УДК 533: 621.51

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАЧАЛЬНОГО УЧАСТКА ВХОДНОГО ТРАКТА ГПА-25ДН ПРИ РАБОТЕ СПЦВ

Погребнова О.В., Ефремов А.Н., Мерзляков С.Н.

ОАО "НПО "Искра", Пермь, Россия

АННОТАЦИЯ

Гидравлическое сопротивление (потери полного давления) входного тракта газоперекачивающего агрегата является одним из важнейших параметров, влияющих на характеристики газотурбинной установки. Образование инея на поверхности фильтров воздухоочистительного устройства в зимний период приводит к значительному повышению потерь полного давления и, соответственно, к аварийному останову агрегата. Таким образом, возникает задача предотвращения инееобразования. Одним из путей решения является использование систем подогрева циклового воздуха перед фильтрами, чтобы поднять температуру входящего воздуха и отодвинуть точку выпадения росы. В настоящей статье приведены расчетно-экспериментальные исследования работы системы подогрева циклового воздуха в составе воздухоочистительного устройства, в которых показано распределение тепла по поверхности фильтров, позволяющее определить зоны инееобразования. Расчет картины течения проводился при помощи пакета вычислительной гидродинамики «Ansys CFX». По результатам проведенных исследований было создано воздухоочистительное устройство, которое получило положительную оценку от эксплуатирующей организации.

ВВЕДЕНИЕ

Входной тракт газотурбинной установки (ГТУ) является одним из основных элементов конструкции газоперекачивающего агрегата (ГПА), предназначенный для подготовки атмосферного воздуха (очистка, осушка) для входа в двигатель. В настоящее время разработанные на ОАО НПО «Искра» ГПА эксплуатируются в регионах с различным климатом от крайнего севера до юга России. При работе агрегата ГПА-25ДН КС «Таёжная» в зимний период в виду климатических особенностей, таких как повышенная влажность и образование туманов, на поверхности фильтров воздухоочистительного устройства (ВОУ) отмечалось повышенное инееобразование, что приводило к увеличению гидравлического сопротивления входного тракта, аварийному останову ГПА и, как следствие, к снижению эффективности работы компрессорной станции. Фильтры ВОУ, очищая цикловой воздух от пыли, влаги, снега защищают ГТУ от повышенного износа. При этом сами фильтры имеют ограничение по гидравлическому сопротивлению, по достижении которого подлежат замене. Для уменьшения инееобразования на поверхности фильтров в конструкции ГПА предусмотрена система подогрева циклового воздуха (СПЦВ), отбирающая воздух с высокой температурой от одной из ступеней двигателя, который предназначен для подогрева холодного воздуха и снижения его влажности. Обледенение ВОУ происходит при малых (до 10 м/с) скоростях воздуха и температуре атмосферного воздуха ниже +5 ºС [1, 2, 3], что определяет режим работы СПЦВ - включение СПЦВ происходит при температуре атмосферного воздуха ниже +5 ºС и влажности более 80%. Для выявления зон образования инея были проведены замеры температуры воздуха на входе в фильтры, а также расчет картины течения при помощи «Ansys CFX».

ПЕРВОНАЧАЛЬНАЯ КОНСТРУКЦИЯ ВОУ

На рисунке 1 показана модель начального участка входного тракта ГПА, для которой проводился расчет и замеры температуры на поверхности фильтов. ВОУ (аналог [4]) состоит из осадкозадерживающих козырьков (1), корпуса (2), комбинированной системы фильтрации (3), СПЦВ «щелевая» (4), а также площадок обслуживания, байпасных клапанов, приборов контроля и сигнализации (на рисунке 1 не показаны).

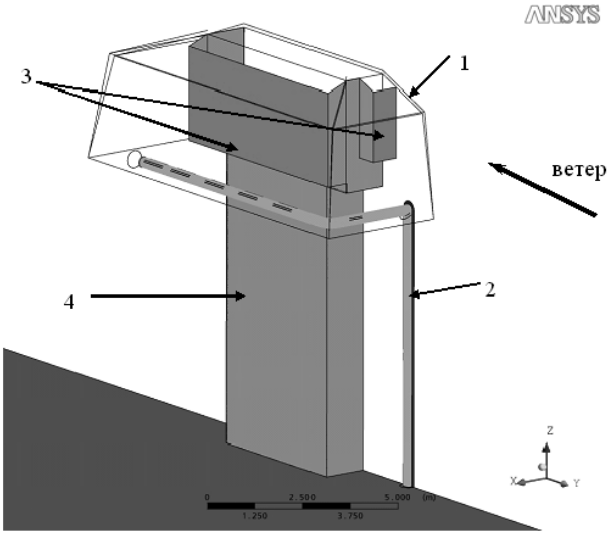

Рис.1 Модель ВОУ.

Осадкозадерживающие козырьки, закрывая все ряды фильтров, позволяют лучше защитить от атмосферных осадков, таких как дождь и снег, однако они не защищают поверхность фильтров от туманов, которые могут содержать переохлажденные жидкие или двухфазные капельки влаги, вызывающие интенсивное инееобразование. Подвод воздуха к раздаче через щели СПЦВ выполнен с одной стороны, раздающая труба находится в середине входящего воздуха. Предполагалось, что горячий воздух, выходя из щелей, будет смешиваться с цикловым воздухом и уже теплый воздух поступит на вход в фильтры ВОУ. Однако, эксплуатация ГПА с СПЦВ представленной конструкции показала ее низкую эффективность. Периодически на фильтрах ВОУ возникало обширное инееобразование. Поэтому было принято решение провести исследование картины течения при работе ВОУ с работающим СПЦВ с помощью пакета вычислительной гидродинамики «Ansys CFX». Учитывая симметрию конструкции, а также для упрощения задачи, расчет был проведен для половины тракта. Фильтры ВОУ моделировались при помощи пористых областей с аналогичным гидравлическим сопротивлением. Для проведения расчета была создана тетраэдральная сетка с призматическими слоями вблизи твердых поверхностей. В виду малого размера отверстий на выходе из тракта СПЦВ было выполнено соответствующее сгущение сетки. Моделирование проводилось в стационарной постановке задачи. Среда – Air Ideal Gas, модель переноса тепла – Total Energy, модель турбулентности – стандартная k-e. Задавались следующие граничные условия:

- на входе в тракт СПЦВ - Inlet с заданием массового расхода температуры;
- на выходе из входного тракта – Outlet с заданием массового расхода;
- открытая поверхность – Opening с заданием бокового ветра и статического давления;
- на твердых поверхностях Wall Adiabatic;
- повехность симметрии – Symmetry.

На рисунке 2 приведено распределение температур на входе в фильтры ВОУ, линии тока на выходе из тракта СПЦВ и результаты экспериментальных замеров температуры (работа ВОУ при ветре 2,5 м/с и тепературе наружного воздуха -8 ºС).

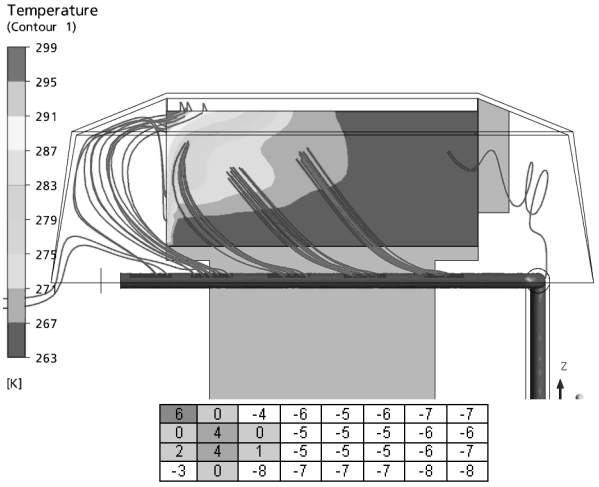

Рис.2 Распределение температур.

Результаты расчетов удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными замеров температуры на поверхности фильтров, а также с замечаниями, которые поступали от эксплуатирующей организации в части зон образования инея. Конструкция

СПЦВ не обеспечивает равномерного прогрева всей поверхности фильтров в силу того, что горячий воздух не успевает в достаточной мере смешаться с холодным, остаются обширные непрогретые зоны (потенциально зоны инееобразования), при этом в прогретых областях прирост температуры достигает 20 и более градусов, что является нежелательным эффектом для нормальной работы фильтров. Обращает на себя внимание осевая составляющая скорости горячего воздуха на выходе из СПЦВ, за счет которой основной расход горячего воздуха приходится на концевые щели, а на поверхности фильтров теплый воздух сдвигается в одну сторону. Нижняя граница козырьков ВОУ находится на одном уровне с раздачей СПЦВ, что приводит к зависимости прогрева фильтров от скорости и направления ветра, увеличивая сдвиг теплого воздуха от центра фильтров. Следует отметить, что расчет течения в окрестности ВОУ при работе СПЦВ с учетом бокового ветра в трехмерной постановке и его сравнение с экпериментальными данными представлен впервые.

ПРЕДЛОЖЕННАЯ КОНСТРУКЦИЯ ВОУ

Для решения проблемы равномерности прогрева циклового воздуха была предложена конструкция ВОУ представленная на рисунке 3. ВОУ состоит из осадкозадерживающих козырьков (1), корпуса (2), комбинированной системы фильтрации (3), рассекателей (4), СПЦВ (5), а также площадок обслуживания, байпасных клапанов, приборов контроля и сигнализации (на рисунке 3 не показаны).

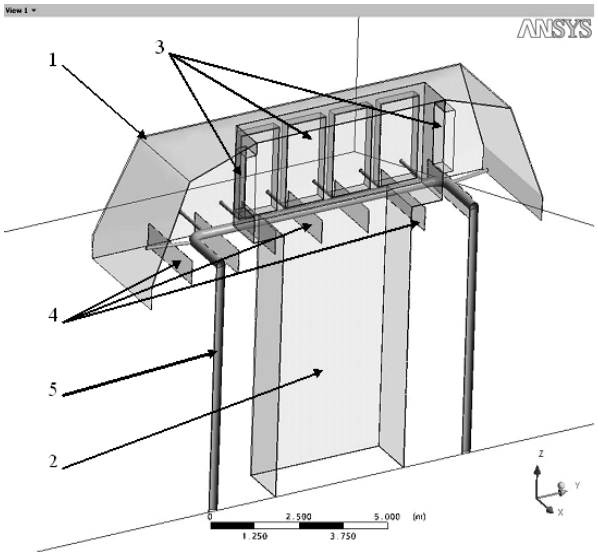

Рис.3 Предложенная модель ВОУ.

Для более равномерного подвода горячего воздуха под осадкозадерживающий козырек, СПЦВ выполнена с «закольцовкой» тракта (подвод воздуха к кольцу осуществляется с двух сторон). Кроме того, раздача горячего воздуха осуществляется через отверстия диаметром 20 мм, расположенные с определенным шагом на раздающих трубках. Эти меры позволили избавиться от осевой составляющей скорости на выходе из СПЦВ. Козырьки ВОУ удлинены и дополнительно под ними установлены рассекатели, позволяющие направлять воздух к раздающим трубкам и снизить зависимость подогрева от ветра. На рисунке 4 показаны линии тока и изотермы на входе в фильтры ВОУ, полученные при расчете для температуры атмосферного воздуха равной -10 ºС и скорости ветра равной 2,5 м/с.

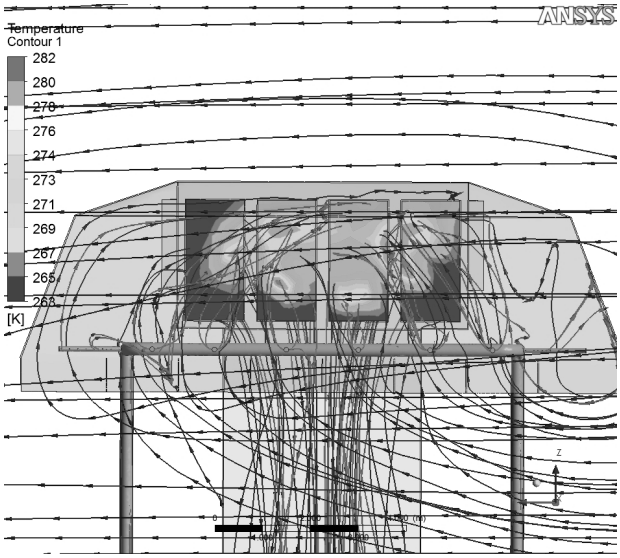

Рис.4 Распределение температур.

Из рисунка 4 следует, что под козырьком ВОУ формируется сложная картина течения с образованием вихревых зон (особенно с наветренной стороны). Наличие рассекателей позволяет развернуть воздух к раздающим трубкам, уменьшая «проскальзывание» до подветренной стороны козырька. На поверхности фильтров наблюдаются значительные зоны прогретого воздуха, однако в нижней зоне сохраняются

холодные области, где возможно инееобразование. Наличие холодных зон связано с тем, что атмосферный воздух, проходя между корпусом входного тракта и раздающей трубой СПЦВ, не получает тепло. Данная проблема была решена путем открытия на раздающей трубе отверстий диаметром 20 мм, направленных в сторону корпуса входного тракта. По результатам проведенных расчетов была проведена доработка ВОУ и СПЦВ на агрегате ГПА-25ДН КС «Таёжная», на которую был получен положительный отзыв из экспуатирующей организации, т. е. в части обмерзания фильтров ВОУ работа ГПА в зимний период замечаний не имеет.

ВЫВОДЫ

- Проведены расчеты картины течения на входе во входной тракт ГПА при помощи пакета вычислительной гидродинамики «Ansys CFX» в трехмерной постановке.
- Результаты расчетов удовлетворительно согласуются с экпериментальными данными.
- Проведена оценка работы первоначальной конструкции ВОУ с «щелевым» СПЦВ, показавшая ее малую эффективность.
- Выявлены факторы, такие как осевая составляющая скорости и ветер, влияющие на распределение температуры по поверхности фильтров.
- По результатам серии численных экспериментов, выполненных в пакете вычислительной гидродинамики «Ansys CFX», предложены мероприятия по доработке ВОУ, позволяющие эффективно бороться с обмерзанием фильтров в зимний период. Мероприятия реализованы в конструкции ВОУ агрегата ГПА-25ДН КС «Таежная».
- По результатам эксплуатации ГПА в зимний период с доработанным ВОУ получен положительный отзыв в части отсутствия инееобразования на фильтрах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Словиков С.В Сальников А.Ф. Причины обледенения воздухоочистительных устройств газоперекачивающих агрегатов // Тез.докл. Всерос. научно-техн. конф. «Аэрокосмическая техника и высокие технологии – 2005»/ Перм. гос.техн.ун-т. –Пермь,2005. - с.143 Slovikov S.V., Salnikov A.F. (2005Origin of frost buidup in air-filtration systems of gascompressor units // Proceedings. All-Russian scientific and technical conference. *Aerospace engineering and high tech* –/ Perm State Tech.Univ. - Perm, – p.143
2. Словиков С.В. Сальников А.Ф. Работоспособность фильтров входного тракта ГПА. Газовая промышленность: науч.-техн. и производств. журн./учередитель ОАО «Газпром» –М.:Газоил пресс, №11, 2007 с.76-78. Slovikov S.V., Salnikov A.F. (2007) Operating capacity of intake duct filters in a gas-compressor unit. Gas industry: scientific & technical, production magazine/ promoter *JSC Gasprom* - M.: Gasoil press, №11, pp.76-78.
3. Сальников А.Ф. Словиков С.В. Борьба с обледенением фильтров-кассет воздухозаборного очистительного устройства ГПА. Газовая промышленность: науч.-техн. и производств. журн./учередитель ОАО «Газпром» –М.:Газоил пресс, № 4,2008 Salnikov A.F., Slovikov S.V. (2008) Ice-control of cartridge filters in gascompressor unit's air-filtration system. Gas industry: scientific & technical, production magazine/ promoter *JSC Gasprom* - M.: Gasoil press, № 4.
4. Кислицын Г.Ф., Козинов А.М. и др. Патент РФ №2324062 от 10.05.2008 г., Воздухоочистительное устройство для газотурбинного двигателя. Kislitsyn G.F., Kozinov A.M. etc. (2008) Patent of RF №2324062 dated May 10. Air-filtration system for gas turbine engine.

© Погребнова О.В., Ефремов А.Н., Мерзляков С.Н.