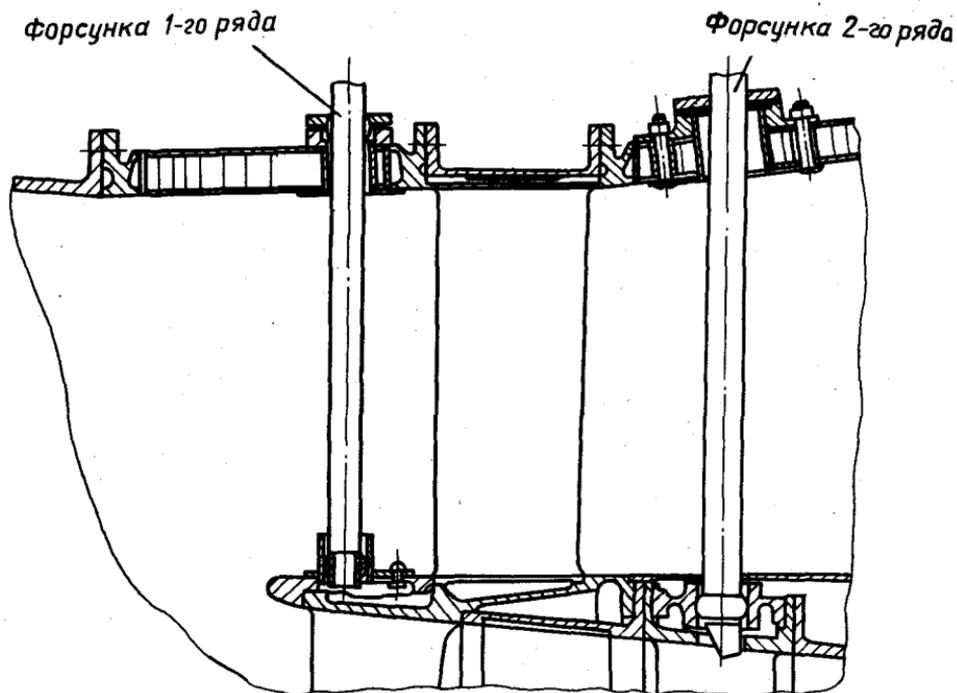


Е.А.Гриценко, А.Н.Королев

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ДИСКА 2-Й СТУПЕНИ КОМПРЕССОРА НД
ПРИ КОНВЕРТИРОВАНИИ ДВИГАТЕЛЯ НК-86
ДЛЯ РАБОТЫ В МОРСКИХ УСЛОВИЯХ

При конвертировании авиационных ГТД необходимо выявлять новые факторы, влияющие на нагруженность деталей и узлов двигателя. Продемонстрируем это на примере конвертирования двигателя НК-86 для применения на объекте, работающем в морских условиях. Особенности работы ГТД в морских условиях требуют периодических промывок газозадушного тракта (ГВТ), для чего в конструкцию были встроены специальные форсунки (рис.1).



Р и с. 1. Схема установки форсунок промывки в КНД

В процессе доводки конвертированного двигателя появились усталостные разрушения диска 2-й ступени компрессора низкого давления (КНД). Следует отметить, что в эксплуатации исходная конструкция крепления диска отработала без замечаний 300 ч летной эксплуатации в гражданской авиации на нескольких десятках двигателей и поэтому ее считали надежной.

Для повышения надежности этого диска была изменена конструкция его крепления. В дальнейшем исходную конструкцию крепления будем условно называть компоновкой "И", а измененную - компоновкой "У".

Для оценки влияния входных возмущений на диск проведено тензометрирование диска и лопаток в компоновках "И" и "У" при установке на входе в двигатель:

воздухозаборника объекта, имеющего, в отличие от самолетного,

6 стоек и центральное тело для обеспечения сепарирования воды;

воздухозаборника объекта и коллектора подачи морской воды с рамой крепления;

стендового воздухозаборника.

Тензометрирование осуществлялось на всех основных установившихся режимах работы двигателя, включая максимально заявленные частоты вращения ротора НД ($n_{\text{НД}} = 5900$ об/мин); на всех резонансных частотах по каждому тензодатчику; при плановом переходе с режима малого газа на взлетный режим; при приемистости и сбросе.

Анализ результатов испытаний двигателя компоновки "И" показал следующее.

В рабочем диапазоне оборотов проявились резонансы, вызываемые 4-й и 3-й гармониками с частотой $f = 300$ Гц при $n_{\text{НД}} = 4500 \dots \dots 4700$ и 5900 об/мин соответственно, что обусловлено неравномерностью потока. Установка воздухозаборника объекта увеличивает уровень переменных напряжений в ободу диска при колебаниях с 3-й гармоникой в 1,5 раза. Установка перед воздухозаборником объекта коллектора подачи морской воды с рамой крепления увеличивает напряженность диска в ободной части при колебаниях с 3-й гармоникой на 23%. Совокупность указанных мероприятий не влияет на величину переменных напряжений, возбуждаемых 4-й гармоникой.

Несмотря на значительное относительное увеличение уровня переменных напряжений в ободу диска при установке воздухозаборника объекта и коллектора подачи морской воды с рамой, абсолютный уровень переменных напряжений невелик и запасы по динамической прочности для диска компоновки "У" удовлетворяют нормативным документам.

Анализ результатов тензометрирования компоновки "У" показал следующее.

Имеют место связанные колебания системы диск-лопатки с резонансами, вызываемыми 4-й и 3-й гармониками с частотой $f = 300$ Гц при $n_{НД} = 4700$ и 5600 об/мин. Использование воздухозаборника объекта практически не влияет на напряженность диска, но вызывает увеличение напряжений в рабочих лопатках с 4-й и 3-й гармониками в среднем на 20%. Установка перед воздухозаборником объекта коллектора подачи морской воды на вход в двигатель увеличивает напряженность диска при колебаниях с 4-й гармоникой и лопаток при колебаниях с 3-й и 4-й гармониками примерно на 25%. Наблюдается значительный разброс по величинам замеренных напряжений при различных запусках изделия и даже при нескольких подряд выходах изделия на режим. Это можно объяснить тем, что трактовые кольца компрессора НД компоновки "И" ставятся свободно (без натяга) и на них не регламентирована посадка, в связи с чем они могут перемещаться в осевом и окружном направлении. Это влияет на жесткость ротора, а следовательно, и на уровень переменных напряжений.

Для оценки влияния встроенной системы промывки на напряженность диска проведено его тензометрирование при следующих вариантах: без форсунок промывки; с форсунками 2-го ряда; с форсунками 1-го и 2-го рядов.

Результаты тензометрирования свидетельствуют, что постановка форсунок системы промывки значительно (на 65%) повышает уровень переменных напряжений при колебаниях с 4-й гармоникой.

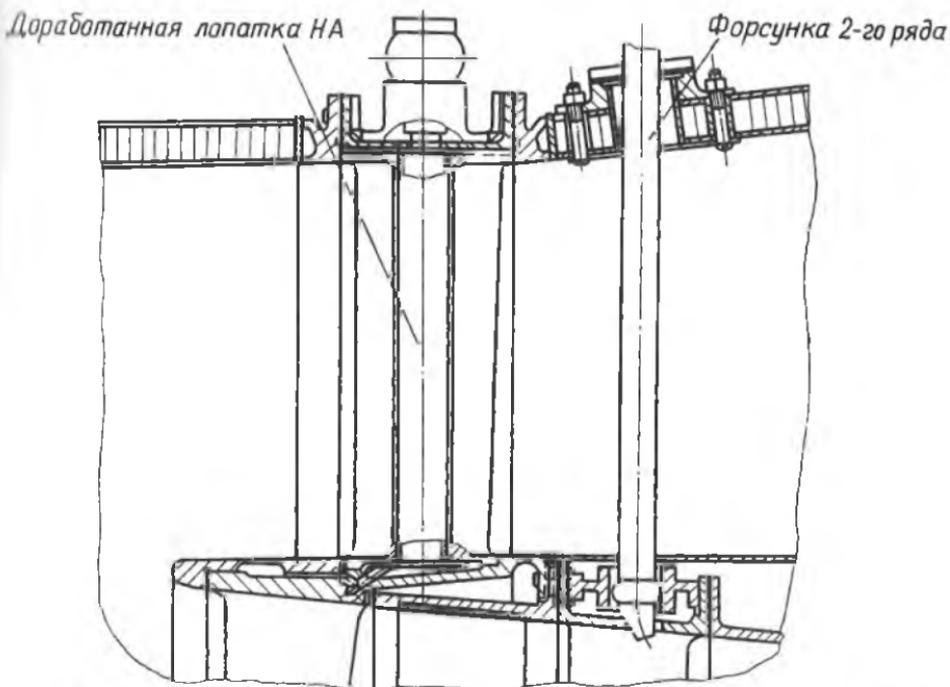
Оценка запасов по динамической прочности показала (для компоновки "И") достаточность запасов в рабочих лопатках ($K_V = 2,19$) и недостаточность (ниже нормированных) - в ободной части диска 2-й ступени ($K_V = 2,48$). Исходя из полученных результатов, на конвертированном двигателе решено использовать только компоновку "У".

Кроме того, учитывая довольно сильное влияние неравномерностей потока на вибронапряженность диска 2-й ступени, провели оценку его напряженности в условиях объекта, когда возникает неравномерность на входе от работы соседнего двигателя. Для этого был изготовлен открытый стенд с имитацией условий работы двух двигателей на объекте.

Тензометрирование проводилось на отдельно работающем двигателе, при совместной работе двух двигателей, со смонтированной системой промывки и снятыми форсунками 1-го ряда.

Как и в предыдущих случаях, отмечены связанные колебания системы диск-лопатки с резонансами, вызываемыми 4-й и 3-й гармониками. Совместная работа двух двигателей незначительно увеличивает вибронпряженность диска и лопаток. Отмечено сильное влияние на напряженность диска и лопаток форсунок I-го ряда системы промывки ГВТ, при этом увеличение вибронпряжений для рабочих лопаток составляет 36...68%, для диска - 55...100%.

Это потребовало исключить из системы промывки форсунки I-го ряда. Для обеспечения эффективности промывки разработана система подачи воды и воздуха через лопатки направляющего аппарата (НА) (рис.2).



Р и с. 2. Измененная схема установки форсунок промывки в КНД

Усиление диска конвертированного двигателя НК-86 и изменение конструкции системы подачи воды и воздуха через лопатки НА позволили успешно провести межведомственные 200-часовые и длительные (500-ча-

совые) эквивалентно-циклические испытания указанного двигателя, а также конструкторские ходовые испытания объекта.

УДК 536.546

А.М.Жижкин

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ В ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ФИТИЛЯХ ИЗ МАТЕРИАЛА МР

Гидравлические потери в пористых конструкциях определяются особенностями их внутреннего строения, физическими свойствами рабочего тела и кинематическими характеристиками потока. В общем случае зависимость между этими факторами может быть записана в виде

$$\Delta P / \Delta L = f(v_x, D_x, \rho, \mu), \quad (1)$$

где $\Delta P / \Delta L$ - потери давления, отнесенные к единице длины пористого образца;

v_x - характерная скорость течения;

ρ - плотность;

D_x - определяющий размер образца;

μ - вязкость рабочей среды [1].

Исследованию влияния различных параметров на $\Delta P / \Delta L$ в (1) посвящены многочисленные работы по пористым средам [1]. Для описания закономерностей течения жидкости при ламинарном режиме в фитилях из материала МР в [2] применена известная полуэмпирическая зависимость

$$\frac{\Delta P}{\Delta L} = \frac{76.5(1-\Pi)^2}{\Pi^3 d_n^2} \mu v, \quad (2)$$

где v - скорость фильтрации; Π - пористость; d_n - диаметр проволоки.

Используя определение коэффициента гидравлического сопротивления ξ и числа Рейнольдса Re для МР, зависимость (2) можно представить в критериальной форме [3]:

$$\xi_{дг} = \frac{153}{Re_{дг}}, \quad (3)$$