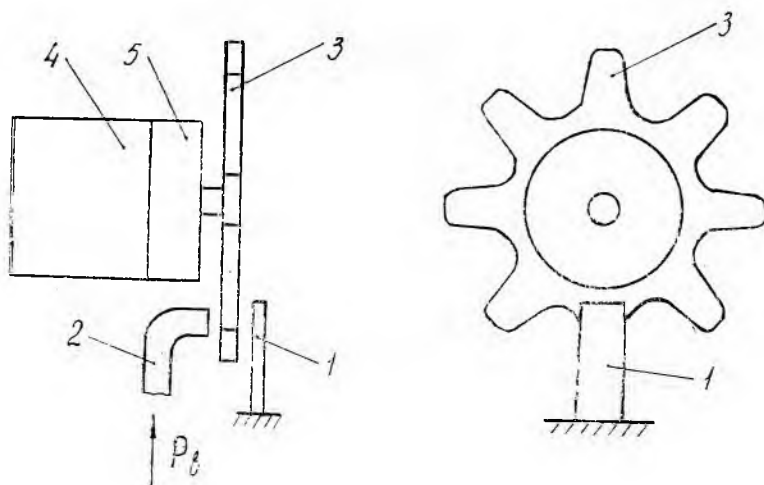


К. А. ЖУКОВ, В. П. ИВАНОВ,
В. А. ПИСЬМЕНОВ, И. Я. РАТКИН

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ВИБРАЦИОННОГО СТЕНДА КуАИ-ВВ-2А

При значительных ресурсах лопаточных машин имеются случаи высокочастотных усталостных поломок деталей, что вызывает необходимость проведения различных доводочных работ, неизбежно связанных как с усталостными испытаниями, так и вибрационными исследованиями деталей на высокочастотных формах колебаний.

Имеющееся испытательное оборудование, основанное на поступательно-кинематическом возбуждении, не позволяет прово-

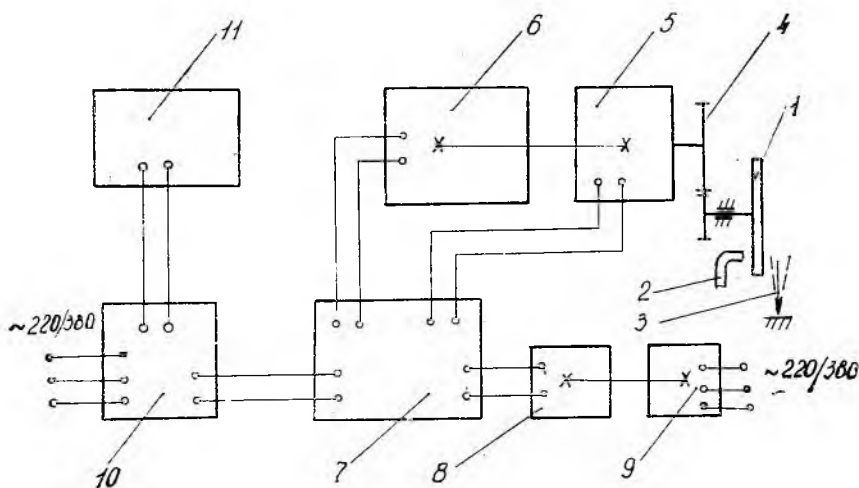


Фиг. 1. Принципиальная схема вибростенда КуАИ-ВВ-2А:
1 — исследуемый объект; 2 — воздушное сопло; 3 — модулирующий диск
4 — привод вибратора; 5 — мультипликатор.

дить подобные испытания, так как эффективность возбуждения резонансных колебаний на высших формах зависит не только от уровня возбуждающей силы, а и от того, как прикладывается эта сила к объекту испытания.

Наиболее применим для подобных работ воздушный вибратор типа КуАИ-ВВ-2А, подробное описание которого дано в работе [1].

В основе вибратора КуАИ-ВВ-2А лежит принцип возбуждения детали струей сжатого воздуха, истекающей из сопла и модулированной вращающимся профилированным диском. Схема установки представлена на фиг. 1.



Фиг. 2. Блок-схема вибростенда КуАИ-ВВ-2А:

1 — модулирующий диск; 2 — воздушное сопло; 3 — исследуемый объект; 4 — мультипликатор; 5 — электродвигатель постоянного тока; 6 — синхронный электродвигатель переменного тока; 7 — пульт управления; 8 — генератор постоянного тока; 9 — электродвигатель переменного тока; 10 — мощный усилитель Ту-5; 11 — задающий генератор.

В отличие от ранее применявшихся в вибрационных лабораториях воздушных вибраторов вибратор КуАИ-ВВ-2А обеспечивает достаточную для усталостных испытаний стабилизацию частоты возбуждения. Кроме этого, установка позволяет дистанционно осуществлять изменение места приложения возбуждающей силы, что обеспечивает выбор наиболее эффективной точки возбуждения исследуемой формы колебаний.

Принципиальная электрическая схема вибратора представлена на фиг. 2.

В настоящее время поддержание заданного уровня возбуждения при работе на вибраторе КуАИ-ВВ-2А осуществляется оператором путем изменения давления сжатого воздуха, подводимого к соплу, однако принципиально возможно осуществление автоматического поддержания уровня возбуждения.

В организации был проведен ряд работ по оценке точности поддержания заданного режима испытаний. В качестве регистрирующей аппаратуры был использован комплекс аппаратуры РУВС-2 с интервалами регистрации 2,5% от номинального уровня σ_n .

За период испытаний детали на базе $2 \cdot 10^7$ циклов при частоте испытаний $f = 3000$ гц было зарегистрировано 500 знакопеременных нагружений с уровнем на 2,5% выше и ниже σ_n и 100 нагружений с уровнем на 5% выше и ниже σ_n . Остальное время деталь нагружалась напряжениями, не выходящими за пределы $\sigma_n \pm 0,025\sigma_n$.

Как видно из результатов экспериментальных замеров, точность поддержания заданного уровня испытаний деталей на вибрационном стенде КуАИ-ВВ-2А вполне удовлетворяет современным требованиям, предъявляемым к усталостным испытаниям.

В последнее время получили свое развитие исследовательские работы по определению влияния частоты нагружения на предел усталости различных материалов.

Эти работы, как правило, проводятся на двух типах установок — пневматических резонаторах и пьезо-магнитострикционных установках. Проведение подобного рода испытаний на указанных установках требует больших работ по настройке испытательной системы на определенную частоту.

В отличие от магнитострикционных высокочастотных установок вибратор КуАИ-ВВ-2А не требует сложной настройки на заданную частоту испытаний, обеспечивая практически непрерывный диапазон частот испытаний в пределах $f = 300 \div 10000$ гц.

Кроме этого, применение воздушного вибратора не требует создания специальной системы охлаждения образца, поскольку образец постоянно интенсивно обдувается струей сжатого воздуха.

За период эксплуатации воздушного вибратора с его помощью был проведен ряд работ, способствовавших повышению ресурса и надежности изделия.

Освоение воздушного вибратора позволило проводить усталостные испытания на качественно новой основе — места поломок при усталостных испытаниях приводятся к местам поломок, имевшим место в период эксплуатации изделия.

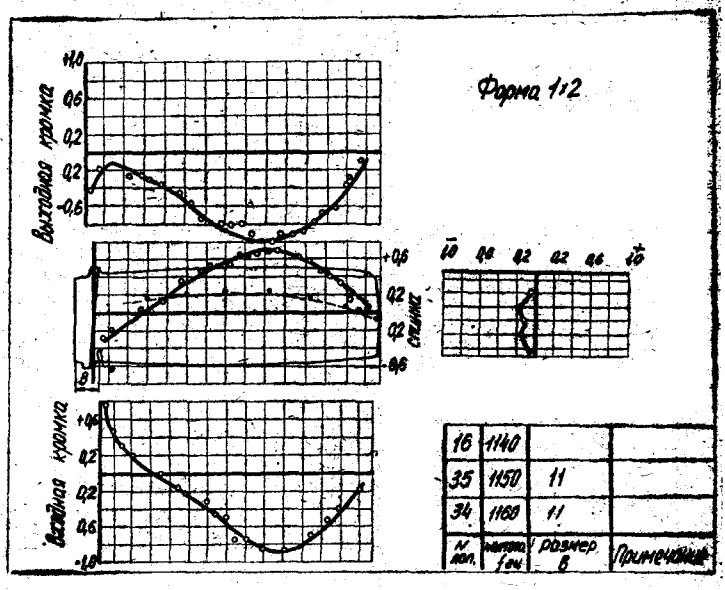
Получение спектра поломок и картин относительных распределений напряжений на значительных уровнях напряжений при колебаниях по высшим формам позволило составить необходимые схемы препарирования деталей для оценки их фактического вибросостояния на работающем изделии.

На фиг. 3 представлены результаты определения распределения напряжений, форм и спектра поломок лопаток одной из ступеней компрессора в диапазоне $300 \div 10000$ гц.

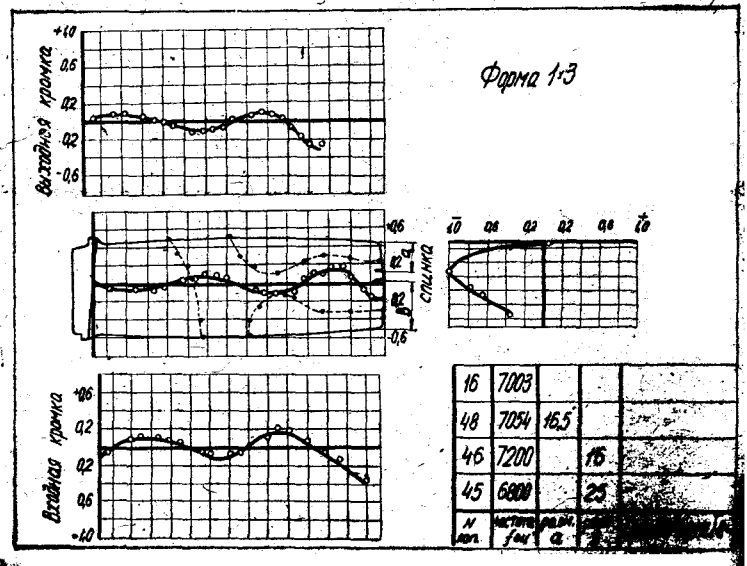


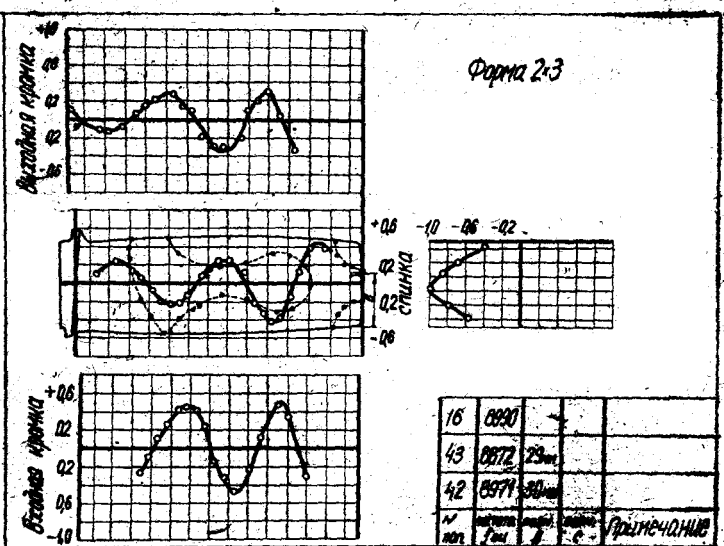
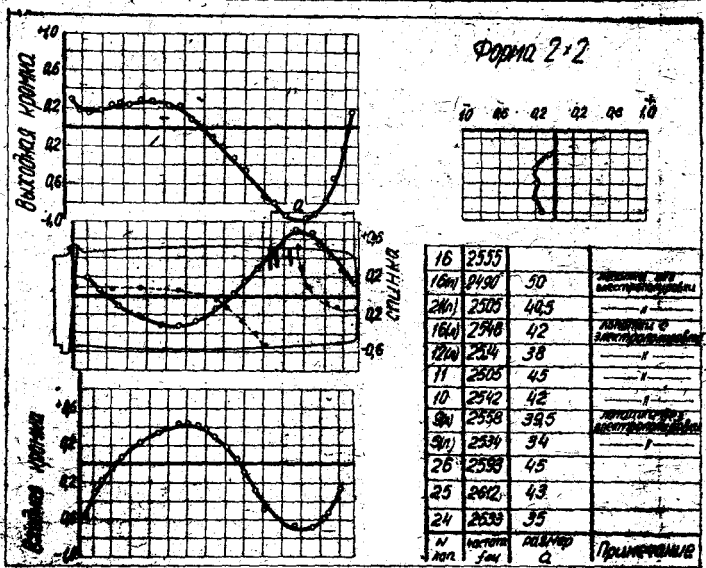
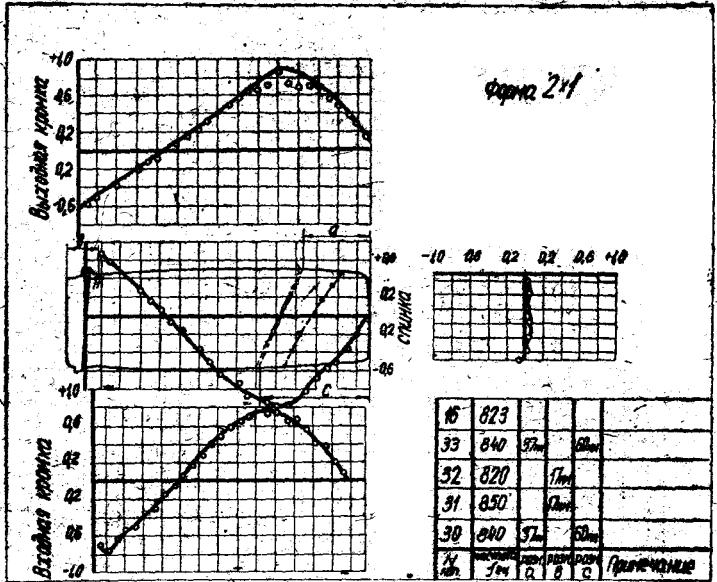
1

2

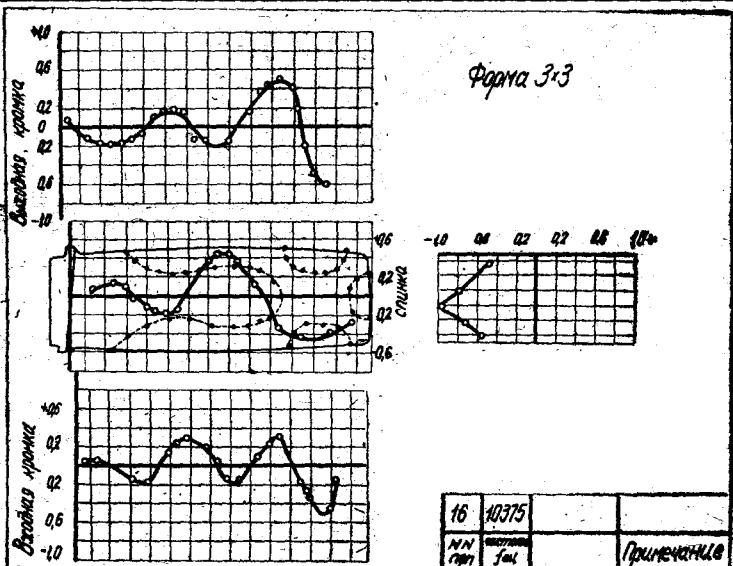
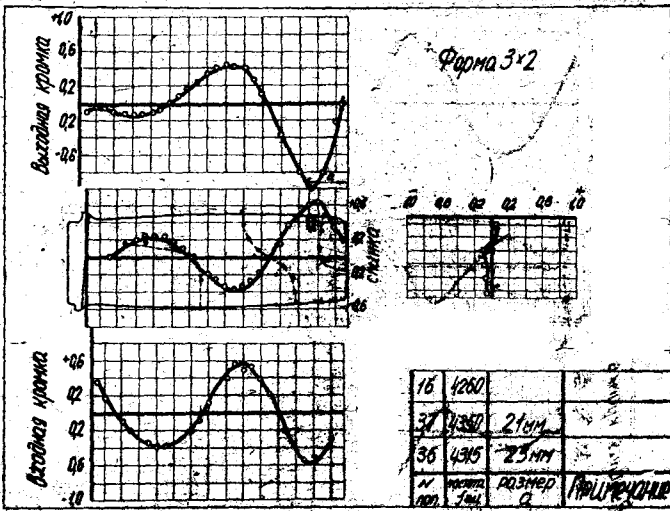
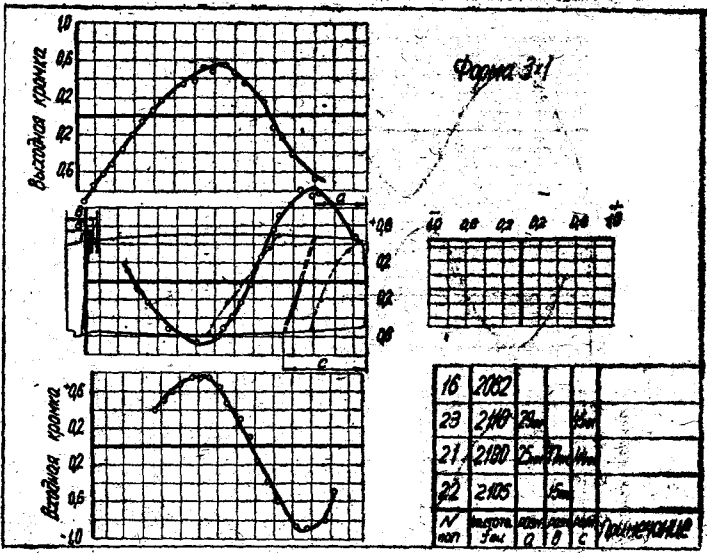


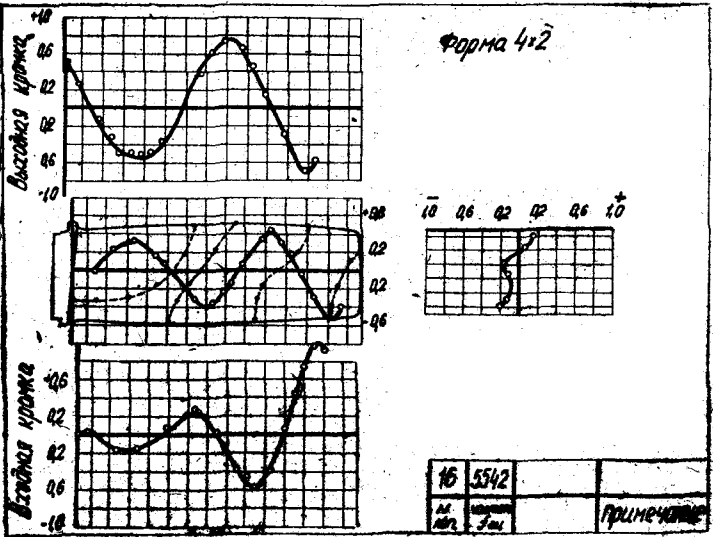
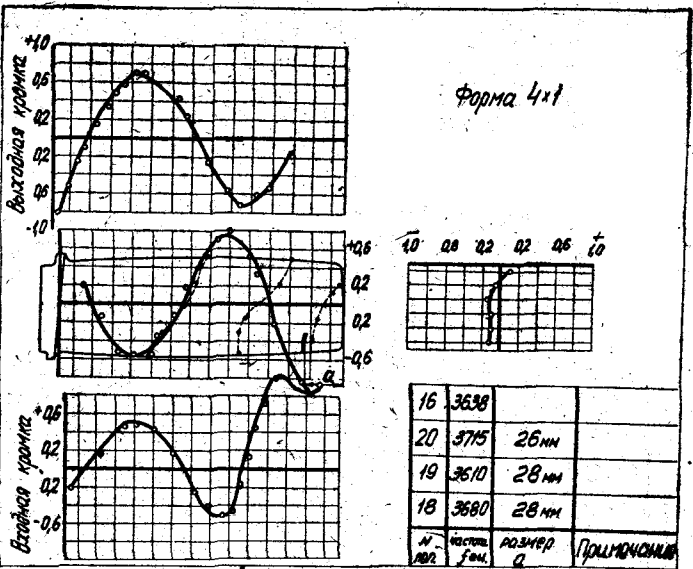
3

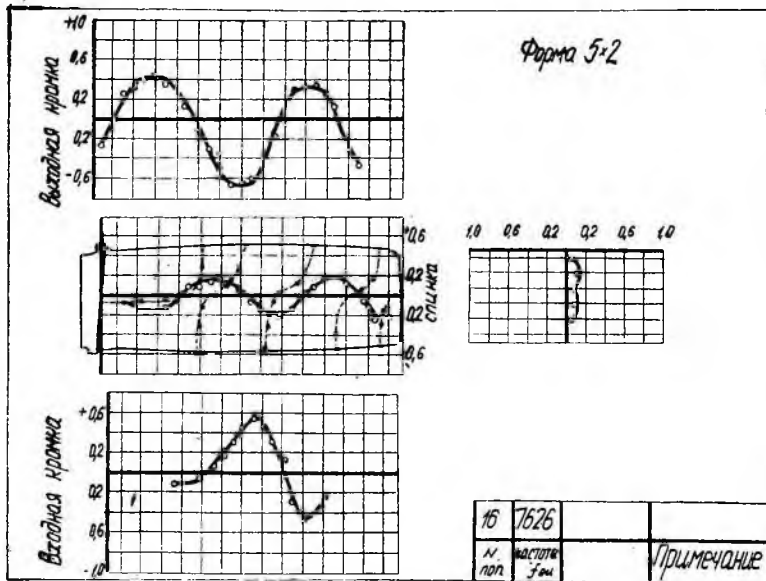
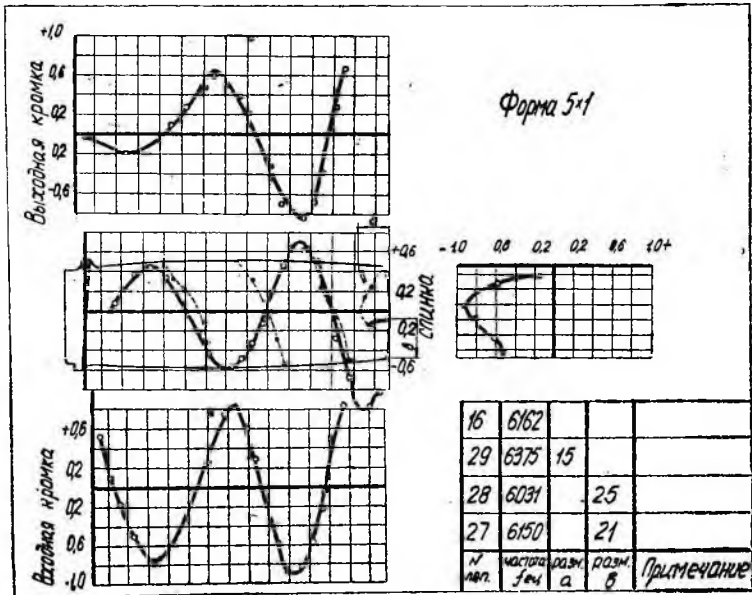


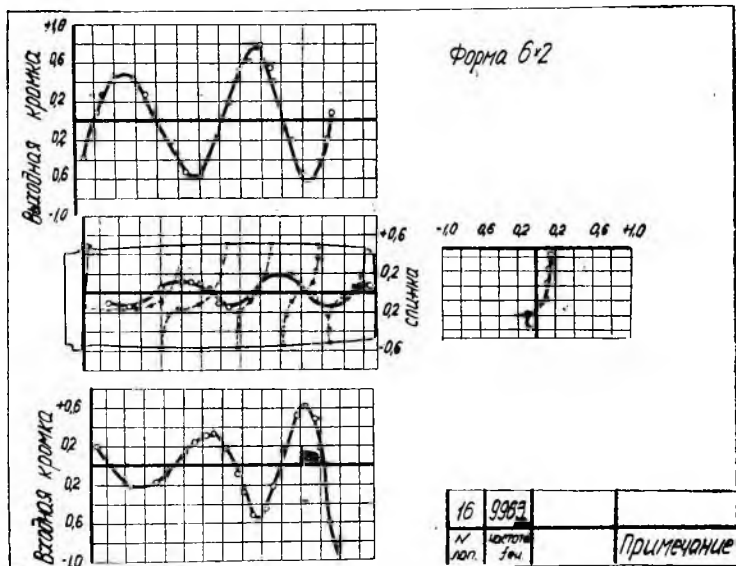
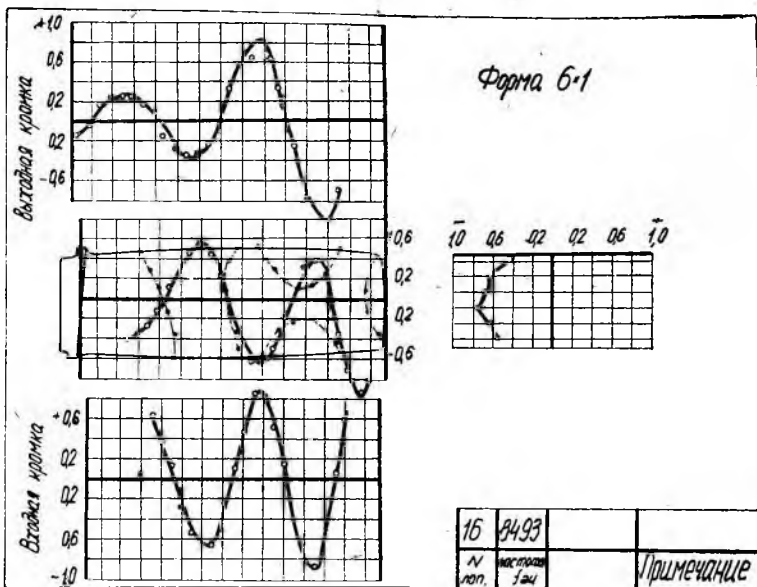


Фиг. 3









Пунктирными линиями отмечены узловые линии соответствующих форм колебаний; двойными — место разрушения, сплошными — распределение напряжений.

Использование воздушного пульсатора в качестве возбудителя позволило снять распределение напряжений в лопатках колеса, бандажированного полками, что практически невыполнимо при использовании электродинамических стендов типа П-646.

За период эксплуатации вибростенда был проведен ряд работ по усталостным испытаниям лопаток компрессора и турбины, которые позволили оценить влияние эксплуатационной наработки на усталостную прочность в различных сечениях пера лопаток, оценить влияние виброгалтовки, различных режимов термообработки на усталостные характеристики деталей при колебаниях по высшим формам.

Так, например, были проведены сравнительные усталостные испытания виброгалтованных и невиброгалтованных лопаток одной из ступеней компрессора, имевших длительную стендовую и эксплуатационную наработку. Приведение места поломки при усталостных испытаниях к месту поломки, имевшему место в эксплуатации, позволило получить довольно интересные результаты.

Невиброгалтованные лопатки после стендовой наработки имели предел усталости в два раза ниже предела усталости лопаток с эксплуатационной наработкой, в то же время для виброгалтованных лопаток этого снижения не наблюдалось.

Были проведены усталостные испытания коротких толстых лопаток турбины и других деталей на частоте основного тона колебаний, которые на электродинамическом стенде из-за недостаточной величины возбуждающей силы провести не удалось, а также работа по акустическим испытаниям виброизмерительной аппаратуры, в результате чего был обнаружен и устранен скрытый дефект, который проявлялся лишь при работе в условиях повышенного шума.

Пульсирующая струя сжатого воздуха, исходящая из вибратора КуАИ-ВВ-2А, создает значительный уровень шума — более 125 дБ в диапазоне 300 ÷ 10000 гц. (Фактический уровень не был замерен из-за отсутствия шумомера с более высокими пределами измерения), что может позволить осуществить высокочастотные акустические испытания крупногабаритных тонкостенных панелей.

В период доводки и эксплуатации вибрационного стенда были проведены работы по шумоглушению.

Успешное решение этого вопроса позволило довести уровень шума в кабине операторов до уровня значительно ниже предельно-допустимого.

ВЫВОДЫ

Длительная эксплуатация вибрационного стенда КуАИ-ВВ-2А подтвердила эффективность его использования при:

усталостных испытаниях деталей типа лопаток турбомашин и плоских образцов в широком диапазоне частот и форм колебаний; снятии распределений напряжений и получении спектра поломок на высших формах;

акустических испытаниях электронной аппаратуры.

Применение воздушного вибратора позволяет проводить оценку усталостной прочности практически в любой точке детали.

Применение воздушного вибратора при усталостных испытаниях представляет интерес как с точки зрения сокращения длительности процесса усталостных испытаний, так и с точки зрения возможности проведения подобных испытаний на больших базах.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. П. Иванов, В. Т. Огородов. В сб. «Высокочастотный воздушный вибростенд». Материалы Всесоюзной межвузовской конференции «Вибрационная прочность и надежность авиационных двигателей», г. Куйбышев, 1965.

2. В. А. Кузьменко. Звуковые и ультразвуковые колебания при динамических испытаниях материалов. Изд. АН УССР, 1963.

3. Б. А. Авдеев. Техника определения механических свойств материалов. Изд. «Машиностроение», Москва, 1965.

4. Д. В. Вайнберг, Г. С. Писаренко. Механические колебания и их роль в технике. Изд. «Наука», Москва, 1965.