

*В. Д. Никонов, И. А. Кремнёв, С. И. Шкрылёв, И. С. Стрелов,
В. Л. Блинов*

Уральский федеральный университет, Екатеринбург

villouse@yandex.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОСНОВНЫХ УЗЛОВ ГАЗОТУРБИНОЙ УСТАНОВКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ГАЗОВОЙ ДИНАМИКИ

Рассмотрены вопросы применения инструментов численного моделирования для совершенствования основных узлов газотурбинных установок. В работе описан пример доводки конструкции осевого компрессора, решения вопроса надежности камеры сгорания и анализа путей повышения эффективности системы охлаждения лопаточного аппарата газовой турбины.

Ключевые слова: газотурбинная установка, турбина, компрессор, камера сгорания, лопатка, моделирование.

V. D. Nikonov, I. A. Kremnev, S. I. Shkrylov, I. S. Strellov, V. L. Blinov
Ural Federal University, Ekaterinburg

IMPROVEMENT OF THE MAIN UNITS OF A GAS-TURBINE INSTALLATION USING METHODS OF COMPUTATIONAL GAS DYNAMICS

This paper discusses the use of numerical modeling tools to improve the main components of gas turbine plants. The paper describes an example of fine-tuning the design of an axial compressor, solving the reliability of the combustion chamber and analyzing ways to improve the efficiency of the cooling system of a gas turbine blade apparatus.

Keywords: gas turbine unit, turbine, compressor, combustion chamber, blade, modeling.

Газотурбинные установки (ГТУ) нашли широкое применение в различных отраслях: энергетике, нефтегазовом деле, химической промышленности и т. д. Основными узлами, определяющими эффективность и надежность работы ГТУ, являются осевой компрессор, камера сгорания и газовая турбина [1].

Основным недостатком осевых компрессоров в процессе эксплуатации является узкий диапазон устойчивой работы. На переменных режимах работы, а также вследствие развития дефектов, срывы потока с лопаточного аппарата компрессора приводят к образованию вращающегося срыва, что в итоге может привести к помпажу и аварийному останову агрегата.

На рис. 1 представлены результаты численного моделирования спроектированного осевого компрессора на базе ГТУ типа НК-16СТ с использованием лопаточных профилей типа НАСА65.

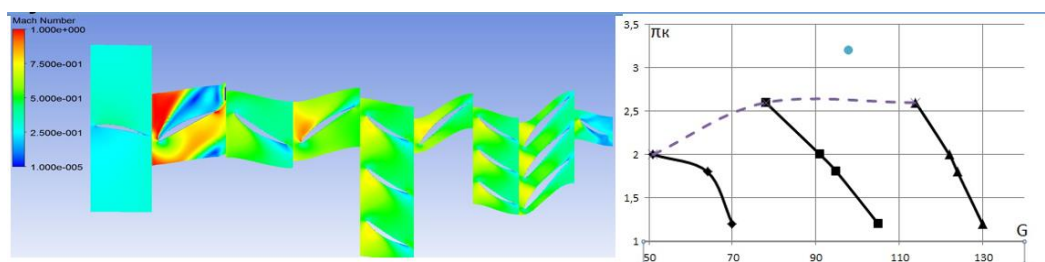


Рис. 1. Численное моделирование компрессора

Анализ результатов расчетов показал, что на первой ступени наблюдается ярко выраженный срыв потока со спинки рабочей лопатки, также наблюдается расширенный кромочный след на направляющем аппарате первой ступени и зона повышенного числа Маха в межлопаточном канале четвертой ступени. Данное явление негативно сказывается на работе компрессора, что в последствии может привести к помпажу.

В качестве решения данной проблемы было принято следующее: доворот входного направляющего аппарата на 5 градусов по вращению, поворот выходной кромки направляющего аппарата первой ступени в сторону развивающегося вихря на 3 градуса и утонение профиля рабочего колеса четвертой ступени на 0,5 мм. Результат представлен на рис. 2. В процессе доводки конструкции

удалось расширить диапазон устойчивой работы компрессора, повысить напорность и эффективность отдельных ступеней.

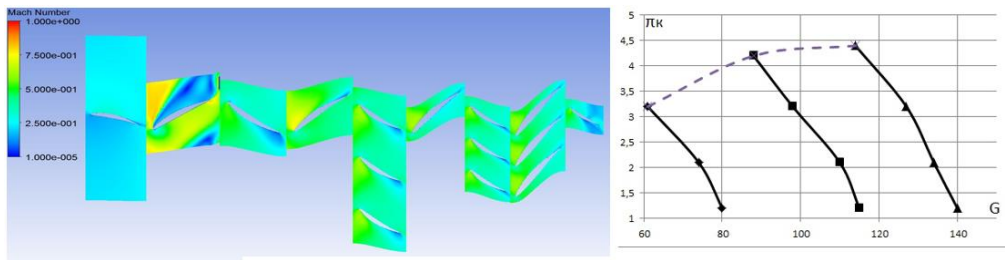


Рис. 2. Результат моделирования после доработки

Также проведено исследование условий работы камеры сгорания ГТУ. Известно о существовании проблемы, связанной с перегревом наружной стенки корпуса камеры сгорания. Данный факт приводит к затруднению эксплуатации двигателя, либо к его полной неработоспособности. Таким образом, задача заключается в разработке геометрии кожуха принудительного охлаждения, позволяющей равномерно подвести охлаждающий воздух к корпусу камеры сгорания (КС) и отвести от него выделяемую теплоту. На первом этапе была разработана геометрия кожуха принудительного охлаждения корпуса КС. Кожух должен учитывать геометрию корпуса двигателя, компоновку кожуха и развертку технологических коммуникаций ГТУ. Результаты моделирования представлены на рис. 3. Температура наружной стенки корпуса снизилась с 900 до 528 °С в зонах максимальных значений температур.

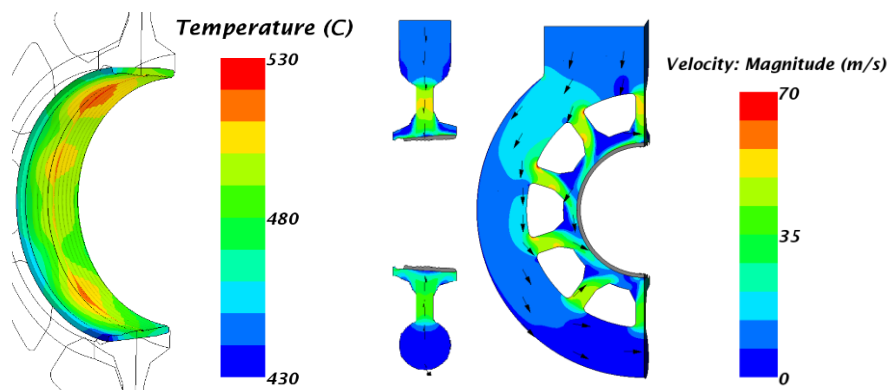


Рис. 3. Поле температур корпуса КС и поле скоростей охладителя внутри кожуха

Результаты показывают, что поток распределяется равномерно по стенке корпуса КС, основная масса которого омывает стенку корпуса. Наибольшие скорости развиваются в трубках, подающих охлаждающий воздух к корпусу КС. Это связано с уменьшением проходного сечения относительно входного коллектора. Что касается процесса охлаждения, поле температур обладает небольшой неравномерностью. Связано это с присутствием застойных зон у стенок корпуса КС, где воздух не участвует в процессе теплообмена. Если корпус КС существенно нагревается до температуры свечения стали, проблема в самой камере сгорания, и следует произвести диагностику данного узла.

По аналогии с предыдущими этапами было проведено исследование первой охлаждаемой сопловой лопатки ГТУ. Наиболее нагретым участком лопаток турбины является её входная кромка. Для уменьшения температурного распределения по поверхности лопатки требуется более развитая система конвективного охлаждения. На рис. 4 показано неравномерное распределение температур по перу охлаждаемой лопатки. Наибольшая температура отмечена на выходной кромке на периферийном диаметре. Применяемый способ охлаждения не является эффективным, т. к. не достигается равномерное охлаждение пера сопловой лопатки, что в итоге может привести к её прогару.

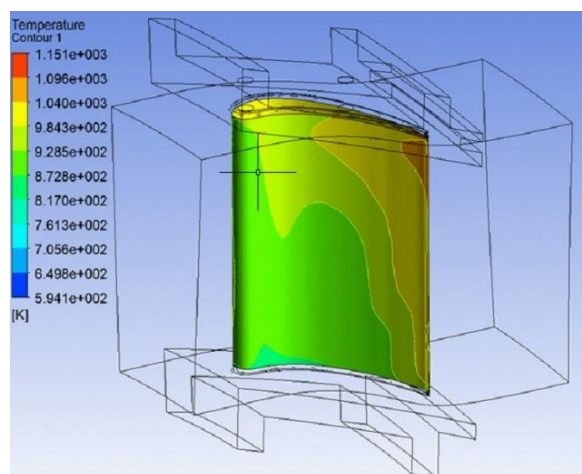


Рис. 4. Моделируемое охлаждение дефлекторного типа

В работе было проведено совершенствование системы охлаждения лопатки. По полученным результатам на рис. 5 можно сделать вывод, что предложенный вариант охлаждения обеспечивает равномерное распределение температуры по высоте сопловой лопатки. На представленном графике показаны результаты исследований в виде зависимостей $\theta = f(R)$, где наблюдается две кривые, характеризующие интенсивность процесса охлаждения в сопловой лопатке. Первая кривая показывает охлаждение лопатки дефлекторного типа, вторая – охлаждение замкнутого типа. Как видно в первом случае, охлаждение менее равномерное по высоте пера, чем во втором случае.

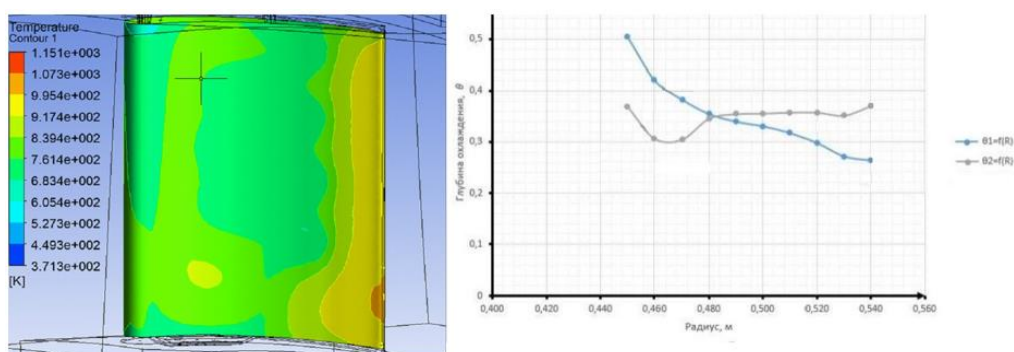


Рис. 5. Охлаждение змеевикового типа с применением азота

Использование инструментов численного моделирования на различных этапах жизненного цикла ГТУ позволяет осуществлять доводку и совершенствование конструкции без существенных затрат на проведение исследований, а также повысить энергоэффективность установки [2].

Список использованных источников

1. Газотурбинные установки с нагнетателями для транспорта газа : справ. пособие / Б. С. Ревзин, И. Д. Ларионов. М. : Недра, 1991. 302 с.
2. Политика ПАО «Газпром» в области энергоэффективности и энергосбережения, утв. постановлением Правления ПАО «Газпром» от 11 октября 2018 г. № 39 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gazprom.ru/f/posts/60/091228/2018-11-20-energetic-policy.pdf> (дата обращения: 20.11.2019)