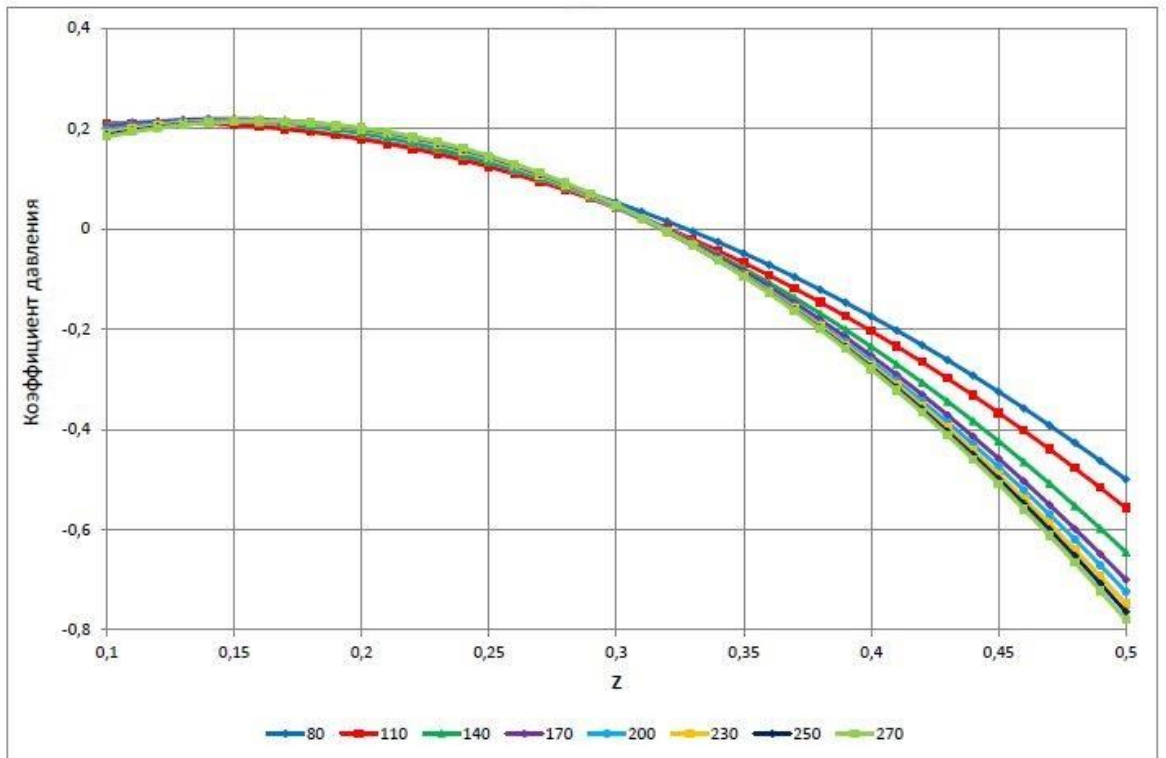


Рис.17. Распределение коэффициента давления по передней части приемника, рис.15

Распределение разности давлений потока и отбираемого с поверхности приемника по профилированному участку приемника, рис. 6, показано на рис.18, 19, 20.

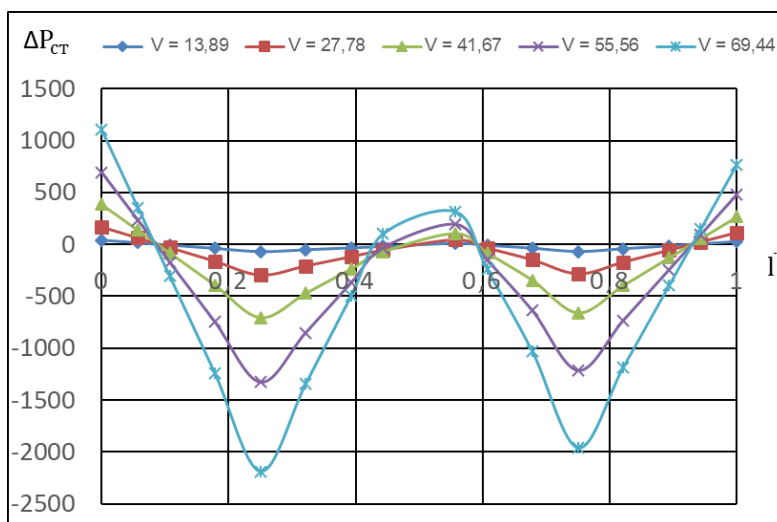


Рис.18. Распределения статического давления по профилированному участку приемника, рис.6, при $\bar{d} = 0,600$

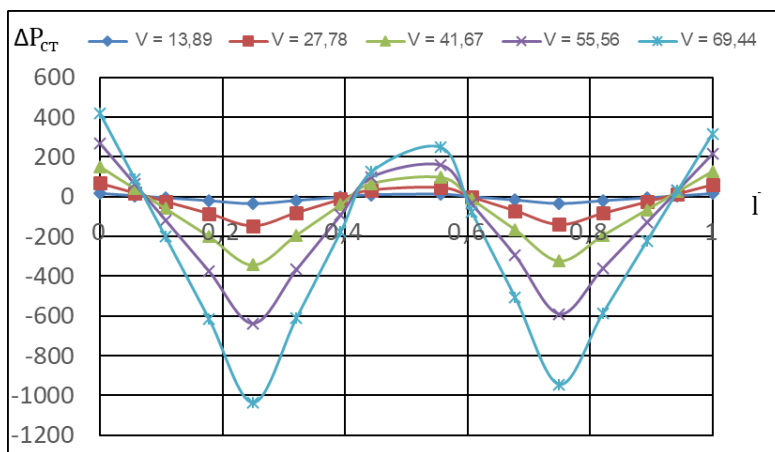


Рис.19. Распределения статического давления по профилированному участку приемника, рис.6, при $\bar{d} = 0,750$

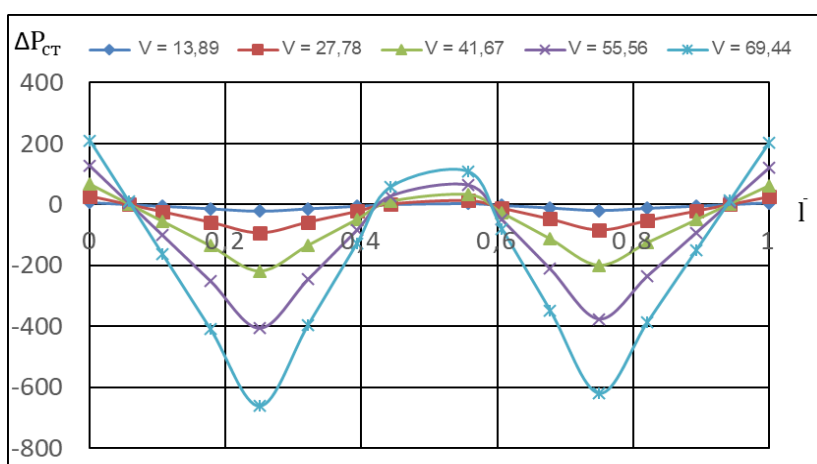


Рис.20. Распределения статического давления по профилированному участку приемника, рис.6, при $\bar{d} = 0,857$

Здесь через \bar{d} обозначена амплитуда гофров, равная отношению диаметра входного цилиндрического участка приемника к диаметру гофров.

Основные моменты, которые следует учитывать при создании многоканальных приемников статического давления с наружной профилированной поверхностью заключаются в следующем:

1. В зависимости от числа каналов статического давления целесообразно выбирать конфигурацию приемника (при числе линий статики до двух – приемник с одним контуром компенсации, при большем числе линий статики более двух – приемник с двумя контурами компенсации);

2. Амплитуда гофров должна выбираться исходя из требуемых значений коэффициента давления. Это в первую очередь относится к отрицательным значениям коэффициента давления, так они формируются на максимальных диаметрах приемника.

3. При значениях коэффициента давления от -0,3 до +0,12 амплитуда гофров может быть увеличена до 0,75. Если требуется глубина компенсации до -0,5...-0,7, то амплитуда гофров должна быть уменьшена до 0,60...0,50.

4. На поверхности приемника с двумя контурами компенсации есть четыре зоны с нулевым коэффициентом давления. Таким образом, есть возможность построения

четырёхканального приемника статического давления без компенсации аэродинамической погрешности.

5. При минимальном числе линий статики желательно стремиться к минимальным габаритам приемника (один контур компенсации), так как это позволит уменьшить электрическую мощность, потребляемую нагревательным элементом приемника.

6. При выборе сечений отбора статического давления целесообразно руководствоваться правилами обеспечения минимальной девиации коэффициента давления, обусловленной изменением скорости и углами скоса набегающего воздушного потока [24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33].

4. Результаты и выводы

Приемники статического давления с несколькими каналами восприятия и выдачи «статики» являются перспективными, так как позволяют уменьшить общее число приемников на борту летательного аппарата и повысить надежность функционирования систем измерения высотно-скоростных параметров.

Многоканальные приемники могут быть созданы как на базе проточных приемников статического давления, так и на базе приемников с наружной профилированной поверхностью.

В настоящей работе изложены некоторые, основные по мнению автора, аспекты, связанные с построением многоканальных приемников статического давления. Представленные в [23] результаты исследований, выполненные автором, позволяют производить подбор сечений отбора давления для многоканальных проточных приемников и оценивать возможные значения погрешностей в определении высотно-скоростных параметров, обусловленные изменением скорости и углами скоса набегающего воздушного потока.

Список литературы

1. Ефимов, И. П. Авиационные приборы: учеб. пособие / И. П. Ефимов. – Ульяновск : УлГТУ, 2018. – 255 с.
2. Ефимов, И. П. Моделирование приемников статического давления для мало-скоростных летательных аппаратов / И. П. Ефимов // Всероссийская научно-практическая конференция. Актуальные проблемы науки и практики (Ульяновск, 01 декабря – 04 декабря 2018 года): Сборник научных трудов. – Ульяновск : УлГТУ, 2018. – С. 15-17.
3. Исследование приемников давления для вертолетов : отчет о НИР / Научн. рук. Н. Г. Федоров, Исп. Г. А. Конюхов, К. Н. Сорокин, Н. В. Короткова. – №12-2/84. №ГР 0182.6025057, Ульяновск : УлПИ, 1985. – 92 с.
4. Исследование проточных приемников давления для вертолетов : отчет по НИР; рук. Федоров Н. Г.; исполн.: Конюхов Г. А. [и др.]. – Ульяновск : УлПИ, 1987. – 97 с. – № ГР 0186.0046939. – Инв. № 12–58/86.

5. Истомин, Д. А. Проектирование приемников воздушных давлений [Электронный ресурс] / Д. А. Истомин, И. П. Ефимов, М. Ю. Сорокин // АО «УКБП». – Режим доступа: http://www.thesis.com.ru/infocenter/downloads/flowvision/fv_es09_ukbp.pdf.
6. Лыу Конг Кием. Исследование системы воздушных сигналов / Лыу Конг Кием, И. П. Ефимов // Вузовская наука в современных условиях: сб. матер. 53-й науч. -техн. конф. в 3 ч. Ч. 2. – Ульяновск : УлГТУ, 2019. – С. 18-21.
7. Моисеев, В. Н. Математическая модель приемника воздушных давлений / В. Н. Моисеев, М. Ю. Сорокин, И. П. Ефимов, Н. Н. Макаров // Автоматизация процессов правления. – 2014. - № 1(35). – С. 61-65.
8. Моисеев, В. Н. Математическое моделирование приемника воздушного давления ПВД-КЗ-1 с различной формой воспринимающей части / В. Н. Моисеев, И. П. Ефимов, М. Ю. Сорокин // Современные научно-технические и инновационные проблемы транспорта (VI Международная научно-техническая конференция, г. Ульяновск, 18-19 октября 2012 г.) : сборник научных трудов. – Ульяновск : УлГТУ, 2012. – С. 18-21.
9. Свидетельство о регистрации программно-информационного продукта № 1493. Математическая модель для расчета коэффициента давления проточных приемников статического давления // И. П. Ефимов, Лыу Конг Кием; зарегистр. 19.04.2022. – Ульяновск: ОФАП УОЦ НИТ, 2022. Режим доступа: <http://ofap.ulstu.ru/1493>.
10. Ефимов, И. П. Функциональное проектирование приемников воздушных давлений и его программное обеспечение/ И. П. Ефимов // 28-я научно-техническая конференция Ульяновского политехнического института: сб. тез. докл. – Ульяновск, 1994. – С. 24.
11. Измерители аэродинамических параметров летательных аппаратов: учебное пособие / Г. И. Ключев [и др.]; под ред. В. А. Мишина. –Ульяновск: УлГТУ, 2005. – 509 с.
12. Испытание модели приемников воздушного давления с гофрированной наружной или внутренней поверхностью / научно-технический отчет; исполн.: Парфенова Н. Ф., Антоненц Е. В., Конюхов Г. А. – № 9459. – М. :ЦАГИ, 1991. – 66 с.
13. Истомин, Д. А. Исследование приемников воздушных давлений с аэродинамической компенсацией / Д. А. Истомин, И. П. Ефимов, М. Ю. Сорокин // Автоматизация процессов правления. – 2011. - № 4(26). – С. 31-36.
14. Истомин, Д. А. Проектирование приемников статического давления / Д. А. Истомин, И. П. Ефимов, М. Ю. Сорокин, В. Н. Моисеев // Труды международной научно-практической конференции «Инженерные системы –2010». Москва, 6–9 апреля 2010 г. – М. : РУДН, 2010. – 380 с. С. 44-48.
15. Свидетельство о регистрации программно-информационного продукта № 1497. Моделирование проточных приемников статического давления // И. П. Ефимов, Лыу Конг Кием; зарегистр. 19.04.2022. – Ульяновск: ОФАП УОЦ НИТ, 2022. Режим доступа: <http://ofap.ulstu.ru/1497>.
16. Свидетельство о регистрации программно-информационного продукта № 1498. Моделирование приемников статического давления с наружной профилированной поверхностью // И. П. Ефимов, Лыу Конг Кием; зарегистр. 19.04.2022. – Ульяновск: ОФАП УОЦ НИТ, 2022. Режим доступа: <http://ofap.ulstu.ru/1498>.
17. Ефимов, И. П. Математическая модель проточного приемника воздушных давлений / И. П. Ефимов, Г. А. Конюхов, Н. Г. Федоров ; Ульяновский

- политехнический институт. – Ульяновск, 1993. – 6с. – Деп. в ВИНТИ ДР 5129 – пр. 07.93.
18. Исследование систем восприятия первичных аэрометрических параметров в нестационарных потоках / отчет по НИР; рук. Федоров Н. Г.; испол. Антоненц Е. В. [и др.]. – Ульяновск : УлПИ, 1990. – 88 с. – № ГР.01880026757. – Инв. № 12–38/88.
 19. Ефимов, И. П. Математическая модель проточного приемника воздушных давлений с учетом концевго эффекта / И. П. Ефимов, Н. Г. Федоров // 27-я научно-техническая конференция Ульяновского политехнического института : сб. тез. докл. В 3 ч. Ч. 2. – Ульяновск, 1993. – С. 52–54.
 20. Лыу Конг Кием. Исследование проточных приемников статического давления / Лыу Конг Кием, И. П. Ефимов, Май Суан Дык, А. С. Кузнецов. – Ульяновск: УлГТУ, 2022. – 262 с.
 21. Истомин, Д. А. Компьютерное моделирование макета приемника полного давления / Д. А. Истомин, В. Н. Моисеев, А. А. Прманов, М. Ю. Сорокин // Датчики и системы. – 2013. – № 6(169). – С. 14-18.
 22. Лыу Конг Кием. К вопросу повышения точности измерения высотно-скоростных параметров в системах автоматизированного управления летательными аппаратами / Лыу Конг Кием, И. П. Ефимов // Промышленные АСУ и контроллеры.
 23. Свидетельство о регистрации программно-информационного продукта № 1504. Исследование формирования давления на внутренней обтекаемой поверхности проточного приемника статического давления // М.П.Зюкин; зарегистр. 13.09.2022. – Ульяновск: ОФАП УОЦ НИТ, 2022. Режим доступа: <http://ofap.ulstu.ru/1504>.
 24. Лыу Конг Кием. К вопросу выбора геометрических параметров проточных приемников воздушных давлений, девиация коэффициента давления которых не превышает заданного значения / Лыу Конг Кием, И. П. Ефимов // Гражданская авиация: XXI век: сборник материалов XII Международной молодежной научной конференции. – Ульяновск : УИГА, 2020. – С. 26-28.
 25. Лыу Конг Кием. К вопросу о влиянии скоса набегающего воздушного потока на коэффициент давления приемника статического давления с наружной профилированной поверхностью / Лыу Конг Кием, И. П. Ефимов // Информатика, моделирование, автоматизация проектирования: сб. науч. тр. XIII Междунар. науч.-пр. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых ИМАП-2021; под ред. Н. Н. Войта. – Ульяновск : УлГТУ, 2021. – С. 157-163.
 26. Лыу Конг Кием. К вопросу о влиянии скоса потока на коэффициент давления проточного приемника статического давления / Лыу Конг Кием, И. П. Ефимов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2021. – № 1. – С. 15-21.
 27. Лыу Конг Кием. К вопросу о связи точности изготовления проточного приемника статического давления с погрешностью в определении высотно-скоростных параметров / Лыу Конг Кием, И. П. Ефимов // Информатика и вычислительная техника: сб. науч. тр. XIII Всероссийской. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых ИВТ-2021; под общей ред. В.Н. Негоды. – Ульяновск : УлГТУ, 2021. – С. 185-191.
 28. Лыу Конг Кием. К вопросу уменьшения погрешности при измерении высотно-скоростных параметров ЛА / Лыу Конг Кием, И. П. Ефимов // Вузовская наука в современных условиях: сб. матер. 55-й науч. -техн. конф. в 3 ч. Ч. 2. – Ульяновск : УлГТУ, 2021. – С. 91-94.
 29. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021667764. Программа функционального синтеза приемников статического

- давления // Лыу Конг Кием, И. П. Ефимов; правообладатель: ФГБОУ ВО «УлГТУ»; заявл. 15.10.2021; зарегистр. 02.11.2021. – М.: Роспатент, 2021.
30. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021619053. Программа для расчета коэффициента давления приемников статического давления с наружной профилированной поверхностью // Лыу Конг Кием, И. П. Ефимов; правообладатель: ФГБОУ ВО «УлГТУ»; заявл. 25.05.2021; зарегистр. 03.06.2021. – М.: Роспатент, 2021.
 31. Свидетельство о регистрации программно-информационного продукта № 1496. Математическая модель для расчета девиации коэффициента давления приемников статического давления с наружной профилированной поверхностью // И. П. Ефимов, Лыу Конг Кием; зарегистр. 19.04.2022. – Ульяновск: ОФАП УОЦ НИТ, 2022. Режим доступа: <http://ofap.ulstu.ru/1496>.
 32. Свидетельство о регистрации программно-информационного продукта № 1494. Математическая модель для расчета коэффициента давления приемников статического давления с наружной профилированной поверхностью // И. П. Ефимов, Лыу Конг Кием; зарегистр. 19.04.2022. – Ульяновск: ОФАП УОЦ НИТ, 2022. Режим доступа: <http://ofap.ulstu.ru/1494>.
 33. Свидетельство о регистрации программно-информационного продукта № 1501. Система автоматизированного параметрического синтеза приемников статического давления // И. П. Ефимов, Лыу Конг Кием; зарегистр. 19.04.2022. – Ульяновск: ОФАП УОЦ НИТ, 2022. Режим доступа: <http://ofap.ulstu.ru/1501>.