

УДК 001(09)+62(09)



НИКИФОРОВА
Елизавета Владимировна,
аспирант кафедры
технической механики
Днепропетровского национального
университета
имени Олеся Гончара
(г. Днепропетровск)

**ВКЛАД УЧЕНЫХ ДНЕПРОПЕТРОВСКА В ТЕОРИЮ
КОЛЕБАНИЙ В ЖИДКОСТНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ
В XX в.**

Проведен исторический анализ трудов Днепропетровских ученых XX столетия по теории колебаний, которые возникают в двигательных установках ракет на жидком топливе. Проанализированы основные направления научных исследований при решении проблем по устранению низко- и высокочастотных колебаний. Приведены воспоминания конструкторов ведущего предприятия Днепропетровска – ГП «КБ «Южное».

Досліджено праці Дніпропетровських вчених з теорії коливань у двигунних установках на рідинному паливі. Проаналізовано основні напрями на етапі вирішення проблем низько- та високочастотних коливань, що виникали в двигунах у XX сторіччі при запуску ракет. Приведені спогади конструкторів провідного підприємства Дніпропетровська – ДП «КБ «Південне».

This article conducted the research of the scientists, that are working in Dnepropetrovsk on the theory of the oscillations in the propulsion systems for the liquid fuel. The main directions in the step by the solutions of the problem of solving low-and high-frequency oscillations are analyzed. The sciences occurred the launching missiles in the twentieth century. The memories of designers of the Dnepropetrovsk leading company Design office "Yuzhnoye" are given.

В процессе отработки жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) выяснилось, что при их работе возникают опасные высокочастотные и низкочастотные колебания, которые часто приводили к разрушению камеры сгорания. Историческая и техническая литературы свидетельствуют о фактах многочисленных и многочасовых отработок двигателей, которые затем были приняты в эксплуатацию. На современном этапе ракетостроения важно иметь информацию о всех работах ученых по данной проблематике.

Исследованием истории ракетостроения в Украине занимались ученые: О. А. Копыл, И. А. Пистоленко, И. В. Федоренко, А. А. Ларин, Д. В. Бреславский, В. Ф. Санин, В. С. Савчук и другие. Результаты, полученные днепропетровскими учеными по теории колебаний в ЖРД, до настоящего времени не были представлены на высоком уровне изложения и обобщения.

Цель данной статьи – историко-научный анализ работ ученых Днепропетровска по решению сложных проблем по гашению низкочастотных и высокочастотных колебаний в двигательных установках (ДУ) с ЖРД.

Предмет данного исследования – работы ученых Днепропетровска по теории колебаний в ЖРД в XX столетии.

Изложение основного материала. К первым работам в области ракетно-космической техники (РКТ) относятся работы Государственного института по реактивному движению (ГИРД). Целью создания первых двигателей было обеспечение старта и полета ракеты. Поэтому в раннем становлении РКТ об исследовании колебаний речи не было.

С проблемой гашения вредных колебаний в ЖРД ракетостроители столкнулись, когда начали разрабатывать двигательные установки (ДУ) больших мощностей. В СССР одни из первых отечественных ЖРД были созданы Пионером ракетной техники, основоположником отечественного двигателестроения, академиком Валентином Петровичем Глушко. Именно в период разработки и отработки ракет Р-1, Р-2, Р-5 и Р-5М впервые возникла проблема высокочастотных колебаний в ракетных двигателях.

В 1952 г. на физико-техническом факультете (ФТФ) Днепропетровского государственного университета (ДГУ) была организована кафедра двигателестроения, первым заведующим которой был профессор Ю. М. Гризодуб. К началу работы на кафедре Ю. М. Гризодуб уже защитил докторскую диссертацию по проблеме колебаний в ДУ. Под его научным руководством на кафедре развивалась теория динамики жидкостных ракетных двигателей. Первой работой, заложившей основы динамики ЖРД как учебной дисциплины, стала кандидатская диссертация И. И. Морозова [1, с. 38].

В 1960 г. выпускниками кафедры двигателестроения стали В. В. Пилипенко, Н. Г. Петренко, А. Г. Григорьев, Л. В. Пронь, В. А. Задонцев. В Конструкторском бюро «Южное» была разработана методика расчета процесса запуска ЖРД и проведен первый в СССР расчёт запуска. Стали возможны теоретические исследования переходных процессов, выбор оптимальной циклограммы запуска, сократилось количество испытаний, которые необходимо было проводить для отработки надежного запуска двигателя. Методика расчета учитывала функциональную схему процесса, запуска инерционности основных агрегатов: ТНА, гидравлических магистралей, камеры сгорания, характеристики регулирующих устройств [1, с. 39].

В 1969 г. сотрудники кафедры двигателестроения профессор В. А. Махин, будущий академик В. Ф. Присняков, доцент Н. П. Белик издали монографию «Динамика ЖРД» [2]. Впервые в открытой печати были представлены всестороннее рассмотрение вопросов динамики основных агрегатов ЖРД, методика расчёта импульса последствия тяги, вопросы автоматического регулирования, колебательных процессов в трубопроводах ДУ, вопросы динамики гидравлических систем ЖРД, неустойчивости рабочего процесса.

В процессе подготовки монографии [3] использовались работы сотрудников кафедры по динамике ЖРД. В 1983 г. книга была переиздана [1, с. 40].

Первая в СССР монография – «Теоретические основы экспериментальной отработки ЖРД» была издана в 1973 году сотрудниками кафедры профессорами В. А. Махиным и Л. В. Пронь. В ней наряду с вопросами экспериментальной отработки ускоренных испытаний, планирования отработки и анализа их результатов, рассмотрены вопросы выяснения причин аварийных исходов испытаний ЖРД.

В результате проведенных на кафедре двигателестроения исследований были подготовлены и защищены кандидатские диссертации по изучению колебаний в двигательных установках (к.т.н. А. С. Глебов, к.т.н. В. Н. Гоцуленко) [4, 5]. Научная работа сотрудников кафедры

двигателестроения позволила получить новые данные в исследовании вопросов динамики двигательных установок.

Глубокие исследования процессов возникновения термоакустических колебаний в газожидкостных потоках и в сложных трубопроводах провели ученые ДГУ проф. Н. М. Беляев, доц. Н. П. Белик, с.н.с., к.т.н. А. В. Польшин [3].

В 1958 г. в КБЮ было организовано конструкторского бюро жидкостных ракетных двигателей, которое в дальнейшем было реорганизовано в КБ-4.

Основные проблемы, возникавшие при рассмотрении гашения колебаний в ЖРД, которые требовали безотлагательного решения, являются [6]:

- 1) неустойчивость рабочего режима ЖРД;
- 2) качественный механизм возбуждения колебаний давления в камере сгорания;
- 3) процесс выгорания топлива в камере сгорания;
- 4) физическая картина возбуждения низкочастотных колебаний;
- 5) высокочастотные колебания и акустика камеры сгорания;
- 6) высокочастотные продольные колебания;
- 7) неустойчивость, вызываемая совместными колебаниями ракеты и двигателя.

В отличие от самостоятельных КБ, разрабатывающих двигатели для ракет различных предприятий, главной задачей КБ-4 является разработка двигателей и двигательных установок на жидких и твердых топливах для комплексов Государственного предприятия «КБ «Южное» [7].

Работа в тесном контакте с разработчиками ракет позволяла глубоко понимать нужды проектантов и откликаться на их пожелания нестандартными схемами и конструктивными решениями. Такое взаимодействие приводило к получению на разработанных двигателях высоких энергомассовых характеристик на уровне лучших отечественных и зарубежных образцов.



Иван Иванович Иванов Александр Викторович Климов Владимир Николаевич Шнякин

Рис. 1. Главные конструктора КБ-4.

Первым Главным конструктором КБ-4 стал Иван Иванович Иванов (рис. 1, слева). С 1979–1994 гг. Главным конструктором КБ-4 был Александр Викторович Климов (рис. 1), а с 1990 по 2002 гг. – Владимир Николаевич Шнякин (рис. 1, справа).

За годы существования КБ двигательных установок было разработано более 35 двигателей и двигательных установок на жидких топливах [7]. Большая часть их (18 двигателей) прошла полный цикл отработки и устанавливалась на ракетах, созданных Государственным предприятием «КБ «Южное». Это – маршевые двигатели для верхних ступеней ракет, созданных ГП «КБ «Южное», рулевые двигатели для первых и вторых ступеней ракет, в том числе РН «Циклон» и «Зенит», космические двигатели, в том числе двигатели лунного модуля РН Н-1 и другие двигатели специального назначения. В разработанных двигателях использовались высококипящие компоненты топлива АК-2 + керосин, АТ + НДМГ, монотопливо и экологически чистая пара кислород + керосин [7].

Специалистами КБ двигательных установок был накоплен уникальный опыт при отработке и изготовлении двигателей, по конструктивным и технологическим решениям. В частности, это маршевые двигатели верхних ступеней РН, РД854 и РД861 со сверхзвуковыми соплами трубчатой конструкции; маршевые двигатели вторых ступеней РН, РД857 и РД862, работающие на высококипящих компонентах топлива с дожиганием

восстановительного газа, где применен способ управления вектором тяги путем вдува генераторного газа в сверхзвуковую часть сопла; двигатель лунного посадочного модуля РД858 с турбонасосной системой подачи компонентов топлива; двигатель РД8 второй ступени РН «Зенит» – первый рулевой двигатель с дожиганием генераторного газа; уникальный двигатель РД866 с комбинированной системой подачи компонентов топлива, который обеспечивает любое количество включений в невесомости. Был отработан двигатель РД120 с форсированной тягой до 93тс совместно с НПО «Энергомаш», рулевой двигатель РД8 для РН «Зенит» с двукратным запуском. На базе существующего двигателя третьей ступени РН «Циклон-3» КБ двигательных установок разработан двигатель РД861К тягой 8тс с многократными включениями [7].

Неоценимо весомый вклад в исследование процессов кавитации в ДУ и демпфирования колебаний внес член-корреспондент АН УССР, академик, д.т.н. Виктор Васильевич Пилипенко. Еще студентом физико-технического факультета В. В. Пилипенко заинтересовало направление «Двигателестроение», тогда и состоялись первые шаги в направлении дальнейшего изучения данной тематики. Свою трудовую деятельность В. В. Пилипенко начал в КБ-4 КБЮ.

После года работы, будущий ученый взялся за решение проблемы, связанной с гидроударами в ракетном двигателе КБ-4 при его отключении. Двигатель имел пироклапан, с помощью которого осуществлялась подача топлива. После прекращения подачи горючего, двигатель очень быстро отключался, что вызывало его разрушение. Нужно было определить величину гидроудара, от чего она зависит, какое демпфирующее устройство можно использовать. Для решения этих задач В. В. Пилипенко разработал импедансный метод расчета переходных режимов гидравлических систем [8].

После защиты в 1961 г. кандидатской диссертации он возглавил (в 1964 г.) сектор динамики жидкостных ракетных двигателей в КБЮ. В секторе проводились многочисленное моделирование и экспериментальная отработка динамических процессов в ДУ. Сотрудники сектора брали участие в создании

ряда образцов ракетно-космической техники.

В 1960-х годах перед профессором В. В. Пилипенко стала проблема перехода от решения задач по распространению гармонических колебаний к исследованию переходных режимов в сложных гидравлических системах. На данном этапе необходимо было найти собственные и резонансные частоты гидравлической системы.

Теоретические изыскания сопровождались большой работой по отработке двигателей на стендах. Хорошо запускались двигатели без дожигания генераторного газа, т.е. по открытой схеме, с постоянной времени 0,3–0,4 секунды. Сектор во главе с В. В. Пилипенко перешел на конструирование двигателей с дожиганием генераторного газа, постоянная времени турбонасосного агрегата которого составляла 0,03–0,04 секунды. Эти двигатели моментально выходили на режим, и если окислитель и горючие одновременно поступали в камеру сгорания, то двигатель не запускался [8]. Результаты работы профессора В. В. Пилипенко отображены в трех монографиях, в авторских свидетельствах и патентах, в многочисленных статьях.

Выводы. Обобщены результаты и проведен анализ работ ученых Днепропетровского региона по проблеме колебаний в ДУ с ЖРД, которые были выполнены в XX столетии. Приведен историко-хронологический анализ исследований ученых и конструкторов по актуальной в теории колебаний тематике: низко и высокочастотные колебания в ЖРД. Представлены основные направления исследований, выделены приоритетные результаты.

Список использованной литературы

1. *Пронь Л. В.* Разработка основ динамики ракетных двигателей на кафедре двигателестроения / Л. В. Пронь // Вісн. ДНУ. Сер. Ракетно-космічна техніка. – Д., 2001. – Вип. 5. – С. 38–48.
2. *Махин В. А.* Динамика ЖРД / В. А. Махин, В. Ф. Присняков, Н. П. Белик. – М. : Машиностроение, 1969. – 384 с.

3. *Беляев Н. М.* Термоакустические колебания газожидкостных потоков в сложных трубопроводах энергетических установок / Н. М. Беляев, Н. П. Белик, А. В. Польшин. – К. : Высш. шк., 1985. – 160 с.

4. *Глебов А. С.* Исследование влияния волновых процессов в топливоподающих системах на работу ЖРД : дис. на соиск. ученой степени канд. техн. наук : 05.14.06 / А. С. Глебов. – Д., 1957. – 161 с.

5. *Гоцуленко В. Н.* Некоторые вопросы устойчивости турбомшины в системе подачи компонентов ЖРД : дис. на соиск. ученой степени канд. техн. наук : 05.14.06 / В. Н. Гоцуленко. – Д., 1968. – 143 с.

6. *Васильев А. П.* Основы теории и расчета жидкостных ракетных двигателей / А. П. Васильев, В. М. Кудрявцев, В. А. Кузнецов ; под ред. В. М. Кудрявцева. – 3-е изд. – К. : Высш. шк., 1983. – 703 с.

7. *Задонцев В. А.* Герой Социалистического Труда Иван Иванович Иванов (1918–1999) – первый Главный конструктор двигательного КБ-4 ОКБ-586 КБ «Южное» / XVIII Международный конгресс двигателестроителей, 14–19 сент. 2013 г., Харьков – Рыбачье – Украина : программа. – Х., 2013. – С. 9.

8. *Флагман* космічної освіти, або «Секретний» підрозділ – 2 : до 60-річчя фізико-технічного факультету Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара : [вітання, нариси, спогади] / ред. кол. : М. В. Поляков (голова) та ін. – Д. : Пороги, 2011. – 306 с.