

МОДЕРНИЗАЦИЯ СОПЛОВЫХ НАПРАВЛЯЮЩИХ АППАРАТОВ ТУРБОДЕТАНДЕРОВ КК2010 И КК2026

Первоначально воздухоразделительные установки (ВРУ) и турбодетандеры серии КК2010 для них были разработаны на НПО «Гелиймаш» (г. Москва), после чего вся документация была передана для серийного производства на завод «Кислородмаш» (г. Одесса). Серия КК2026 представляет собой заводскую модернизацию тех же детандеров. Указанные «линейки» содержат турбодетандеры среднего давления ДТ-0,3/4, ДТ-0,6/4, ДТ-1/4, ДТ-1,3/4, ДТ-1,5/4 и высокого давления ДТ-0,8/20, ДТ-1,8/20.

Это высокоскоростные прецизионные турбомашины с частотами вращения ротора до 150 тыс.об/мин и более с масляными подшипниками скольжения. Конструкции всех турбодетандеров (ТД) практически одинаковые и отличаются, по существу, только одной деталью – сопловым направляющим аппаратом или просто направляющим аппаратом (по терминологии завода-изготовителя – щекой лопаточной).

В ранних модификациях указанных детандеров применялись направляющие аппараты (НА) лопаточного типа, в более поздних модификациях начали применяться НА канального типа. На фотографии далее представлены «родные» направляющие аппараты Одесского производства : лопаточного типа для ДТ-0,8/20 (слева), лопаточного типа для ДТ-0,6/4 (в центре) и канального типа для ДТ-0,6/4 (справа).



Высота лопаток направляющего аппарата (и их количество в зависимости от типа НА : 17, 16 или 6 лопаток) определяют расход воздуха и в целом режим работы турбодетандера, поэтому разные ТД данной серии отличаются именно высотой лопаток направляющего аппарата. Однако же, за исключением высоты лопаток, профили лопаток НА тоже одинаковые для всех перечисленных турбодетандеров! И это уже «издержки» серийного производства, т.к. режимы некоторых ТД существенно различаются.

Практика эксплуатации показала, что применение некоего «осредненного» и одинакового для всех ТД профиля лопаток НА в некоторых случаях приводит к снижению эффективности детандера и уменьшению холодопроизводительности. Наибольшие проблемы подобного рода возникают в турбодетандере высокого давления ДТ-0,8/20. А при использовании в этом детандере направляющего аппарата лопаточного типа возникают дополнительные проблемы, обусловленные очень малой высотой лопаток НА (около 0,3 мм). Для повышения эффективности турбины (т.е. КПД) приходится увеличивать частоту вращения ротора до очень больших значений, и, несмотря на это, иногда вообще не удается обеспечить оптимальный режим работы ТД !

Специалисты научной группы «Мехтурбо» проанализировали проточную часть детандера высокого давления ДТ-0,8/20 (самого проблемного из «линейки»), после чего спроектировали и изготовили несколько экспериментальных направляющих аппаратов канального типа с оптимизированным профилем с 5-ю лопатками, см. фотографию.



Эффективность детандера (в данном случае – ДТ-0,8/20) при использовании штатного или нового НА определяется не только количеством лопаток, «секрет» конструкции заключен в самом профиле этих лопаток. Данные направляющие аппараты изготовлены из высококачественной легированной стали. Профиль лопаток получен специальной фрезеровкой на станке с ЧПУ. Точность исполнения профиля обеспечена на уровне $\pm 0,01$ мм.

В последствие было изготовлено два турбодетандера ДТ-0,8/20 с новым НА. Пробная эксплуатация на установке КжКАж-0,25 на предприятиях «Тверьгазсервис» (г. Тверь) и «АПГ» (г. Барнаул) подтвердили правильность принятых технических усовершенствований.

Новые направляющие аппараты существенно повысили эффективность турбодетандеров высокого давления. В результате ТД стали обеспечивать расчетную холодопроизводительность при пониженной частоте вращения ротора 90...120 тыс.об/мин (вместо 150...180 тыс.об/мин согласно паспорту завода-изготовителя). Очевидно, что обеспечение расчетной холодопроизводительности при пониженных оборотах неизбежно приводит к увеличению моторесурса подшипниковых узлов ТД, что само по себе является положительным фактором.

В настоящее время планируется провести аналогичные экспериментальные работы по оптимизации направляющих аппаратов для турбодетандеров среднего давления.

Практика эксплуатации ВРУ показывает, что при длительной эксплуатации снижаются кондиции компрессоров, подающих воздух на ВРУ (происходит это из-за износа поршневых колец компрессора и других сопутствующих факторов). Так, на установках высокого давления вместо положенных 20 МПа компрессор из-за деградации может «выдавать» пониженное давление, например, 18 МПа, а иногда и менее 17 МПа. В итоге невозможно обеспечить оптимальный режим как для детандера, так и для ВРУ в целом.

В подобной ситуации можно рекомендовать уменьшить проходное сечение межлопаточных каналов направляющих аппаратов на 20-30% по сравнению с расчетной величиной. Достигается это уменьшением высоты лопаток НА с помощью шлифовки. Разумеется, предварительно целесообразно произвести проверочные газодинамические расчеты проточной части ТД.

После такой доработки НА «выход» полезного продукта на ВРУ будет снижен (а он и так снижен из-за ухудшения кондиций компрессора), зато режим работы и эффективность турбодетандера будут возвращены к «расчетной точке».

При проведении ремонтов турбодетандеров по согласованию с Заказчиком возможна установка усовершенствованных направляющих аппаратов взамен «родных» Одесского производства (за дополнительную плату).

**Сотрудники «Мехтурбо»
2016 г.**