

пределу выносливости, доводились до разрушения при бóльшем напряжении. На изломах этих валов просматривались нераспространяющиеся усталостные трещины, средняя глубина которых приведена в табл. 1.

Критерий среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{ост}$, приведённый в табл. 1, вычислялся по формуле (2) с использованием распределения остаточных напряжений, представленного на рис. 1. Коэффициент влияния поверхностного упрочнения на предел выносливости $\bar{\psi}_\sigma$, определённый по формуле (1), представлен также в табл. 1. Здесь же приведены значения эффективного коэффициента концентрации напряжений K_σ для вала с напрессованной втулкой. В работе [2] на основании многочисленных экспериментов была установлена зависимость между коэффициентом влияния $\bar{\psi}_\sigma$ и эффективным коэффициентом концентрации напряжений K_σ в виде

$$\bar{\psi}_\sigma = 0,514 - 0,065K_\sigma. \quad (3)$$

Коэффициент $\bar{\psi}_\sigma$, вычисленный по зависимости (3), составил: для валов из стали 20 – 0,362, из стали 40Х – 0,257, то есть коэффициенты $\bar{\psi}_\sigma$, полученные в настоящем исследовании (табл. 1), незначительно отличаются от вычисленных по формуле (3) величин. Поэтому критерий среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{ост}$ может быть использован для прогнозирования предела выносливости поверхностно упрочнённых валов с напрессованной втулкой.

Библиографический список

1. Павлов В.Ф. О связи остаточных напряжений и предела выносливости при изгибе в условиях концентрации напряжений. / Известия вузов. Машиностроение. – 1986. – №8. – С. 29-32.
2. Кирпичёв В.А., Букатый А.С., Филатов А.П., Чирков А.В. Прогнозирование предела выносливости поверхностно упрочнённых деталей при различной степени концентрации напряжений. / Вестник УГАТУ. – 2011. – Т. 15, № 4 (44). – С. 81-85.

УДК 621.438

НЕСТАЦИОНАРНЫЙ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ ВТОРОЙ СТУПЕНИ ТУРБИНЫ ГТД-110М С НЕРАВНОМЕРНОЙ РАССТАНОВКОЙ ЛОПАТОК В СОПЛОВОМ АППАРАТЕ

©2016 В.Н. Заваркин, Ф.В. Карпов, Д.И. Ларшин, И.А. Немтырева

Научно-производственное объединение «САТУРН», г. Рыбинск Ярославской области

TRANSIENT FLUID DYNAMIC ANALYSIS OF FLOWING IN SECOND STAGE OF TURBINE GTD-110M WITH IRREGULAR SPACING OF VANES IN NOZZLE

Zavarkin V.N., Karpov F.V., Larshin D.I., Nemtyreva I.A. ("NPO "Saturn", Rybinsk, Russian Federation)

Currently NPO Saturn is facing a problem of the GTD -110 stage 1 blade failure in the root area, which supposedly has been caused by excitations in the harmonics multiple of the number of nozzle vanes. A series of actions has been developed to solve this problem. One of them is change a number the nozzle vane second stage.

В качестве одного из мероприятий, направленных на предотвращение появления дефекта, заключающегося в разрушении рабочих лопаток первой ступени по замковому соединению, принято решение изменить число сопловых лопаток второй ступени с $z=48$ на $z=47$. Для снижения трудоёмкости

предложено изъять одну сопловую лопатку из левого полукольца соплового аппарата (если смотреть со стороны входных кромок) и использовать вставки для заполнения образовавшегося пространства, правое полукольцо относительно исходной конструкции остаётся неизменным (рис. 1).

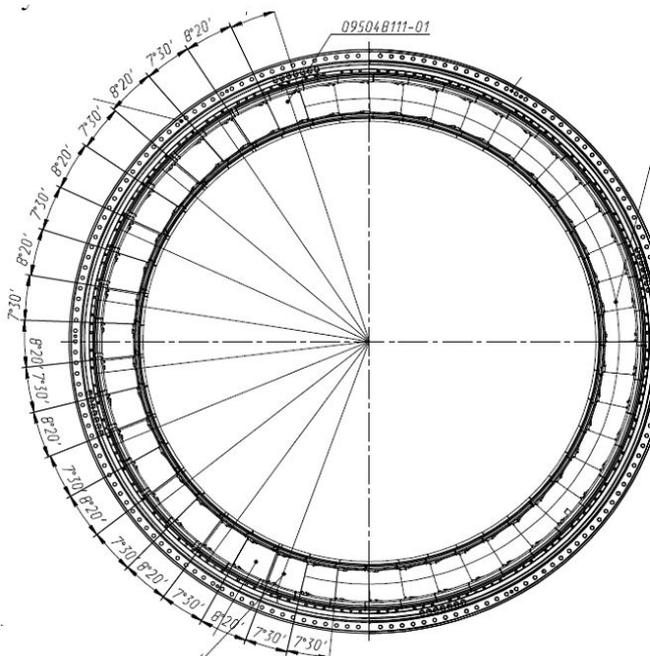


Рис. 1. Схема расстановки сопловых лопаток второй ступени

Таким образом, в левом полукольце получили расстановку лопаток с чередованием по шагу $8^{\circ}20'$ и $7^{\circ}30'$, то есть разношагицу, которая исключает возможность возникновения вибронпряжений по 47 гармонике. Несмотря на то, что некоторый опыт неравномерной расстановки лопаток в сопловом аппарате для отстройки от возбуждающих колебаний в двигателестроении есть, например расчётные и экспериментальные исследования в ГПЗНКБ «Ивченко-Прогресс» (Украина), закономерно возник вопрос о влиянии неравномерной расстановки на значение газодинамической нагрузки, действующей в осевом направлении, на последующий венец рабочих лопаток второй ступени числом $z=78$.

Для ответа на этот вопрос было выполнено нестационарное численное моделирование течения газа во второй ступени турбины ГТД-110М на номинальном режиме работы двигателя для расчетной области в 360° (рис. 2). Для более корректного задания граничных условий в расчётную модель добавлен сопловой аппарат третьей ступени.

По результатам нестационарного расчёта выявлено влияние неравномерной расстановки сопловых лопаток в сопловом аппарате второй ступени на величину газовых сил, действующих на последующий венец рабочих лопаток в осевом направлении.

Таким образом, по результатам работы можно сделать следующие выводы:

1. Внедрение в конструкцию турбины ГТД-110М сопловых аппаратов второй ступени числом $z=47$ с разношагицей позволит исключить риск возникновения возбуждающих колебаний по 47 и 48 гармонике.

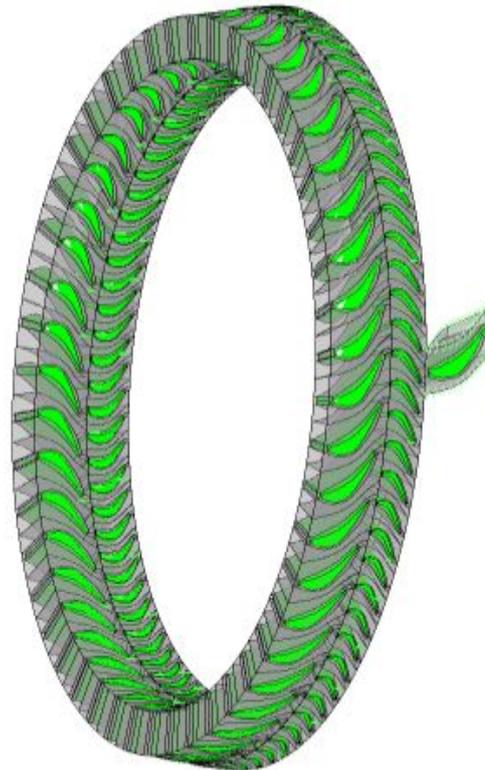


Рис. 2. Расчётная модель ANSYS CFX 14.5

На рис. 3 представлена гистограмма газовых сил, полученная при выходе на установившийся расчётный режим в момент времени, соответствующий полному обороту колеса. Чётко видна зона прохождения рабочими лопатками области с разношагицей. По результатам расчёта средняя величина силы, действующей на одну лопатку РК2, проходящую через зону, соответствующую правому полукольцу (с постоянным шагом) соплового аппарата, составила 2072 Н. Средняя величина силы, действующей на одну лопатку РК2, проходящую через зону, соответствующую левому полукольцу (с переменным шагом) соплового аппарата, составила 2189 Н. В пересчёте на количество лопаток каждой половины рабочего колеса ($z=39$), в первом случае сила составила 80808 Н, во втором – 85371 Н.

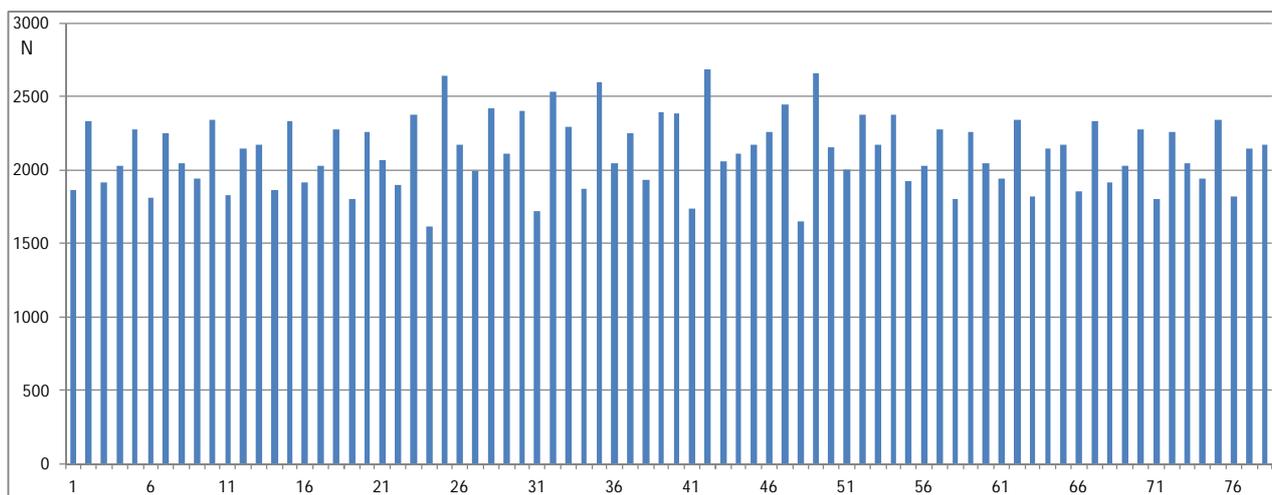


Рис. 3. Распределение осевой газовой силы, действующей на каждую из 78 рабочих лопаток

2. Изменение числа сопловых аппаратов второй ступени с $z=48$ на $z=47$ влияния на эффективность работы ступени не оказывает.

3. Для решения о возможности включения СА2 с разношагцей в материальную

часть турбины двигателя ГТД-110М кроме газодинамического необходим прочностной расчёт для оценки влияния дополнительной силы, возникающей с частотой 50 Гц, на напряжённо - деформированное состояние ротора.

УДК 534.283:519.6:534.222.1

ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ ТВЁРДОЙ ФАЗЫ НА ПАРАМЕТРЫ УДАРНОЙ ВОЛНЫ В ГАЗОВЗВЕСИ

©2016 Д.А. Тукмаков

Институт механики и машиностроения Казанского научного центра РАН, г. Казань

INFLUENCE OF PARAMETERS OF A FIRM PHASE ON PARAMETERS OF A SHOCK WAVE IN A GAS-SUSPENSION

Tukmakov D.A. (Institute of Mechanics and Engineering, Kazan Science Center, Russian Academy of Sciences, Kazan, Russian Federation)

In work on the basis of the numerical and theoretical solution of the equations of the movement of multiphase environments the model of dynamics of a gas-suspension and drift of a disperse phase in the nonlinear wave fields generated in the acoustic resonator – the closed pipe is received. And also the mathematical model of dynamics of a suspension of particles with a multicomponent disperse phase is developed.

Многие современные промышленные технологии создаются с учётом эффектов, обнаруженных в динамике гетерогенных систем [1-9]. В связи с этим задача исследования нестационарных волновых процессов в многофазных средах представляет собой одну из наиболее актуальных фундаментальных проблем механики жидкости и газа. При этом изучение нестационарных течений аэрозолей методами математического моделирования востребовано в связи с тем, что до сих пор

многие явления и процессы в волновой динамике гетерогенных систем недоступны для экспериментального изучения.

В данной работе изучается динамика моно и полидисперсного аэрозоля в волновых полях. В качестве несущей среды рассматривается сжимаемый газ, движение которого описывается системой уравнений Навье-Стокса [1-3].

В случае осевой симметрии течения система уравнений движения несущей среды выглядит следующим образом: