

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАКЕТА FLOWVISION ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВОЗДУХОЗАБОРНОГО ТРАКТА ГТЭ–110 ИВАНОВСКОЙ ГРЭС

МИХАЙЛОВ В.Е., канд. техн. наук, СТРАШНИКОВ А.А., инж., СЕВАСТЬЯНОВА Т.В., инж.  
ОАО «Научно-производственное объединение по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И.И.Ползунова» (ОАО «НПО ЦКТИ») г. Санкт-Петербург Россия

Известно, что газотурбинные двигатели, используемые в качестве привода энергетических и силовых установок, требуют высокой степени очистки циклового воздуха. Недостаточно эффективная очистка атмосферного воздуха приводит к существенному эрозионному износу и загрязнению проточной части двигателя, изменяет треугольники скоростей рабочего тела по проточной части компрессора и турбины, может вызывать засорение каналов системы охлаждения лопаток турбины и, как следствие, приводит к снижению КПД и перерасходу топлива.

Воздухозаборный тракт – это многофункциональное устройство, предназначенное для обеспечения подготовки циклового воздуха и снижения шума всасывания компрессора до уровня санитарных норм. Он состоит из комплексного воздухоочистительного устройства (КВОУ), блока шумоглушения и воздухопроводов (рис. 1).

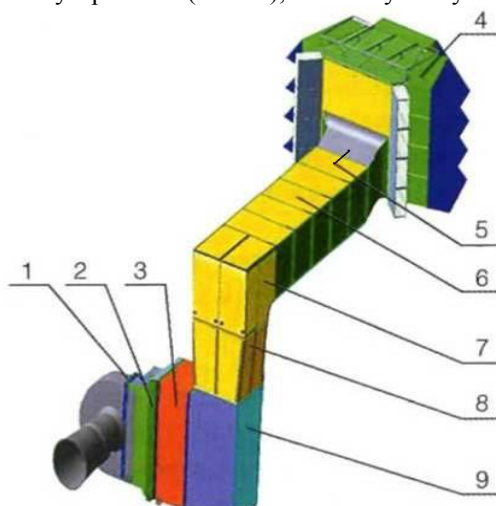


Рис. 1. Трехмерная модель воздухозаборного тракта ГТЭ-110 Ивановской ГРЭС:

1 – компенсатор; 2 – переходник; 3 – глушитель; 4 – КВОУ; 5 – блок стыковки;  
6 – блок горизонтальный; 7 – блок поворотный верхний; 8 – блок конфузорный;

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 воздухозаборного тракта ГТУ зависят от многих факторов и в том числе от требований по потерям полного давления. В существующих установках потери полного давления всего воздухозаборного тракта не должны превышать 980 Па, а максимально допустимая неравномерность скоростей на входе во всасывающий патрубок компрессора –  $\pm 2\%$ .

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

- потери в КВОУ;
- потери в части воздухозаборного тракта от КВОУ до входа во всасывающий патрубок компрессора (далее воздухопровод).

Потери полного давления в КВОУ зависят от степени загрязнения фильтров всасываемой пылью и возрастают на протяжении их срока службы.

Потери полного давления в воздуховоде зависят от компоновки и конструкции, не меняются в процессе эксплуатации ГТУ и являются функцией расхода воздуха (режима работы установки).

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 в котором стремятся к минимальным значениям, снижающий шум всасывания компрессора до уровня санитарных норм, не пропускающий пыль, неравномерность поля скоростей в выходном сечении которого не превосходит  $\pm 2\%$ .

Следовательно, одна из важных задач проектировщика заключается в отработке воздуховода с целью минимизации потерь полного давления и выравнивания поля скоростей.

Решить поставленную задачу можно с помощью следующих инструментов:

1. оценочный аэродинамический расчет с применением справочников;
2. экспериментальная отработка на физической модели;
3. аэродинамический расчет с помощью численного моделирования.

Оценочный аэродинамический расчет с применением справочников сложен и трудоемок.

Экспериментальная отработка на физической модели – это очень дорогостоящий, долгий и трудоемкий процесс (примерно полгода на изготовление физической модели и отработку воздуховода для одной ГТУ), дающий результаты с погрешностью 1–1,5 %. Она обычно проводится на стадии разработки рабочего проекта воздухозаборного тракта и служит для проверки выполнения требований технического задания. При этом изменения геометрии элементов для поиска путей снижения потерь весьма ограничены.

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

Для тестирования программного комплекса [FlowVision](#) на предмет его применимости для расчета воздухозаборных трактов энергетических установок сравнили результаты аэродинамического расчета воздуховода ГТЭ-110 с помощью математического моделирования и результаты эксперимента на физической модели.

Целями аэродинамического расчета с помощью математического моделирования воздуховода ГТЭ-110 являлись:

1. определение потерь полного давления;
2. сравнение результатов аэродинамического расчета с помощью численного моделирования в математическом пакете с результатами экспериментальной отработки на физической модели.

В качестве программного комплекса для моделирования воздуховода выбран пакет FlowVision [2].

В воздуховод поступает воздух при атмосферном давлении 101 325 Па с расходом 297,1 м<sup>3</sup>/с. Численное моделирование проводилось для номинального режима. При решении задачи принимались следующие допущения:

- режим забора воздуха стационарный;
- т. к. температура воздуха практически не изменяется по длине воздуховода, то она принимается постоянной;
- т.к. плотность воздуха практически не изменяется по длине воздуховода, то принимаем, что воздух – несжимаемая жидкость.

В системе автоматизированного проектирования SolidWorks была создана геометрическая модель воздуховода. Затем ее импортировали в программный комплекс FlowVision. Далее была задана математическая модель движения воздуха, рассматриваемого 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.

Затем задавали и расставляли граничные условия. На входе в воздуховод была задана нормальная скорость, на выходе – тип границы «свободный выход». Далее вводили параметры метода расчета и метода численного моделирования. После этого генерировалась расчетная сетка. На рис. 2 представлено поле скоростей по сечению воздуховода при номинальном режиме (расход воздуха 297,1 м<sup>3</sup>/с).

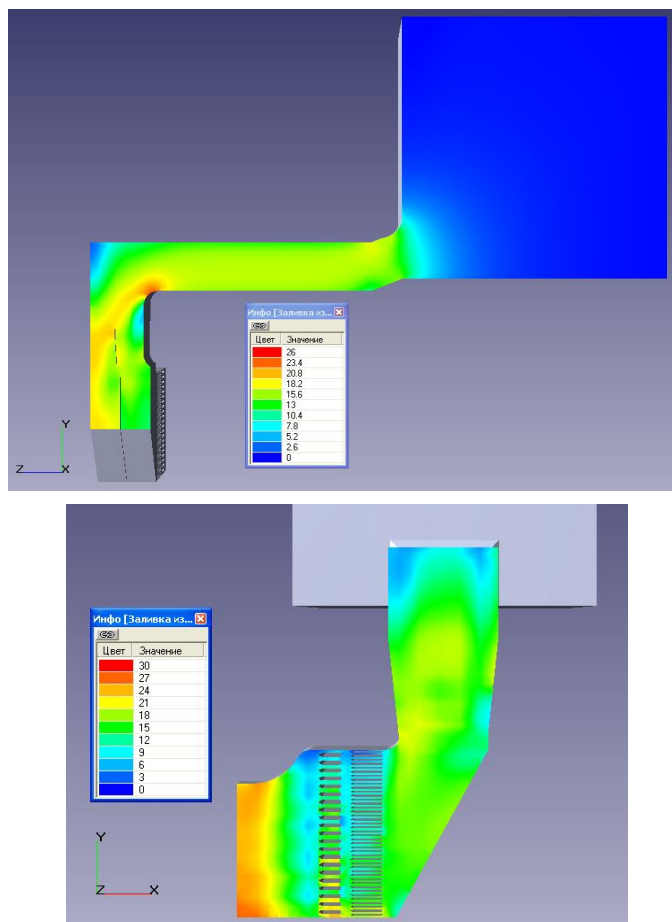


Рис.2. Поле скоростей по сечению воздуховода при номинальном режиме

В результате расчета были получены потери полного давления воздуховода ГТЭ-110, равные 460 Па.

Для экспериментальной отработки аэродинамики воздуховода ГТЭ-110 в ОАО «НПО ЦКТИ» в 2005 г. была изготовлена модель из оргстекла с соблюдением полного геометрического подобия в масштабе 1:20 (рис. 3). 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 воздуховода ГТЭ-110, равные 431 Па [3].



Рис.3. Аэродинамическая модель воздуховода ГТЭ-110 Ивановской ГРЭС

Несовпадение результатов расчета с помощью численного моделирования в математическом пакете по сравнению с экспериментальной отработкой на физической модели составило 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 во всасывающий патрубок 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.: Издательский дом 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., Фельдберг Л.А., Калинин Ю.С. Продувка модели воздухозаборного тракта: отчет. ОАО «НПО ЦКТИ». СПб., 2005. 61 с.