

УДК 534.014.1 (09)

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ АВИАМОТОРОВ
УКРАИНСКИМИ УЧЕНЫМИ В 30-40-Е ГОДЫ XX ВЕКА***А. А. Ларин**НТУ «Харьковский политехнический институт»,**larinpokotilovka@mail.ru*

История развития советского авиадвигателестроения изучена достаточно подробно, однако из поля зрения исследователей, как правило, выпадают вопросы прочности и надежности двигателей. Данная работа посвящена деятельности украинских ученых, внесших огромный вклад в совершенствование авиадвигателей в предвоенное время и в годы войны. Среди них такие видные ученые, как академики АН УССР С. В. Серенсен, Н. М. Крылов, Н. Н. Боголюбов, Ю. А. Митропольский, А. Д. Коваленко и Г. С. Писаренко.

Боевая авиация, появившаяся в годы первой мировой войны, в 1920-е гг. стала самостоятельным видом вооруженных сил наряду с сухопутными войсками и военно-морским флотом. Было ясно, что в будущей войне достижение победы невозможно без господства в воздухе. Авиационная промышленность стала самой наукоемкой отраслью. В частности, именно самолетостроение стало источником большого количества задач в области теории механических колебаний, в том числе и новых проблем, таких как флаттер и шимми. Авиационные поршневые двигатели явились первыми ДВС, для которых вопросы прочности и надежности невозможно было решить без исследования проблем вибраций. Это объясняется тем, что их мощность на порядок выше, чем у других при меньшей удельной массе.

В первой трети XX века СССР сильно отставал от ведущих Западных стран в современных отраслях промышленности. Только к 1928 г. был восстановлен довоенный уровень производства. Хотя попытки создания новой техники и предпринимались, они в области авиадвигателестроения не увенчались успехом. Причина неудач заключалась в общей технической отсталости страны, недостатке кадров, причем не только технической интеллигенции, но и квалифицированных рабочих, низкой культуре производства, отставании смежных отраслей, в первую очередь металлургии. В связи с этим было решено в первую очередь освоить производство двигателей, копируя лучшие иностранные образцы. Конечно, выпуск лицензионных двигателей позволял экономить время и средства, благодаря использованию не только готовой конструкции, но и технологии и, самое главное, отсутствию мучительного процесса доводки двигателя. Однако выпуск готовых двигателей означал отставание советской авиапромышленности, а также не

позволял отечественным конструкторам приобрести необходимый опыт. Гражданская война в Испании, особенно на ее завершающей стадии, показала отставание советской авиации от зарубежной и по скорости, и по «потолку», и по вооружению. Для создания новых самолетов требовались более мощные двигатели, и перед конструкторами была поставлена задача разработки оригинальных конструкций двигателей, не уступающих зарубежным.

Отечественная авиадвигательная промышленность к тому времени уже достаточно окрепла. С 1935 г. при серийных заводах были организованы самостоятельные опытные конструкторские бюро (ОКБ), в которых и сосредоточился основной объем опытного строительства. Для более полного использования зарубежного опыта, а также увеличения номенклатуры авиационных двигателей была произведена покупка лицензий на ряд наиболее совершенных образцов. Самыми распространенными из них стали V-образные моторы BMW и «Испано-Сюиза», а также радиальные (звездообразные) двигатели фирм «Райт» (США) и «Гном-Рон» (Франция). ОКБ, которым было поручено внедрение этих двигателей в производство, сразу же предпринимали меры к их дальнейшему совершенствованию. Перечисленные моторы и положили начало авиационному двигателестроению в СССР, на их освоении и модификации сформировались отечественные конструкторские бюро.

Пока советские моторостроители занимались внедрением в производство лицензионных двигателей, проблемы вибраций их почти не беспокоили, так как отечественные двигатели отличались от западных аналогов только материалами, замена которых не влияла на инерционные и упругие свойства деталей моторов. И только когда на базе импортных двигателей стали создаваться свои оригинальные конструкции, возникли и проблемы колебаний. Надо сказать, что советские инженеры не были готовы к решению проблем вибраций. Одним из первых исследователей в этой области был В. Н. Челомей. Будучи студентом Киевского политехнического института, он в 1936 г. проходил производственную практику на Запорожском моторостроительном заводе № 29. Владимир Николаевич не только решил проблемы резонансных крутильных колебаний коленчатого вала и поломки клапанных пружин авиадвигателей, но и прочел для конструкторов ОКБ специально подготовленный им курс лекций по актуальнейшим вопросам динамики авиадвигателей. В них молодой ученый изложил результаты собственных оригинальных и весьма эффективных исследований. Лекции получили очень высокую оценку специалистов завода, так как вооружили их необходимыми методами расчета, позволившими быстро преодолеть серьезные затруднения при создании новых двигателей. Некоторые работы Челомея по теории колебаний стали классическими: теория клапанных пружин, теория прохождения авиадвигателем резонансных режимов, теория крутильных колебаний коленчатых валов и их динамическое уравновешивание.

Ведущей организацией в Украине в области динамических расчетов на прочность был Институт строительной механики АН УССР, с работами которого в этой области считались и в центральных институтах Советского Союза. Важнейшей из решаемых в институте проблем была динамическая прочность коленчатых валов, главным образом авиационных двигателей. Еще в 1936 г. по договору с Центральным научно-исследовательским институтом машиностроения была выполнена тема: «Расчет динамической прочности многоопорных коленчатых валов». Результаты этой работы были использованы при разработке расчетных карт для КБ моторостроительных заводов [1, ед. хр. 64, л. 19].

По заданию № 225 в 1939 г. разрабатывалась тема «Изучение динамической прочности коленчатых валов быстроходных двигателей», которая заканчивалась в январе 1940 г. [1, ед. хр. 53, л. 5]. Несмотря на определенные успехи в совершенствовании коленчатых валов и методов расчетов их динамической прочности, в эксплуатации и при опытных испытаниях моторов часто наблюдались случаи поломки коленчатых валов, указывающие на их недостаточную прочность в отношении динамических нагрузок [1, ед. хр. 54, л. 1–2].

В связи с этим при 3-м Главном управлении Народного комиссариата авиационной промышленности (НКАП) 2 августа 1939 г. состоялось совещание по вопросу увеличения прочности коленчатых валов авиамоторов. На нем присутствовали директор Института строительной механики академик С. В. Серенсен и представители Центрального института авиационного моторостроения (ЦИАМ), Научно-испытательного института ВВС Красной Армии (НИИ ВВС КА), и моторостроительных заводов № 16 и № 24. На совещании были намечены мероприятия по совершенствованию коленчатых валов [1, ед. хр. 54, л. 1–2]. Совещание заметно активизировало работы сотрудников Института строительной механики по проблеме динамической прочности коленчатых валов авиадвигателей. Через месяц началась Вторая мировая война, и частная проблема динамической прочности коленчатых валов, вследствие отставания нашей авиации по причине малой надежности новых мощных моторов, приобрела важнейшее стратегическое значение.

Работы по прочности коленчатых валов возглавил академик С. В. Серенсен, оставивший пост директора института. В состав отдела динамической прочности, которым он руководил, наряду с другими сотрудниками, вошли будущие видные ученые старшие научные сотрудники, кандидаты технических наук А. Д. Коваленко, Г. С. Писаренко и И. М. Тетельбаум. К важнейшим научным достижениям отдела в 1940 г. относится новый способ расчета коленчатого вала, основанный на глубокой теоретической и экспериментальной разработке метода расчета на прочность пространственного вала на многих опорах. Данный способ позволил не только уточнить, но и упростить определение запасов прочности вала и предназначался для практических расчетов в конструкторских бюро [1, ед.

хр. 65, л. 12]. В зв'язи з необхідністю обосновання критеріїв динамічних розрахунків валів, под керівництвом С. В. Серенсена розроблялась тема № 7 «Влияние пластических деформаций асимметричного цикла на прочность валов при крутильных колебаниях». В рамках этой теми в 1940 г. была спроектирована установка для изучения условий пластичности при плоском напряженном состоянии и разработана методика определения допускаемых напряжений при крутильных колебаниях в коленчатых валах. Работа координувалась с Институтом механики АН СССР и ЦИАМом [1, ед. хр. 64, л. 61; ед. хр. 65, л. 21].

Другое важнейшее направление исследований – крутильные колебания валопроводов. Расчет крутильных колебаний в линейных моделях к концу 1930-х гг. был уже хорошо освоен заводскими КБ. Однако в рядных авиамоторах крутильная система валопровода включала нелинейности, поскольку пропеллер соединялся с валом двигателя посредством зубчатой передачи, в которой всегда имеется технологический зазор, к тому же в передачу включалась упругая муфта с нелинейной характеристикой. При Институте строительной механики существовала кафедра математической физики. Ее сотрудники академик Н. М. Крылов и член-корреспондент АН УССР Н. Н. Боголюбов разработали новый эффективный способ построения резонансных кривых для нелинейных крутильных колебаний многомассовых систем, который позволил практически осуществить расчеты, весьма важные в авиамоторостроении. В годы войны ими был построен энергетический метод расчета резонансных крутильных колебаний коленчатых валов и передач авиамоторов с нелинейными муфтами [1, ед. хр. 86, л. 5]. Методы расчетов нелинейных систем Крылова – Боголюбова были внедрены не только на авиамоторных заводах, но и в ЦИАМе [1, ед. хр. 95, л. 2]. Подробнее с этим можно ознакомиться в статье [2].

В области экспериментальных исследований в рамках темы № 12, выполняемой по договору с НИИ ВВС КА, велась разработка установки для изучения вибраций коленчатых валов звездообразных моторов [1, ед. хр. 64, л. 9; ед. хр. 65, л. 17].

В годы Великой Отечественной войны Институт строительной механики был эвакуирован в Уфу, где его сотрудники активно работали на авиамоторном заводе № 26. В работе [3] мы рассказывали, какой огромный вклад они внесли в совершенствование самого распространенного в советских ВВС авиамотора М-105 и его дальнейшего развития М-107, разработанных в КБ В. Я. Климова. Эти двигатели применялись на всех истребителях конструкции А. С. Яковлева, а также на ЛаГГ-3 и на бомбардировщике Пе-2. Именно деятельность украинских ученых позволила увеличить мощность двигателя за счет форсирования, не снижая, а даже увеличивая темпы его выпуска.

Особенно важной стала работа отдела динамической прочности, в котором остались только перечисленные ранее четыре научных сотрудника. Основной его задачей стала разработка методики исследования аварийных коленчатых валов в связи с резонансом изгибных колебаний коленчатого вала. В результате деятельности отдела был разработан уточненный метод расчета прочности коленчатых валов рядных двигателей [1, ед. хр. 76, л. 2; 1, ед. хр. 86, л. 4, 5]. Этот способ и изменение технологии изготовления коленчатых валов, обеспечивающее более надежную работу, были приняты главным металлургом завода №26 [1, ед. хр. 95, л. 1].

И. М. Тетельбаум предложил радикальный способ определения усилий в валах рядных двигателей путем электромеханического моделирования. Им был спроектирован расчетный стенд, представляющий модель двигателя, составляемую из дросселей и конденсаторов, фотоэлектрического датчика импульсов тангенциальных усилий и измерительного устройства [1, ед. хр. 87, л. 2, 7, 24–25]. Позже он применил электромеханическое моделирование для изучения более сложных – изгибных и связанных изгибно-крутильных колебаний, а также для расчета статически неопределимых систем. В ЦИАМе был создан расчетный стенд, на котором за время его эксплуатации проведены расчеты 50 рядных авиамоторов. Результаты работ И. М. Тетельбаума были опубликованы после войны [4].

Среди работ, посвященных динамике авиамоторов, также заслуживает внимания расчет изгибных колебаний коленчатых валов звездообразных двигателей, выполненный по заданию НИИ ВВС старшими научными сотрудниками В. Г. Чудновским и И. М. Варваком. Причиной аварий, имевших место при работе коленчатых валов, был излом при изгибе. Разработанная методика расчета изгибных колебаний коленчатых валов была применена для расчета авиамотора М-82 (АШ-82), созданного в КБ А. Д. Швецова [1, ед. хр. 67, л. 2; 5]. Результаты расчетов были подтверждены соответствующими экспериментами.

Внедрение этой работы, которое проводил НИИ ВВС имело важнейшее значение. Результаты проведенных сотрудниками института исследований были использованы при доводке форсированной модификации авиамотора – АШ-82ФН мощностью 1850 л.с. [1, ед. хр. 95, л. 1]. Истребитель Ла-5ФН с этим двигателем достиг скорости 634 км/ч. Его дальнейшее развитие – Ла-7, вооруженный тремя пушками, по праву считается одним из лучших истребителей Второй мировой войны. В 1944 г. с мотором АШ-82ФН был выпущен фронтовой бомбардировщик Ту-2. После войны АШ-82Т, взлетная мощность которого возросла до 1900 л.с., много лет служил в гражданской авиации на пассажирских самолетах Ил-12 и Ил-14 и вертолетах Ми-4 и Як-24.

Полученные в годы войны результаты и опыт расчетов нашли отражение в дальнейшей деятельности сотрудников Института строительной механики. В

частности, по темплану 1946 г. отделом динамики и прочности деталей машин выполнялась тема «Исследование влияния жесткости коленчатого вала и жесткости опор на прочность вала» (руководитель темы А. Д. Коваленко, исполнитель Л. О. Ямпольский), при выполнении которой обобщен опыт, полученный во время войны [6]. Вопрос о допустимых амплитудах поперечных колебаний коленчатого вала в авиационных двигателях решался из условий не только сохранения прочности самого вала, но и создания нормальных условий работы смежных с ним деталей. Представленное исследование позволяет по разработанной схеме оценить действительное влияние упругости опор на распределение внутренних усилий в коленчатом вале. В подготовленном отчете дан анализ предшествующих работ, в том числе и Института строительной механики.

Опыт расчетов поперечных колебаний коленчатых валов звездобразных авиационных двигателей обобщен в техническом отчете по теме № 16, выполненной также по темплану 1946 г. сотрудником отдела динамической прочности П. Г. Подчасовым под руководством начальника отдела и заместителя директора института по научной части Н. И. Черняка [7].

В 1950-е гг. авиация в основном перешла на использование газотурбинных двигателей и многие ученые, занимавшиеся динамикой ДВС, обратились к расчетам транспортных двигателей. Что касается Института строительной механики, то постепенно работы по динамике коленчатых валов там были свернуты, а ведущие ученые, занимавшиеся этой проблемой, посвятили свои усилия другим задачам.

Однако нелинейные колебания валопроводов авиамоторов по-прежнему оставались одним из вопросов, которыми занималась кафедра математической физики. Так в докторской диссертации Ю. А. Митропольского, защищенной в 1950 г. и посвященной нестационарным колебаниям нелинейных систем со многими степенями свободы, в качестве примера рассматривается прохождение через резонанс валопровода авиамотора М-105 [2, с. 66–67].

Вклад ученых Института строительной механики АН УССР в проведение динамических расчетов авиамоторов трудно переоценить. От их деятельности в предвоенные и военные годы зависели не просто качество боевых самолетов, но и победа в воздухе, и вообще в ходе всей войны.

Литература

1. Архив Института механики НАН Украины, оп. 1
2. Ларин А. А. Исследования крутильных колебаний авиамоторов основателями нелинейной механики Н. М. Крыловым, Н. Н. Боголюбовым и Ю. А. Митропольским в 1940-е гг. / А. А. Ларин // Вісник Дніпропетровського

університету. – 2009. – № 1/2. – Серія історія і філософія науки і техніки. – вип. 17. – С. 61–68.

3. Ларин А. А. Деятельность Института строительной механики АН УССР в области динамической прочности в 1930–1940-е гг. / А. А. Ларин // Вестник НТУ «ХПИ» История науки и техники. – 2009. – Вып. 53. – С. 67–79.

4. Тетельбаум И. М. Электрическое моделирование как метод исследования динамических крутильных нагрузок валов поршневых двигателей / И. М. Тетельбаум. // Динамика и прочность коленчатых валов. – М.–Л.: Изд-во АН СССР. – 1948. – С. 140–169.

5. Методика определения жесткости изгиба коленчатого вала звездообразного мотора. / Отчет по теме за 1943 г. // Архив Института механики НАН Украины, оп. 2. – 64 л.

6. Исследование влияния жесткости коленчатого вала и жесткости опор на прочность вала / Технический отчет по теме № 14 (по темплану 1946 года). – К. – 1947. – – 18 с. // Фонды архива Института механики НАН Украины, оп. 2

7. Определение допустимых амплитуд поперечных колебаний коленчатых валов авиационных двигателей / Технический отчет по теме № 16 (по темплану 1946 года). – К. – 1947. – 17 с. // Фонды архива Института механики НАН Украины, оп. 2