

УДК 621.438-762

**Р.Р. КЛИМИК, Ю.А. ЗЕЛЁНЫЙ, Е.А. БАНДУРКО**

*ГП “Прогресс-Ивченко”, Запорожье, Украина*

## **РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ДИНАМИКИ РАДИАЛЬНОГО ЗАЗОРА НАД РАБОЧЕЙ ЛОПАТКОЙ ТУРБИНЫ**

Рассмотрены вопросы расчетно-экспериментальной оценки изменения величины радиального зазора над рабочей лопаткой турбины, полученной на основании результатов термометрирования, с целью проверки и выбора величины монтажного зазора и недопустимости врезаний ротора в детали статора на переходных режимах работы двигателя.

**радиальный зазор, рабочая лопатка, к.п.д., радиальные перемещения, статор, ротор**

### **Введение**

Заметная доля потерь в осевой турбине обусловлена течениями газа в радиальном зазоре, которые имеют сложный характер и зависят от многих факторов. Сюда входят конструктивное исполнение узла, условия газодинамики и теплообмена, нагрузка ступени, степень реактивности, величина радиального зазора и многое другое.

В процессе работы величина радиального зазора не является величиной постоянной, она изменяется по режимам работы двигателя за счет изменения в динамике прогрева и охлаждения роторных и статорных узлов и изменения силовых нагрузок. Причем динамика нагрева при разгоне и охлаждении, при сбросе оборотов двигателя протекает по различным законам.

### **1. Концепция исследований**

При конструировании узла турбины необходимо стремиться к минимальным зазорам на основных рабочих режимах, и исключить врезание роторных узлов в статорные на переходных, т.е. стремиться к их согласованному совместному радиальному перемещению и это является трудновыполнимой задачей. Эта задача особенно усложняется на уже изготовленных двигателях, поскольку решение вопросов стабилизации радиального зазора зачастую требует коренной переделки узлов. А отсутствие недорогих

и простых средств измерения радиального зазора в процессе работы двигателя, особенно по узлу турбины, еще больше усложняет ее решение. Ко всему вышесказанному, следует добавить о достаточно весомом влиянии на величину радиального зазора несоосности между ротором и статором, вызванной технологическими допусками на изготовление входящих в узел деталей, а также окружной температурной и силовой неравномерностью.

Одним из методов определения изменения радиального зазора является расчет динамики изменения температурного и сложного теплонапряженного состояния статорных и роторных узлов по времени для оценки их радиальных перемещений на основании результатов термометрирования деталей турбины, полученных на газогенераторе или полноразмерном двигателе.

### **2. Содержание и результаты исследований**

В настоящей работе представлена расчетно-экспериментальная оценка изменения радиального зазора над рабочей лопаткой турбины с целью определения рабочего зазора при выбранном монтажном зазоре при условии недопустимости врезания роторных деталей в статорные на переходных режимах работы двигателя. Поскольку наиболее трудным вопросом при расчете температурных полей является правильный выбор граничных условий теплооб-

мена, результаты расчета корректировались в соответствии с результатами термометрирования, полученными на полноразмерном двигателе или газогенераторе в реальных условиях за счет подбора граничных условий.

Термометрирование диска турбины и наружного корпуса проводилось на двухкаскадном газогенераторе. Конструкция и схема препарирования статора и ротора турбины представлена на рис. 1.

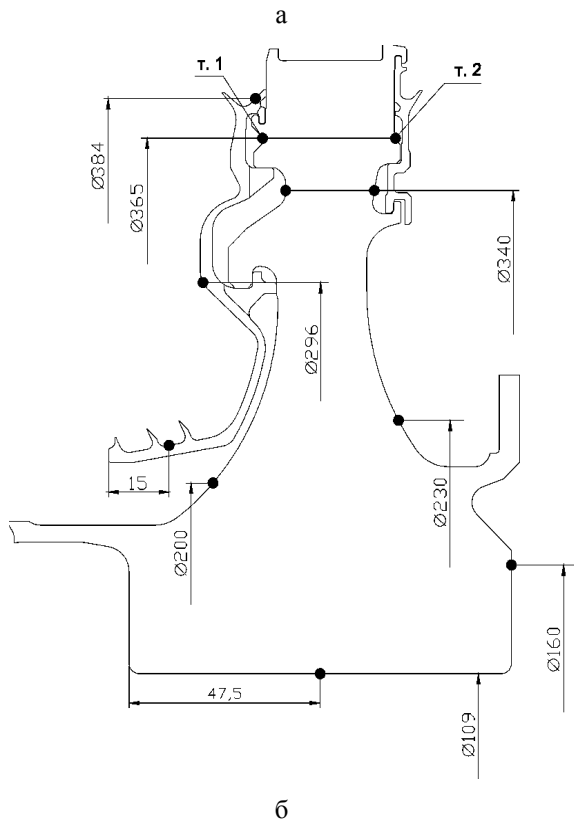
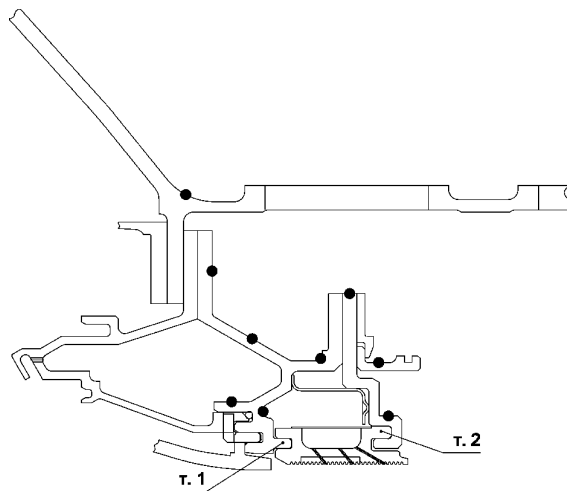


Рис. 1. Схема препарирования статора и ротора турбины:  
а – статор турбины б – диск турбины

С целью оценки всех возможных и самых неблагоприятных условий, с точки зрения врезания роторных узлов в статорные, назначался регламент работы двигателя, включающий в себя выход непрогретого двигателя на взлетный режим, максимальный прогрев его на этом режиме, переход на режим земного малого газа и работа на нем до стабилизации температур корпусных деталей и повторный выход на взлетный режим в темпе приемистости. Циклограмма регламента работы двигателя представлена на рис. 2.

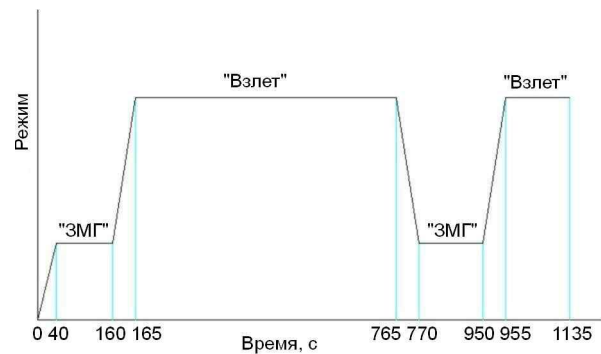


Рис. 2. Циклограмма назначенного регламента работы двигателя

Расчеты динамики изменения температур роторных и статорных узлов, в соответствии с назначенным регламентом работы двигателя, проводились конечно-разностными методами. Температурное состояние наружного корпуса и диска турбины на стационарном взлетном режиме (скорректированное по результатам термометрирования) представлено на рис. 3, 4.

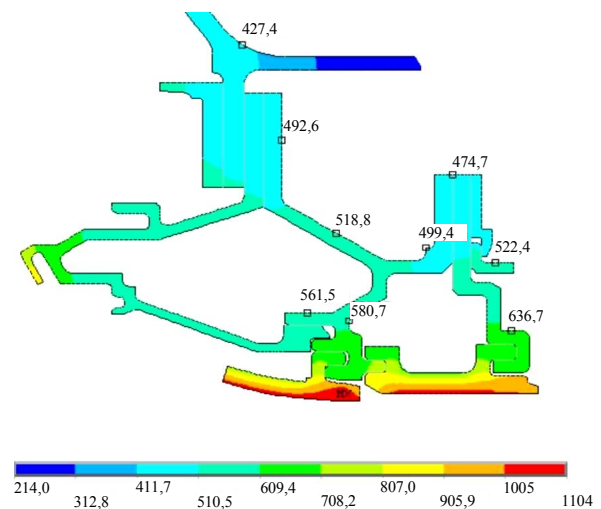


Рис. 3. Температурное поле статора турбины

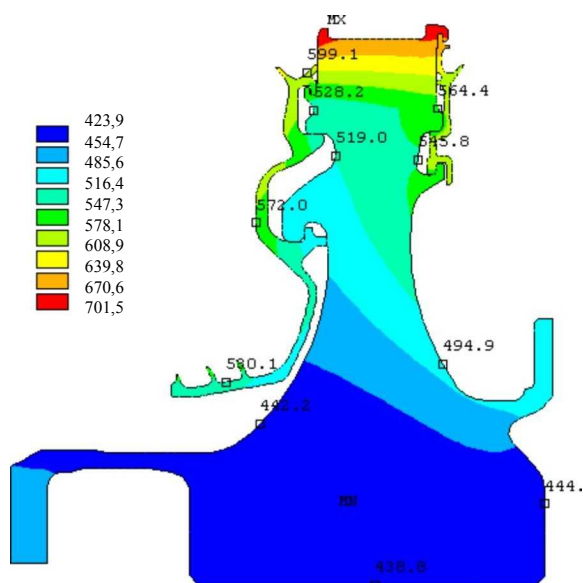


Рис. 4. Температурное поле диска турбины

После получения данных по температурному состоянию роторных и статорных узлов, используя конечно-элементные методы, проводились расчеты динамики изменения их сложного теплонпряженного состояния, которое позволяет получить изменения радиальных перемещений по времени в соответствии с назначенным регламентом работы двигателя.

Расчетная динамика изменения радиальных перемещений статора турбины представлена на рис. 5.

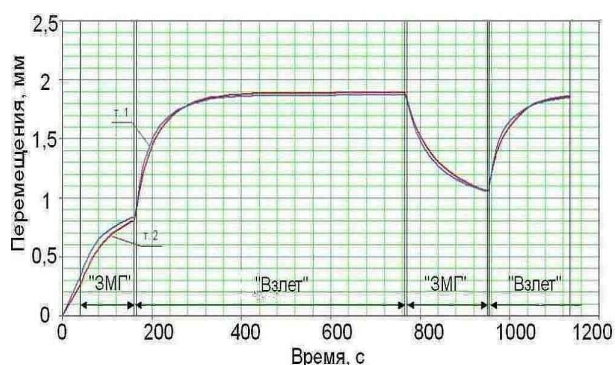


Рис. 5. Динамика изменения радиальных перемещений статора турбины

Динамика изменения перемещений обода диска турбины представлена на рис. 6.

Прогрев пера и ножки рабочей лопатки по времени принимался равным 5...8 секунд, и их темпе-

ратурное перемещение рассчитывалось как перемещение нагретого стержня в соответствии с выбранными режимами работы двигателя.

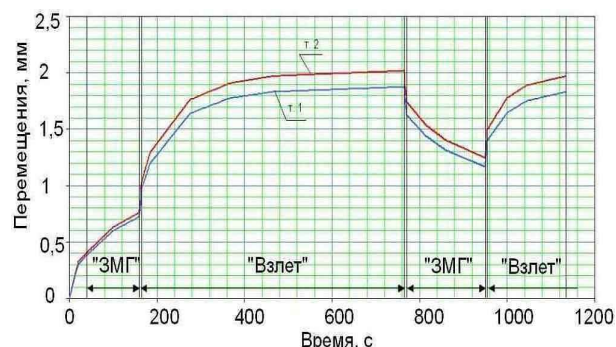


Рис. 6. Динамика изменения радиальных перемещений обода диска турбины

На рис. 7 представлена динамика изменения перемещения ротора и статора турбины и величина расчетного радиального зазора без учета величин технологических несоосностей и короблений корпуса из-за температурной и силовой неравномерности.

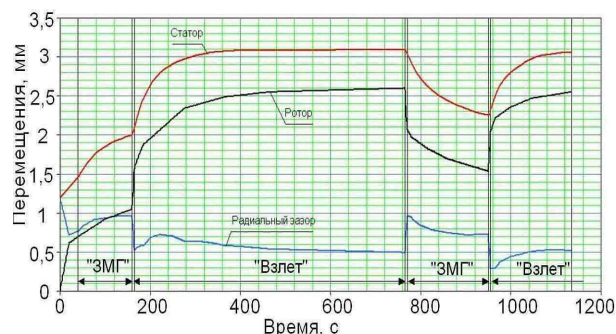


Рис. 7. Динамика изменения перемещений ротора, статора турбины и изменение радиального зазора по времени

### Заключение

Предлагаемый метод оценки позволяет получить расчетную величину изменения радиального зазора над рабочей лопаткой турбины, в соответствии с назначенным регламентом работы двигателя и уточнять величину выбранного монтажного зазора, исходя из условий безконтактной работы.

*Поступила в редакцию 12.04.2004*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. А.Л. Шубенко, ИПмаш НАНУ, Харьков.