

УДК 621.18 : 533.36

В.Е. МИХАЙЛОВ, канд. техн. наук, А.А. СТРАШНИКОВ, инженер,
Т.В. СЕВАСТЬЯНОВА, инженер

ОАО «Научно-производственное объединение по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И.И. Ползунова» (ОАО «НПО ЦКТИ»),
г. Санкт-Петербург, Россия

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДУХОЗАБОРНОГО ТРАКТА ГТЭ-110 ИВАНОВСКОЙ ГРЭС В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ FLOWVISION

Показані можливості використання програмного комплексу FlowVision для моделювання повітряно забірною тракту ГТЕ-110 Івановської ДРЕС. Розроблена модель призначена для імітації роботи повітряно забірною тракту від КПОУ до входу у равлик компресора з метою визначення втрат повного тиску та їх порівняння з результатами експерименту, а також розрахунку рівномірності поля швидкостей на вході до компресора.

Possibilities of use of program complex FlowVision for modelling intake duct GTE-110 Ivanovo power station are shown. The created model is used for imitation of work intake duct from filter house to a snail of compressor. There was made the analysis of losses a total pressure and their comparison with results of experiment, and also calculation of uniformity velocities field in the compressor.

В энергетических ГТУ открытого цикла в качестве рабочего тела используется атмосферный воздух, поэтому в конструкции таких ГТУ принимаются специальные меры по очистке воздуха от пыли и других загрязнений, а также по снижению уровня шума. Очистка циклового воздуха от естественной и промышленной пыли и загрязнений защищает воздушный тракт от эрозии и коррозии [1].

Воздухозаборный тракт (ВЗТ) – это многофункциональное устройство, которое состоит из комплексного воздухоочистительного устройства (КВОУ), воздухопроводов, блока шумоглушения, байпасных клапанов (рис. 1).

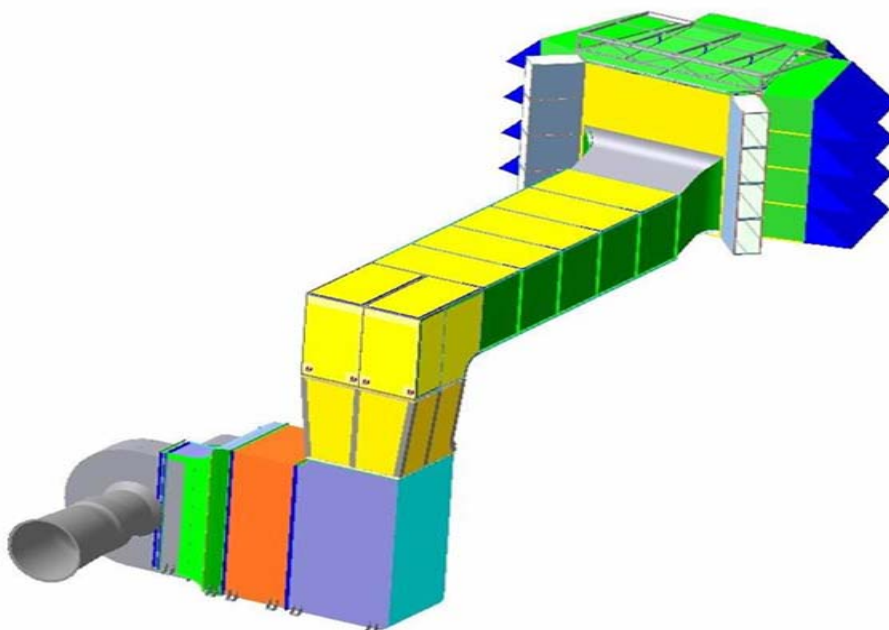


Рис. 1. Модель воздухозаборного тракта ГТЭ-110 для Ивановской ГРЭС

Эффективность и надежность работы воздухозаборного тракта существенно зависят от его компоновки и конструктивного исполнения. Неоптимальные решения по компоновке увеличивают потери полного давления, что приводит к снижению мощности ГТУ. Причем, увеличение потерь полного давления в воздухозаборном тракте на 50 Па ведет к снижению мощности установки на 0,1 % (отн.) и уменьшению КПД на 0,05 % (отн.) [1]. Компоновка и конструкция воздухозаборных трактов ГТУ зависят от многих факторов и в том числе от требований по потерям полного давления ВЗТ. В существующих установках потери полного давления всего воздухозаборного тракта не превосходят 980 Па, а максимально допустимая неравномерность скоростей на входе в улитку компрессора – ± 2 %.

Потери полного давления в воздухозаборном тракте можно разделить на две части:

- потери КВОУ;
- потери части воздухозаборного тракта от КВОУ до входа в улитку компрессора.

Потери полного давления КВОУ зависят от степени загрязнения фильтров всасываемой пылью и возрастают на протяжении срока службы. При чистых фильтрах они не превосходят 290 Па.

Потери полного давления в части воздухозаборного тракта от КВОУ до входной улитки компрессора зависят от компоновки и конструкции, не меняются в процессе эксплуатации ГТУ и являются функцией расхода воздуха (режима работы установки). Они не превосходят 490 Па при номинальных условиях.

Становится очевидным, что одна из важных задач в повышении эффективности отдельно ГТУ или ГТУ в составе ПГУ – это создание «идеального» воздухозаборного тракта с минимальными потерями. Итак, воздухозаборный тракт – это тракт, потери полного давления которого стремятся к минимальным значениям, снижающий уровень шума до допустимых значений, не пропускающий пыль, неравномерность поля скоростей в выходном сечении которого не превосходит ± 2 %.

Следовательно, задача проектировщика заключается в отработке части воздухозаборного тракта от КВОУ до входа в улитку компрессора с целью минимизации потерь полного давления и выравнивания поля скоростей на входе в компрессор.

Решить поставленную задачу можно с помощью следующих инструментов:

1. Оценочный аэродинамический расчет.
2. Эксперимент.
3. Аэродинамический расчет с помощью численного моделирования в математическом пакете.

Оценочный аэродинамический расчет сложен и трудоемок.

Экспериментальные исследования – это очень дорогостоящий, долгий (примерно полгода на изготовление физической модели и отработку части воздухозаборного тракта от КВОУ до входа в улитку компрессора для одной ГТУ) и трудоемкий процесс, дающий результаты с погрешностью 1–1,5 %.

Расчет с помощью численного моделирования – менее дорогостоящий и трудоемкий процесс, требующий небольшого количества времени (2–3 месяца), позволяющий получить достаточно достоверные результаты.

Проведем тестирование программного комплекса FlowVision на вопрос его применимости для расчета воздухозаборных трактов энергетических ГТУ, для чего сравним результаты аэродинамического расчета воздухозаборного тракта ГТЭ-110 с помощью математического моделирования с результатами эксперимента.

Целями аэродинамического расчета с помощью математического моделирования части воздухозаборного тракта ГТЭ-110 от КВОУ до входа в улитку компрессора являлись:

1. Определение потерь полного давления и их сравнение с результатами эксперимента.

2. Расчет равномерности поля скоростей на входе в компрессор.

В качестве программного комплекса для моделирования части воздухозаборного тракта от КВОУ до входа в улитку компрессора выбрана версия пакета FlowVision [2] (разработчик ООО «ТЕСИС»). Этот программный комплекс предназначен для моделирования трехмерных течений жидкости и газа в технических и природных объектах, а также визуализации этих течений методами компьютерной графики. Пакет FlowVision основан на конечно-объемном методе решения уравнений гидродинамики и использует прямоугольную адаптивную сетку с локальным измельчением.

В часть воздухозаборного тракта ГТЭ-110 от КВОУ до входа в улитку компрессора поступает воздух при атмосферном давлении 101 325 Па с расходом 297,1 м³/с. Численное моделирование проводилось при номинальных условиях. При решении задачи принимались следующие допущения:

– режим забора воздуха стационарный;

– т.к. температура воздуха практически не изменяется по длине части воздухозаборного тракта от КВОУ до входа в улитку компрессора, то она принимается постоянной;

– т.к. плотность воздуха практически не изменяется по длине части воздухозаборного тракта, то принимаем, что воздух – несжимаемая жидкость.

В системе автоматизированного проектирования SolidWorks была создана геометрическая модель части воздухозаборного тракта от КВОУ до входа в улитку компрессора (рис. 2). Затем ее импортировали в программный комплекс FlowVision. Далее была задана математическая модель движения воздуха, рассматриваемая как несжимаемая жидкость. Модель несжимаемой жидкости включала в себя: уравнения Навье-Стокса (закон сохранения импульса), неразрывности (закон сохранения массы жидкости) и уравнение SST-модели турбулентности (Shear Stress Transport).

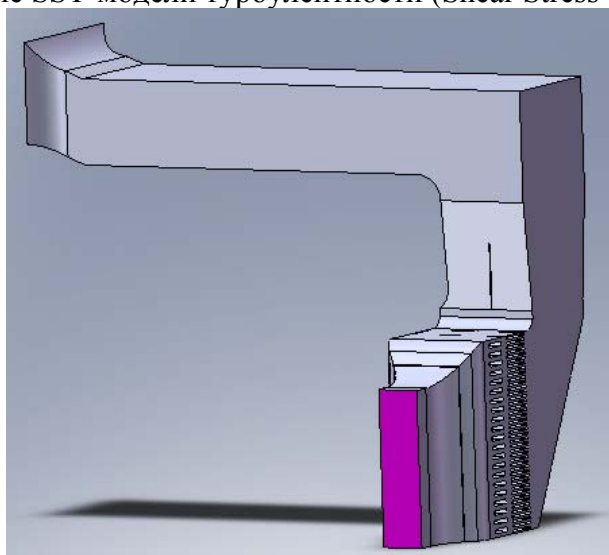


Рис. 2. Геометрическая модель воздухозаборного тракта в SolidWorks

Затем задавали и расставляли граничные условия. На входе в воздухозаборный тракт была задана нормальная скорость, на выходе – тип границы «свободный выход».

После этого генерировалась расчетная сетка. На рис. 3 представлено поле скоростей на входе в улитку компрессора при номинальных условиях (расход воздуха 297,1 м³/с).

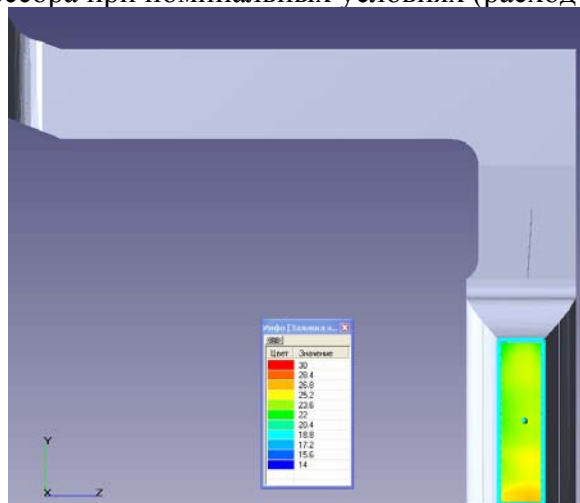


Рис. 3. Поле скоростей на входе в улитку компрессора при номинальных условиях

Из результатов расчета следует, что неравномерность поля скоростей на входе в компрессор не превышает $\pm 2\%$. В результате расчета были получены потери полного давления части воздухозаборного тракта ГТЭ-110 от КВОУ до входа в улитку компрессора, равные 460 Па.

Для экспериментальной отработки аэродинамики воздухозаборного тракта ГТЭ-110 была изготовлена модель из оргстекла с соблюдением полного геометрического подобия в масштабе 1:20. Она была установлена на стенде ОАО «НПО ЦКТИ» и оснащена измерительными приборами. В местах расположения контрольных сечений модели производились измерения статических и динамических давлений в потоке. В результате эксперимента были получены потери полного давления части воздухозаборного тракта от КВОУ до входа в улитку компрессора, равные 431 Па [3].

Погрешность расчета с помощью численного моделирования в математическом пакете по сравнению с экспериментом составила 6 %.

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что программный комплекс FlowVision позволяет определять потери полного давления и его можно использовать для отработки воздухозаборных трактов энергетических установок с целью поиска путей обеспечения максимально допустимой неравномерности скоростей на входе в улитку компрессора $\pm 2\%$ и минимизации потерь полного давления.

Литература

1. Цанев С.В., Буров В.Д., Ремизов А.Н. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций: учеб. пособие для вузов / Под ред. С.В. Цанева. 2-е изд., стереот. – М.: МЭИ, 2006. – 584 с.: ил.
2. FlowVision. Система моделирования движения жидкости и газа. Версия 2.3.3. Руководство пользователя, 1999-2007.
3. Гудков Э.И. Продувка модели воздухозаборного тракта: отчет / Э.И. Гудков, Л.А. Фельдберг, Ю.С. Калинин. – СПб.: ОАО «НПО ЦКТИ», 2005. – 61 с.

© Михайлов В.Е., Страшников А.А., Севастьянова Т.В., 2009