

К 100-летию со дня рождения В.В. Струминского

Годы, отданные развитию аэродинамики в Сибири

А.М. Харитонов

*Институт теоретической и прикладной механики
им. С.А. Христиановича СО РАН, Новосибирск*

E-mail: khar@itam.nsc.ru

29 апреля 2014 г. исполняется 100 лет со дня рождения Владимира Васильевича Струминского. Он родился в Оренбурге в семье школьного учителя Василия Яковлевича Струминского (1880–1967) и его жены Марии Фёдоровны Дмитровской (1884–1972). После окончания семи классов школы он работал токарем на заводе в Казани и затем на заводе «Динамо» в Москве. В 1933 г. Владимир Васильевич без отрыва от производства окончил рабфак и поступил на физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова. Окончив университет с отличием, В.В. Струминский поступил в аспирантуру при Институте физики МГУ, а в 1941 г. защитил кандидатскую диссертацию на тему «Электронная теория твёрдых тел», где представил решение уравнения Шредингера для кристаллической решетки сплавов.



Родители В.В. Струминского.

В канун Великой Отечественной войны Владимир Васильевич был распределён в ЦАГИ им. Н.Е. Жуковского, где начал заниматься новыми для него проблемами — аэродинамическими исследованиями крыльев конечного размаха. Спустя несколько лет он разработал метод расчета максимальной подъемной силы крыла и распределения срывных зон по его размаху. Проведенные исследования серии крыльев конечного размаха в натурной трубе ЦАГИ при больших числах Рейнольдса подтвердили эффективность предложенного метода аэродинамической компоновки крыла. В 1947 г. за разработку и внедрение в серию новых крыльев для скоростных самолетов В.В. Струминскому вместе с другими учеными ЦАГИ была присуждена Государственная премия. Крупным вкладом Владимира Васильевича в развитие авиации является разработанный им во время Великой Отечественной войны метод аэродинамической компоновки крыла из набора профилей с безотрывным обтеканием концевых сечений крыльев, что обеспечивало высокую надёжность и безопасность полёта при больших углах атаки. Этому предшествовал большой комплекс теоретических работ. Были найдены точные решения трехмерных уравнений пограничного слоя для скользящих крыльев бесконечно большого размаха и стреловидных крыльев большого удлинения. В 1947 г. В.В. Струминский защитил докторскую диссертацию. В этом же году в конструкторских бюро С.А. Лавочкина,

А.И. Микояна, А.С. Яковлева были созданы первые истребители со стреловидными крыльями. В дальнейшем на самолётах со стреловидными крыльями был впервые преодолен «звуковой барьер», авиация вышла на сверхзвуковые скорости. В это же время по инициативе Струминского в ЦАГИ был построен ряд новых аэродинамических труб и установок, существенно расширивших возможности экспериментальных исследований. В 1948 г. В.В. Струминскому за разработку и внедрение в серийное производство скоростных стреловидных крыльев была присуждена вторая Государственная премия. За лучшую работу по теории авиации ему присуждается золотая медаль и первая премия Н.Е. Жуковского, а в 50-х гг. он был назначен заместителем начальника ЦАГИ по аэродинамике и руководителем основной аэродинамической лаборатории № 2.

В 1957 г. В.В. Струминский избран членом-корреспондентом АН СССР, а в 1961 г. за исследования по аэродинамике группе учёных ЦАГИ во главе с ним была присуждена Ленинская премия.

В конце июля 1966 г. председатель Сибирского отделения академик М.А. Лаврентьев представил Учёному совету Института теоретической и прикладной механики СО АН СССР будущего директора — академика В.В. Струминского. Коллегия МАП СССР при участии генеральных конструкторов, ведущих учёных и руководителей отраслевых институтов одобрила инициативу Сибирского отделения по развитию аэродинамических исследований в институте, в декабре В.В. Струминский был избран директором ИТПМ СО АН СССР и членом Президиума Сибирского отделения. Возглавив институт, Владимир Васильевич в соответствии с решением Президиума Сибирского отделения установил главным научным направлением деятельности института теоретические и экспериментальные исследования аэродинамического профиля.

Первостепенной проблемой было развитие и создание экспериментальной аэродинамической базы: модернизация сверхзвуковой аэродинамической трубы Т-313 с расширением диапазона чисел Маха до 7, разработка и создание новых аэродинамических труб с пониженной степенью турбулентности — дозвуковой Т-324 и сверхзвуковой Т-325, разработка гиперзвуковых аэродинамических труб, строительство водородного стенда [1–3]. В институте развернулись работы по теоретическому и экспериментальному изучению устойчивости ламинарных течений, структуры турбулентных потоков, динамике разреженных газов и развитию методов решения уравнения Больцмана, исследованию способов применения жидкого водорода на космических аппаратах, по проблемам теплозащиты, смешения и горения новых криогенных топлив. Для решения этих задач под руководством В.В. Струминского был осуществлён ряд мероприятий, направленных на подбор и подготовку научных кадров, а также на расширение как экспериментальной, так и производственной базы института.



В.В. Струминский

С целью подготовки молодых специалистов была перестроена работа базовой кафедры газовой динамики НГУ. Учебный план кафедры был дополнен новыми курсами: «Динамика вязкого газа» (В.В. Струминский, Н.А. Желтухин), «Аэродинамика разреженного газа» (В.В. Струминский), «Газовая динамика» (В.Г. Дулов). В результате, в короткие сроки удалось наладить подготовку специалистов, отвечающих профилю проводимых в институте исследований. Кадровая проблема решалась также путём приглашения на постоянную работу квалифицированных аэродинамиков из других городов страны. Наряду с этим, Владимир Васильевич предпринял меры по повышению научного уровня сотрудников института путём организации специального курса лекций профессоров из Москвы

и Ленинграда (И.П. Гинзбурга, Р.Г. Баранцева, Г.П. Воскресенского, А.И. Бунимовича, В.Н. Жигулёва). В.В. Струминский приглашал в Новосибирск ведущих зарубежных учёных (Ж.Л. Поттера, Л. Триллинга, В. Пфеннингера и С. Богдонова из США, Фавра и Дюма из Франции и других).

Большое внимание Владимир Васильевич уделял вводу в эксплуатацию сверхзвуковой аэродинамической трубы Т-313 и расширению диапазона чисел Маха на этой трубе до 7 [4, 5]. С этой целью была разработана конструкторская документация и изготовлены новая коробка сопел со вставками $M = 5, 6$ и 7 , омический подогреватель воздуха, форкамера с увеличенным поджатием потока и системой механического перехода с “холодного” тракта на “горячий”.

В связи с интенсивным развитием ракетной и космической техники одним из основных научных направлений, инициированных Струминским в ИТПМ, стало изучение динамики разреженных газов. Создавалась вакуумная аэродинамическая труба. Была организована специальная лаборатория, которую возглавил Ю.Д. Нагорных. В ней выросли талантливые учёные, доктора наук: Ю.Н. Григорьев, М.С. Иванов, В.Я. Рудяк и др. Ими был предложен новый общий метод решения уравнения Больцмана, выявлены основные законы движения многокомпонентных газовых смесей, решен ряд других задач в этой области.

Владимир Васильевич был в высшей степени организованным, целеустремлённым учёным и руководителем. Всегда поражали его неутомимость и способность обсуждать проблему столько времени, сколько необходимо для нахождения оптимального решения. Он регулярно посещал лаборатории и строящиеся установки, участвовал в экспериментах, проводил рабочие совещания, на которых обсуждались возникавшие проблемы. На это он не жалел ни времени, ни сил. Вспоминается случай, когда настраивались механические весы АВ Т-313 и мы столкнулись с проблемами нестабильной работы α -механизма. Неожиданно посетив трубу, он ознакомился с возникшей проблемой и собрал всех у себя в кабинете для совместного обсуждения и выявления возможных причин. В результате через два дня удалось преодолеть все проблемы и провести испытания контрольной модели, результаты которых подтвердили правильность работы механических весов.

По инициативе и под руководством В.В. Струминского в ИТПМ СО РАН были начаты систематические исследования явления перехода пограничного слоя как с целью изучения влияния многообразия факторов, так и с целью выявления природы влияния единичного числа Рейнольдса на переход в пограничном слое [6].

В число основных научных направлений института В.В. Струминский включил решение проблемы ламинаризации обтекания летательных аппаратов. Ещё работая в ЦАГИ, он опубликовал в “Докладах АН СССР” две работы [7, 8], посвящённые нелинейной теории гидродинамической устойчивости пограничных слоёв. Для решения этой проблемы он привлёк талантливую молодёжь из числа сотрудников института и студентов НГУ, а в 1968 г. создал лабораторию гидродинамической устойчивости во главе с В.Я. Левченко. В ней успешно трудились в то время С.А. Гапонов, А.Г. Володин, А.С. Соловьёв, В.В. Козлов, Ю.С. Качанов, В.С. Косорыгин и др.



Сверхзвуковая аэродинамическая труба Т-313
($M = 1,75 \div 7$).



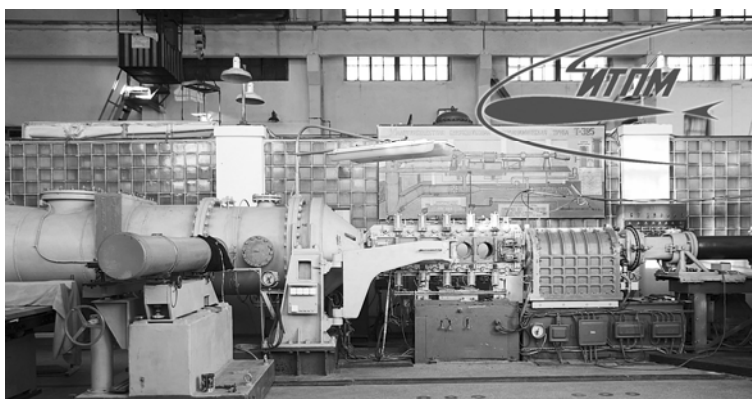
Дозвуковая малотурбулентная труба Т-324.

В 1967 г. по предложению В.В. Струминского Президиум СО РАН принял решение о создании в ИТПМ аэродинамических труб Т-324 и Т-325 с низкой степенью турбулентности. С этой целью был создан экспериментальный отдел, который возглавил Н.Ф. Поляков. В очень короткий период времени была выполнена проектная документация, изготовлены и смонтированы основные элементы этих труб. В результате напряжённой работы уже в ноябре 1968 г. были официально произведены торжественные пуски аэродинамических труб с малой степенью турбулентности — дозвуковой Т-324 и сверхзвуковой Т-325. Выступая на 1-ой Сибирской конференции, профессор Харьковского авиационного института Я.Е. Ткаченко сказал: «Мы всю жизнь отдали аэродинамике и знаем, каких трудов стоит создание новой аэродинамической трубы. Знакомясь с новыми установками ИТПМ Т-324 и Т-325, мы думали, что на их строительство ушло 10–15 лет, и поразились, когда узнали, что эти трубы были созданы в столь сжатые сроки».

Введение в эксплуатацию дозвуковой трубы Т-324 решающим образом способствовало плодотворному развитию фундаментальных исследований гидродинамической устойчивости. Эксперименты того периода преследовали изучение линейного, а в последующем и нелинейного развития возмущений в пограничных слоях в тесной связи



Делегация Президиума АН СССР знакомится с аэродинамической трубой Т-324 с низкой степенью турбулентности потока. Справа налево: академики Г.И. Марчук, В.В. Струминский, А.А. Дородницын, Г.И. Петров, Г.С. Бюшгенс и сотрудники ИТПМ — В.В. Черных, Г.В. Медведев (нач. Т-324), А.А. Кудрин.



Сверхзвуковая труба с пониженной степенью турбулентности Т-325.

с проводимыми в лаборатории расчётами. Полученные результаты в области линейной устойчивости в осложнённых условиях, восприимчивость к внешним возмущениям, нелинейного развития возмущений не имели аналогов в мире и позволили уже в 1970-х годах занять лидирующее положение [9, 10]. Теоретические исследования устойчивости сжимаемых течений и, в частности, сверхзвуковых пограничных слоёв успешно проводились С.А. Гапоновым и А.А. Масловым. Ими рассчитывались характеристики устойчивости, в том числе по отношению к трёхмерным возмущениям, результаты которых сопоставлялись с экспериментальными данными. Изучалось также влияние теплообмена с целью объяснения явления “реверса перехода” и др.

Первая экспериментальная работа, проведенная ещё в Т-313, была посвящена влиянию притупления передней кромки и единичного числа Рейнольдса на переход к турбулентности в сверхзвуковом пограничном слое на крыловом профиле [11]. Затем исследования перехода ламинарного пограничного слоя в турбулентный выполнялись уже в Т-325 [12]. Эти работы продолжили А.А. Маслов, А.Д. Косинов и др. тонкими измерениями волновой структуры неустойчивых возмущений в условиях пограничного и энтропийного слоя [13, 14].

В это же время проводились исследования и проектные работы по созданию гиперзвуковых труб Т-326, Т-327, Т-333, трубы для исследований процессов смешения ТС, импульсной трубы с разрядной камерой ИТ-301 и специальных установок для изучения струйных и молекулярных течений. В феврале 1970 г. состоялся пуск первой в Сибири гиперзвуковой импульсной трубы ИТ-301 [15].

Научные сотрудники много и плодотворно работали. Каждому была поставлена конкретная задача, решение которой регулярно проверялось, а директор в любой момент был в курсе состояния дел. Набросив пиджак на плечи, Владимир Васильевич неожиданно появлялся в любой лаборатории. Часто, возвращаясь из командировки, как правило, вечером, он прямо из аэропорта посещал институт, осматривал лаборатории и состояние строящихся установок, а на следующий день вызывал руководителей для отчёта. Такой приём способствовал напряжённой работе, которая продолжалась и в периоды его отсутствия в институте.



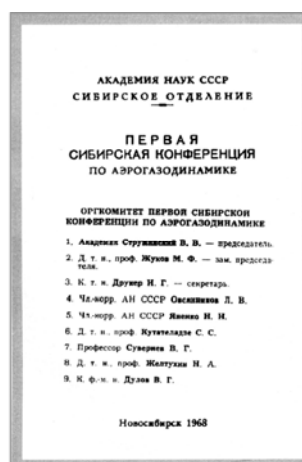
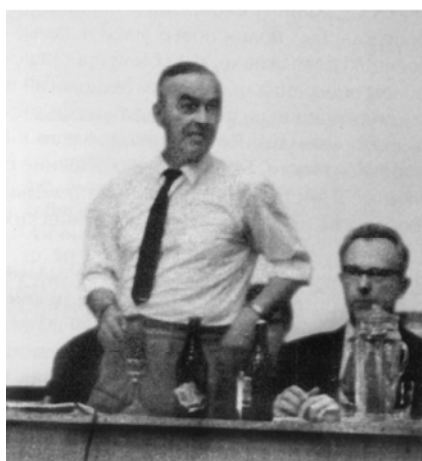
Общий вид и схема импульсной аэродинамической трубы ИТ-301.

Во время деловых поездок также продолжались детальные обсуждения планов и перспективных проблем. Принимая какое-либо решение, он стремился получить максимально полную информацию, внимательно выслушивал оппонентов, изучал мнения рядовых научных сотрудников, связанных с интересующей его проблемой, организовывал многочасовые, иногда неоднократные обсуждения, сопоставляя различные точки зрения. Принятому им решению он следовал с присущей ему неукоснительностью и настойчивостью. Всех, кто общался с Владимиром Васильевичем, поражало его стремление в любом деле достичь полной ясности, его требовательность к точности и определенности формулировок в каждом документе, в каждой статье, в каждой «бумажке», которая проходила через его руки, его внимание к деталям, так называемым «мелочам».

За короткий срок Струминский добился того, что ИТПМ стал претендовать на роль одного из ведущих институтов в области аэродинамических исследований не только в Сибири, но и в стране. Наряду с решением фундаментальных проблем аэромеханики Владимир Васильевич активно способствовал установлению сотрудничества лабораторий института с отраслевыми институтами и ОКБ авиационной промышленности, совместно с которыми проводились исследования по созданию новых образцов авиационной техники.

В 1968 г. в ИТПМ по инициативе В. В. Струминского была проведена 1-ая Сибирская конференция по аэрогазодинамике с участием как учёных Сибири, так и специалистов из других городов страны. На конференции обсуждался широкий круг вопросов, связанных с теоретическими и экспериментальными исследованиями, проведёнными сибирскими учёными, с созданием уникальных экспериментальных установок, с развитием новых методов измерений и практическими приложениями результатов исследований. На этой конференции сотрудники института представили большое число докладов, которые продемонстрировали высокий уровень экспериментальных исследований в ИТПМ [16]. Дискуссии и беседы в кулуарах конференции свидетельствовали о том, что учёные-аэродинамики ИТПМ привлекли к себе внимание научного сообщества. Если раньше институт был известен оригинальными разработками в области энергетики, то теперь к этому добавился внушительный вклад в области экспериментальной аэродинамики.

В этом же году институтом была проведена III Всесоюзная конференция по динамике разреженных газов и плазмы, в которой приняло участие более 200 представителей от 25 ведущих научно-исследовательских институтов, вузов и ОКБ из Москвы, Ленинграда, Новосибирска, Минска и других городов страны. Было заслушано более 150 докладов,



В.В. Струминский открывает 1-ю Сибирскую конференцию по аэрогазодинамике.

посвящённых наиболее важным и актуальным вопросам кинетической теории газов и плазмы, численных методов расчёта задач динамики разреженных газов, а также вопросам низкотемпературной плазмы и взаимодействия с поверхностями. Сотрудники института представили 20 докладов. Конференция рассмотрела перспективы развития динамики разреженных газов и позволила установить деловые контакты между советскими учёными, работающими в различных городах страны.

Отмечая заслуги Струминского, уместно вспомнить высказывания его тёзки, члена-корреспондента РАН Владимира Васильевича Сычёва, приведенные в книге [17]: «Струминский был очень энергичным человеком. Когда он уехал в Сибирь и возглавил ИТПМ, он создал там серьёзную экспериментальную базу. И этот институт сегодня процветает по сравнению с ЦАГИ! Этот институт сегодня является одним из серьёзных научных центров.

Они, конечно, работают не по всем направлениям, но в области проблем, связанных с пограничным слоем, с ламинаризацией, с турбулентным пограничным слоем, с механизмами устойчивости и перехода, они сейчас идут на первом месте. Их работы признаются по всем Мира. ... Они занимаются и вопросами, связанными с двигательной тематикой, вопросами сверхзвукового горения. Вообще, институт очень интересный.

Так что надо отдать должное Владимиру Васильевичу, значительный вклад он сделал и здесь...»

Несмотря на успешное развитие экспериментальной базы на территории института, Владимир Васильевич был убеждён, что она ограничена в вопросах моделирования перспективных аэрокосмических аппаратов, использующих в качестве энергоносителя жидкий водород. В это время в США проблеме применения водорода в ракетно-космической технике уделялось первостепенное значение. Возникла необходимость создания специальных аэродинамических труб и газодинамических установок. Размещать их на территории ИТПМ было уже невозможно. И тогда В.В. Струминский выступил с инициативой построить аэродинамическую базу на левом берегу Оби. Этот комплекс включал шесть аэродинамических труб до-, транс-, сверх- и гиперзвуковых скоростей и позволил бы моделировать течения на высотах от 10 до 100 км. Создание такой экспериментальной базы в то время (70-е годы), несомненно, позволило бы решать актуальные проблемы проектирования аэрокосмической техники. Основные параметры планируемой экспериментальной базы обсуждались с рядом министерств и ведомств, а также были согласованы с генеральным конструктором С.П. Королёвым. Проект этого комплекса аэродинамических труб обсуждался у Президента Академии наук М.В. Келдыша в присутствии А.Н. Туполева, А.Н. Микояна, А.А. Кобзырева и представителя ЦК и был одобрен. По предложению М.В. Келдыша была создана комиссия в составе Л.И. Седова, В.В. Струминского, Б.Н. Петрова, Г.П. Свищёва и Г.И. Петрова, после одобрения которой, проект был передан в правительство.

В феврале 1968 г. по представлению академика Струминского Совет Министров СССР принял постановление о развитии в ИТПМ научных исследований по перспективным направлениям аэрогазодинамики и создании нового газодинамического центра, который должен был стать мощной экспериментальной базой за Уралом. Для исполнения этого постановления под руководством Владимира Васильевича проводилась большая работа по проектированию комплекса аэродинамических установок. Для выполнения этой работы в Отделе № 10 была создана группа под руководством М.Б. Полякова. Выбором параметров и расчётным обоснованием аэродинамических контуров всех труб занимались В.В. Затолока, Г.П. Клеменков, А.И. Омелаев и другие. На выделенной площадке началось строительство экспериментального корпуса.

Однако к концу 1970 г. резко ухудшились отношения В.В. Струминского с Президиумом СО РАН, и работы по созданию комплекса практически прекратились. Институт посетила комиссия Академии наук и МАП, возглавляемая академиком Г.И. Петровым, которая в ходе дискуссий утверждала, что для фундаментальных исследований институту такой комплекс аэрокосмических труб не нужен. Такое решение было предопределено, поэтому аргументы Струминского комиссия не воспринимала.



В.В. Струминский на праздничном вечере.

К сожалению, стратегическому плану В.В. Струминского не суждено было сбыться. Но приобретённый опыт при разработке и обосновании этого проекта не пропал. Он был использован при модернизации действующих установок и проектировании в будущем гиперзвуковых труб, а также создававшихся гиперзвуковых труб Т-326 ($M = 6 \div 14$) и Т-327 ($M = 16 \div 25$).

В феврале 1971 г. Общее собрание СО РАН не избрало В.В. Струминского директором института на новый срок. Это произошло 23 февраля поздно вечером. Сотрудники

института, словно предвидя результат, не расходились домой до возвращения Владимира Васильевича в институт. В ИТПМ наступили «чёрные» дни, разгорелись жаркие дискуссии, так как менять тематику своей работы никому не хотелось. Через три месяца, в мае 1971 г., состоялось последнее заседание диссертационного совета под председательством В.В. Струминского.

Владимир Васильевич очень много работал, обычно со сдвинутым графиком по 10–12 часов каждый день. Но когда представлялся случай и отдыхал великолепно. На праздничных вечерах он непринуждённо проводил время с молодыми учёными, часто беседовал с ними о жизненных проблемах, много шутил и мог посмеяться от души. Любил потанцевать с дамами на вечерах и даже импровизировать на ударных инструментах.

В 1997 г. исполнилось 40 лет со дня основания ИТПМ СО РАН. В.В. Струминский, в почтенном уже возрасте, принял активное участие в юбилейной сессии Института. Сотрудники, в прошлом его ученики, встретили Владимира Васильевича с большим воодушевлением. Его участие придавало особый оттенок торжественности юбилейной сессии. Все выступавшие с большим почтением вспоминали годы совместной работы в институте и высоко оценивали большое влияние этого периода на свою научную карьеру. В своих обзорных докладах его бывшие ученики (ныне известные учёные) продемонстрировали высокий научный уровень исследований в различных областях аэродинамики, которые стали развиваться в ИТПМ по инициативе В.В. Струминского. С присущей ему любознательной деловитостью он интересовался научным уровнем института, состоянием экспериментальной базы, полученными в последнее время результатами. Несмотря на почтенный возраст, Владимир Васильевич не пропустил ни одного доклада, задавал много вопросов, активно участвовал в дискуссиях. И, конечно же, посетил свои



Президиум торжественного заседания юбилейной сессии Учёного совета, посвящённого 40-летию ИТПМ. Слева направо: академик В.М. Фомин, профессор А.М. Харитонов и академики В.В. Струминский и М.Ф. Жуков.

Выступление В.В. Струминского на юбилейной сессии Учёного совета ИТПМ, посвящённой 40-летию института (на заднем плане — А.А. Маслов).



детища — аэродинамические трубы Т-324 и Т-325. Это были его последние знакомства с достижениями института и встречи со своими бывшими сотрудниками.

Владимир Васильевич Струминский период с 1966 по 1971 гг. посвятил развитию аэродинамики в Сибири. Этот период характерен становлением экспериментальной аэродинамической базы института, освоение которой в последующие годы определило высокий уровень проводимых в ИТПМ исследований и признание как отечественных, так и зарубежных аэродинамических центров и университетов. Несомненной заслугой Владимира Васильевича является то, что за несколько лет на посту директора института он воспитал коллектив учёных-аэродинамиков. Именно в эти годы была создана единственная в АН СССР аэродинамическая экспериментальная база, удостоенная премии Совета министров СССР, которая способствовала развитию фундаментальных исследований по аэрогазодинамике. Многие результаты по устойчивости и переходу к турбулентности, по отрывным течениям, аэродинамической интерференции и динамике разреженных газов были получены впервые и носят фундаментальный характер.

Список литературы

1. Институт теоретической и прикладной механики: Годы, люди, события // Под ред. А.М. Харитонов. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. 348 с.
2. Владимир Васильевич Струминский: библиография РАН / отв. ред. В.А. Виноградов; сост. Р.И. Горячева, Р.Н. Клейменова // Мат. к библиографии ученых. Серия техн. наук. Механика. М.: Наука, 1993. 76 с.
3. Седов Л.И., Яненко Н.Н. Академик Владимир Васильевич Струминский // Аэромеханика: сб. статей, посвященных 60-летию со дня рождения В.В. Струминского. М., 1976. С. 1–4.
4. Волонихин И.И., Григорьев В.Д., Демьяненко В.Н., Писаренко Х.И., Харитонов А.М. Сверхзвуковая аэродинамическая труба Т-313 // Аэрофизические исследования: сб. трудов. Новосибирск, 1972. С. 8–11.
5. Воронов Г.М., Максимов А.И., Поляков М.Б., Харитонов А.М. Экспериментальное исследование характеристик сверхзвуковой аэродинамической трубы Т-313 // Аэрогазодинамика: Тр. Первой Сибирской конф. по аэродинамике, 28 июля – 2 авг., 1969. Новосибирск, 1973. С. 279–286.
6. Харитонов А.М. Влияние возмущений потока на переход сверхзвукового ламинарного пограничного слоя в турбулентный // Аэромеханика: сб. статей. М.: Наука, 1976. С. 153–164.
7. Струминский В.В. К нелинейной теории развития аэродинамических возмущений // Доклады АН СССР. 1963. Т. 151, № 5. С. 1046–1052.
8. Струминский В.В. О законах развития и стабилизации аэродинамических возмущений // Доклады АН СССР. 1965. Т. 165, № 2. С. 293–296.
9. Струминский В.В., Канновская Е.М. Устойчивость несжимаемого пограничного слоя на скользящем крыле // Аэрогазодинамика. Тр. Первой Сибирской конф. по аэродинамике. Новосибирск, 1973. С. 95–99.
10. Струминский В.В., Довгаль А.В., Лебедев Ю.Б., Левченко В.Я., Тимофеев В.А., Фомичев В.М. Управление развитием возмущений в пограничном слое путем неравномерного нагревания поверхности // Изв. СО АН СССР. Серия техн. наук. 1988. № 11, вып. 3. С. 38–42.
11. Корнилов В.И., Левченко В.Я., Харитонов А.М. Исследования перехода пограничного слоя на крыловом профиле при сверхзвуковых скоростях // Изв. СО АН СССР. Серия техн. наук. 1971. № 3, вып. 1. С. 15–20.
12. Струминский В.В., Харитонов А.М., Черных В.В. Экспериментальное исследование перехода ламинарного пограничного слоя в турбулентный при сверхзвуковых скоростях // Изв. АН СССР. Механика жидкости и газа. 1972. № 2. С. 30–34.
13. Косинов А.Д., Маслов А.А. Развитие искусственно вызванных возмущений в сверхзвуковом пограничном слое // Изв. АН СССР. Механика жидкости и газа. 1984. № 5. С. 37–43.
14. Kosinov A.D., Maslov A.A., Shevelkov S.G. Experiments on the stability of supersonic laminar-boundary layers // J. Fluid Mech. 1990. Vol. 219. P. 621–633.
15. Антонов А.С., Бошняков Б.В., Дмитриев В.А., Затолока В.В., Пузырёв Л.Н., Ярославцев М.И. Аэродинамическая импульсная труба гиперзвуковых скоростей ИТ-301 // Аэрофизические исследования: сб. тр. Новосибирск, 1972. С. 20–24.
16. Аэрогазодинамика: Тр. Первой Сибирской конф. по аэродинамике, 28 июля–2 авг., 1969. Новосибирск: Наука, 1973. 341 с.
17. Академик А.А. Дородницын / составитель Г.А. Амирьянц. М.: Наука, 2013, 431 с.

Статья поступила в редакцию 21 января 2014 г.