

**ВКЛАД УКРАИНСКИХ УЧЕНЫХ
В ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ДВИГАТЕЛЕЙ
ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**

А. А. Ларин

Двигатели внутреннего сгорания (ДВС), ставшие в XX веке основным источником энергии, создали много проблем динамической прочности. Как и в других машинах циклического действия, работающих при переменных возмущающих воздействиях, в них возникают колебательные процессы. Они отрицательно влияют не только на комфортность объекта, на котором установлен двигатель, но и на надежность и ресурс как этого объекта. Так и самого двигателя. Решение проблем динамической прочности ДВС стало мощным стимулом для развития прикладной теории механических колебаний в 1930-1970-е гг.

В 1930-е гг. в двигателях стали возникать крутильные колебания, приводящие к поломкам не только трансмиссии, но даже и коленчатых валов. Сначала они проявились в авиационных двигателях, которые являются наиболее мощными и в то же время легкими. Позже проблемы вибраций возникли и в быстроходных автомобильных и танковых моторах.

Советские двигателестроители столкнулись с резонансными колебаниями при модернизации моторов, выпускаемых по лицензиям западных фирм, а позже и при создании отечественных. Одним из пионеров в проведении динамических расчетов был В. Н. Челомей, который еще студентом при прохождении производственной практики на Запорожском заводе №29 смог решить проблему поломки коленчатого

вала авиационного двигателя типа BMW-6, модернизируемого на заводе. Позже он опубликовал ряд работ, посвященных колебаниям клапанных пружин, крутильным колебаниям коленчатых валов, прохождению авиадвигателем резонансных режимов, и динамическому уравниванию и др.

Первоначально проблема крутильных колебаний решалась путем отстройки от резонанса изменением параметров системы, либо применением antivibratora. В связи с этим ограничивались расчетом свободных колебаний линейной системы, которая сводится к определению собственных значений и собственных векторов матрицы. Поскольку точно эта задача без применения мощной вычислительной техники решена быть не может, первоначально применялись либо графические методы, либо специально разработанные численные, их которых наибольшее распространение получили метод таблиц Толле и метод цепных дробей, предложенный В. П. Терских. Свой вклад в решение проблемы внесли ученые Харьковского механико-машиностроительного института (сейчас НТУ «ХПИ»). Профессор И. М. Бабаков предложил метод приближения формами колебаний, а А. М. Данилевский – метод приведения матрицы к форме Фробениуса. Эти методы оказались для систем большой размерности эффективнее методов Толле и Крылова, однако, к сожалению, не получили большого распространения.

В 1938 г. на Харьковском паровозостроительном заводе (ХПЗ) был создан первый в мире танковый дизель В-2, долгое время остававшийся и единственным танковым дизель-мотором. Успехи советских танкостроителей во многом обусловлены применением этого двигателя, который стоял на всех типах тяжелых и средних танков, в том числе и на знаменитых Т-34, а также самоходных артиллерийских установках, боевых катерах, тягачах и др. Драматическая история разработки и организации производства дизеля В-2 описана достаточно подробно. Отметим только, что динамические расчеты для него проводились специалистами Украинского научно-исследовательского авиадизельного института (г. Харьков), которым руководил профессор Я. М. Майер. Его ученик Ю. А. Гопп был видным специалистом по демпферам и antivibratorам, о чем свидетельствует его монография, которая является одним из самых фундаментальных трудов в этой области теории колебаний.

К концу 1930-х гг., наряду с крутильными колебаниями, в коленчатых валах ДВС стали проявляться изгибные и продольные колебания, исследование которых требовала более сложной модели. Поэтому, наряду с изучением крутильных колебаний, разрабатывался и второй подход, при котором коленчатый вал рассматривался как статически неопределимая рама сложной конфигурации, находящаяся под действием сил давления газов и сил инерции неуравновешенных масс элементов вала и присоединенных к нему деталей кривошипно-шатунных механизмов. Оба подхода достаточно долго развивались практически независимо друг от друга, решали, по существу, различные задачи и, наряду с их очевидными достоинствами, обладали весьма существенными недостатками. В связи с этим в 1940-х гг. наметилась устойчивая тенденция сближения обоих подходов, позволяющая в значительной степени избавиться от присущих им недостатков и в комплексе подойти к решению проблемы динамической прочности коленчатых валов.

Развитие методов расчета коленчатых валов в СССР связано с деятельностью академика АН УССР, директора Института строительной механики С. В. Серенсена, использовавшего в расчетах новые способы определения запаса прочности. В годы войны сотрудники этого института, эвакуированного из Киева в Уфу, работали на авиамоторном заводе №26, занимаясь наладкой технологических процессов авиационных моторов. Основной продукцией завода был авиамотор М-105 конструкции В. Я. Климова, модификацией которого с пушкой, расположенной в вале пропеллера, оснащались истребители А. С. Яковлева. В ходе боевых действий выяснилась недостаточная мощность двигателя, из-за чего наши истребители уступали Мессершмидтам в скорости. Была поставлена задача в кратчайшие сроки, не снижая, а даже увеличивая темпы выпуска мотора М-105, увеличить его мощность. Сделать это решили за счет увеличения подачи топлива, не меняя размеров двигателя. После этого некоторые детали, имевшие и без того небольшой запас прочности, стали выходить из строя. Наблюдались поломки передачи от двигателя на винт, деталей цилиндрико-поршневой группы, коленчатого вала и даже самого картера двигателя. Для решения проблемы были привлечены сотрудники отдела динамической прочности А. Д. Коваленко, Г. С. Писаренко и И. М. Тетельбаум под руководством С. В. Серенсена. Они занялись вопросами упрочнения деталей двигателя за счет улучшения качества материала и конструктивных форм без изменения их габаритов.

Деятельность украинских ученых принесла свои плоды, и вскоре в серию пошел форсированный двигатель ВК-105ПФ. Оснащенный им истребитель ЯК-3 в апреле 1943 г. достиг скорости 660 км/час. Сотрудничество конструктора В. Я. Климова с учеными продолжалось и далее, в результате чего появился новый двигатель ВК-107. Самолет ЯК-3 с этим мотором превысил скорость 700 км/час, став самым быстрым серийным истребителем в мире. Во время войны результаты работы ученых Института механики сразу передавались двигателестроителям и даже не оформлялись в виде отчетов. Только после окончания войны они были опубликованы.

Свой вклад в проблемы динамики авиадвигателей внесли и представители школы нелинейной механики академиков Н. М. Крылова и Н. Н. Боголюбова. Так в докторской диссертации Ю. А. Митропольского в качестве иллюстрации применения асимптотических методов к расчету нестационарных колебаний нелинейных систем рассматривается проход через резонанс авиамотора М-105.

Большой вклад в развитие динамических расчетов приводов с ДВС внесли ученые Харьковского политехнического института, которыми руководил ученик Я. М. Майера профессор ХПИ Л. И. Штейнвольф. Работы проводились в основном для Харьковского завода транспортного машиностроения (бывший ХПЗ). На этом заводе были созданы лучшие отечественные тепловозные двигатели типа Д-100 и Д-70, а также танковый дизель 5ТДФ, ставший родоначальником семейства двигателей, предназначенных для бронетанковой техники. В ходе работы над вопросами динамической прочности указанных дизелей рассматривались свободные и вынужденные колебания дискретных механических систем, в том числе и нелинейных, переходные процессы, виброгашение и виброизоляция, были решены многие проблемы теории колебаний. Венцом работы этого коллектива явилось создание

программного комплекса «КИДИМ», основанного на автоматическом составлении средствами ЭВМ уравнений движения дискретных систем произвольной структуры, в том числе с нестационарными и неголономными связями. Комплекс предназначен для проведения кинематических и динамических расчетов механизмов и машин и внедрен на ряде предприятий и в учебном процессе при изучении теоретической механики.