

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА FLOWVISION ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ УЗЛА УПЛОТНЕНИЯ ТУРБИНЫ

В.В.Мельников, инженер, А.А.Прокусов, инженер  
ОАО «СКБТ», г. Пенза.

В ОАО «СКБТ» для сокращения сроков и повышения эффективности работ по созданию и модернизации турбокомпрессоров (ТК), а также для снижения затрат, связанных с проведением натурных исследовательских испытаний, с 2005г. успешно применяется программный комплекс [FlowVision](#) (FV).

Ранее авторами приводился обзор некоторых расчетно-исследовательских работ, как по верификации и отработке методик [1], так и по практическому применению [2] FV для анализа и оптимизации различных элементов проточной части ТК. Последующие испытания и эксплуатация изделий подтвердили адекватность используемых методик и высокую достоверность получаемых результатов. В связи с этим FV стал активно применяться для решения различных практических задач инженерного анализа.

Несколько лет назад от одного отечественного предприятия поступил заказ на разработку и изготовление ТК для дизеля маневрового тепловоза с гидравлической передачей. До этого момента на данный локомотив устанавливались двигатели других отечественных производителей, оснащенные турбокомпрессорами нашей же разработки, в связи с чем, тепловоз, особенности его устройства и работы, а также основные эксплуатационные режимы были нам хорошо известны. Используя имеющиеся наработки на базе турбокомпрессоров серии 1820 (рис.1) удалось в короткий срок создать модификацию ТК, обеспечивающую работу двигателя на всех эксплуатационных режимах данного тепловоза.

Однако при проведении доводочных испытаний выяснилось, что заказчик предполагает использовать турбокомпрессоры не только по оговоренному в техническом задании назначению, но и для комплектации дизель-генераторов новых тепловозов - с электрической передачей.

Необходимо отметить, что работа по «линейной» характеристике (характерной для маневровых тепловозов с электрической передачей) предъявляет гораздо более жесткие (относительно куб.параболической характеристики локомотивов с гидropередачей) требования к системе наддува по обеспечению частичных и переходных режимов. Несмотря на это, результаты доводочных испытаний на дизеле показали, что новая модификация турбокомпрессора обеспечивает удовлетворительные параметры воздухообеспечения дизеля и в этом случае.

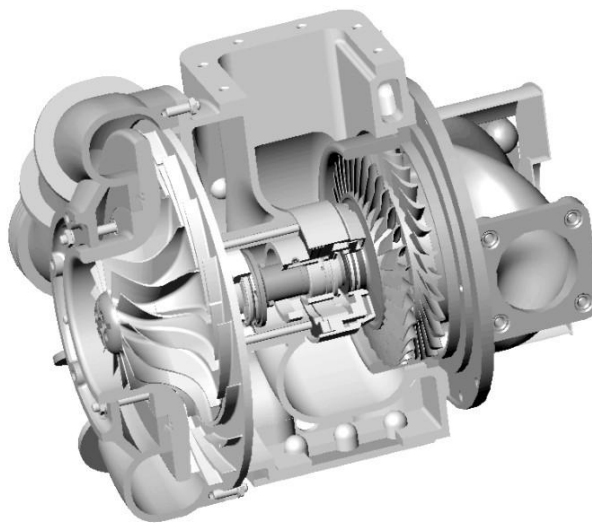


Рис.1 Турбокомпрессор серии 1820

Однако в ходе эксплуатации первых образцов выяснилось, что уплотнение турбины ТК не обеспечивает надежной работы (предотвращения уноса масла на выхлоп) при длительной непрерывной (более 2-х часов) работе силовой установки на режимах холостых ходов, что вызвало нарекания эксплуатирующих организаций. (Необходимо отметить, что по локомотиву с гидropередачей таких замечаний не было. На наш взгляд, это связано с особенностями компоновки выхлопной системы и режимной работы дизеля нового тепловоза.)

Вообще, проблема уноса масла через уплотнения турбокомпрессоров на холостых ходах и малых нагрузках (а для маневровых тепловозов доля таких режимов составляет до 90% от общей наработки) далеко не нова. Дело в том, что частота вращения ротора ТК на холостых ходах современных двигателей составляет не более 15...20% от режима полной мощности. Широко применяющиеся в различных турбомашинах схемы с динамическими и лабиринтными уплотнениями на таких режимах малоэффективны. Кроме того, на холостых ходах отсутствует избыточное давление воздуха за компрессором, а использование постороннего источника для обеспечения наддува уплотнений далеко не всегда возможно.

Принимая во внимание тот факт, что выхлопные газы на выходе из рабочего колеса турбины ТК на режимах холостых ходов двигателя имеют невысокую температуру, для устранения уноса масла было предложено изменить конфигурацию обтекателя уплотнения таким образом, чтобы спрофилированная (имеющая острый угол) кромка обтекателя была вынесена на некоторую величину ( $\Delta h$ ) в основной поток газа (см. рис.2).

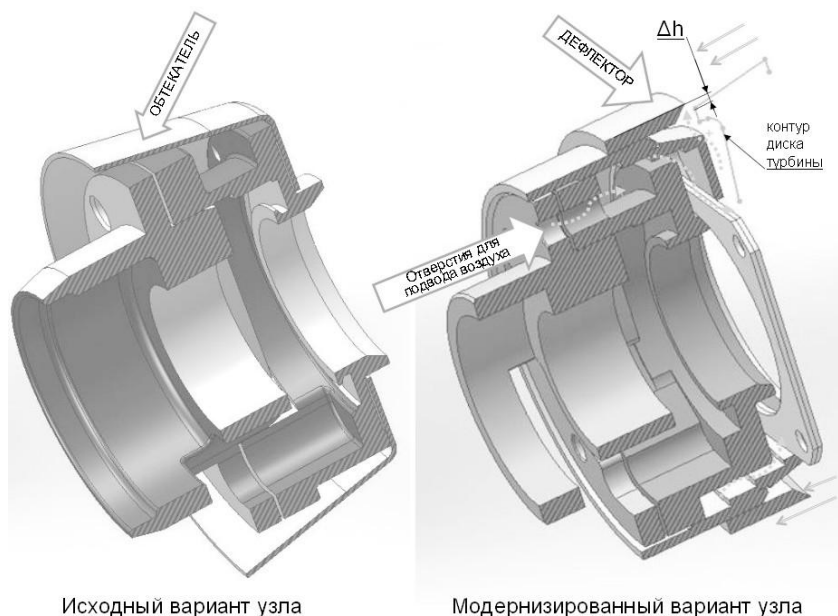


Рис.2 Исходный и модернизированный узел уплотнения

Тем самым, за счет использования скоростного напора газа, обеспечивается подпор уплотнения турбины ТК на режимах холостых ходов двигателя. При выходе дизеля под нагрузку, когда появляется избыточное давление воздуха за компрессором, воздух поступает в пространство между диском колеса турбины и обтекателем уплотнения и экранирует узел от действия газов.

Однако было очевидно и то, что введение подобного элемента в поток может существенно деформировать течение газа в прикорневой области и снизить эффективность (КПД) турбины и всей системы турбонаддува.

В программном комплексе FV было произведено моделирование работы существующей турбины на различных режимах силовой установки тепловоза. Подход к моделированию, параметрам расчетной сетки и проведению расчета, в общем, аналогичен описанному в работе [2] для сектора осевой турбины. Отличие заключается в том, что расчетная модель была дополнена затурбинной полостью с геометрией, соответствующей реальной геометрии турбинного диска и обтекателя (рис.3). При этом подвод воздуха в затурбинную полость из компрессора не моделировался (что соответствует наиболее «тяжелому» режиму работы узла).

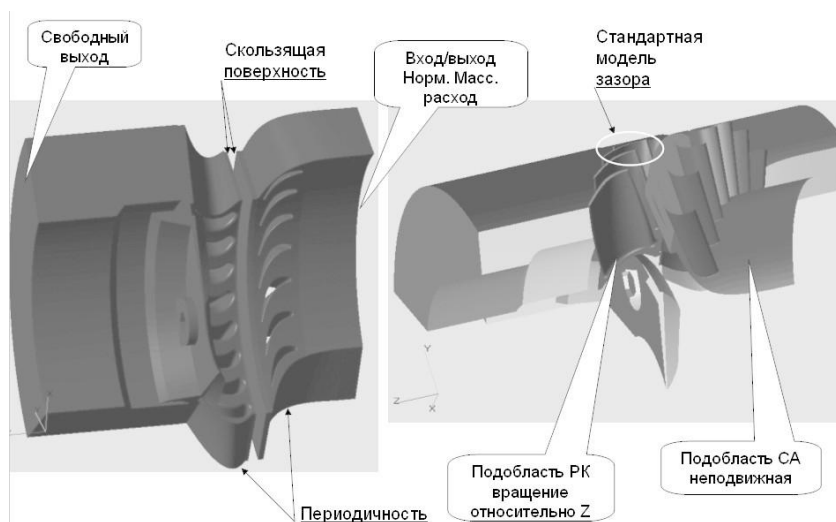


Рис.3 Расчетная модель сектора ступени турбины с затурбинной полостью

Расчет показал, что на режимах холостых ходов и малых нагрузок в исходном варианте создается разрежение в затурбинной полости, что очевидно и приводило к уносу масла через маслоуплотнительные кольца. Полученные результаты хорошо согласовывались с практикой испытаний и эксплуатации и объясняли склонность ТК данной серии к уносу масла именно на этих режимах.

Далее было проведено моделирование турбины, идентичной по геометрии исходной, но с кольцевым дефлектором, имеющим острый угол, введенный в основной поток на выходе из рабочего колеса на некоторую величину ( $\Delta h$ ), которая варьировалась в серии расчетов. Целью этой части работ было определение влияния установки дефлектора и изменения параметра  $\Delta h$  на основные интегральные параметры турбины (КПД и пропускную способность) и на изменение давления в затурбинной полости.

Результаты моделирования, представленные в таблице 1 показали, что некоторому промежуточному значению параметра  $\Delta h$  ( $\Delta h = \Delta h_2$ ) соответствует необходимое сочетание показателей. То есть, на всех режимах

в затурбинной полости обеспечиваются условия, приемлемые для надежной работы уплотнения (нет разряжения, но избыточное давление не превышает 0,15...0,2 бар - из условия долговечности уплотнительных колец), при том, что изменение КПД и пропускной способности турбины, относительно исходного варианта, не превышает 0,5% (находится в пределах экспериментальной погрешности стендов).

Таблица 1

| Параметр   | ПКМ* | Исх. вариант | $\Delta h = \Delta h_1$<br>(0) | $\Delta h = \Delta h_2$ | $\Delta h = \Delta h_3$ | Допустимые значения                                  |
|--|------|--------------|--------------------------------|-------------------------|-------------------------|--|
| $\Delta \eta$ – изменение КПД турбины относительно исходного варианта, %   | 0    | 0            | 0                              | -0,1                    | <u>-0,9</u>             | не более $\pm 0,5$                                   |
|  | 4    | 0            | 0                              | -0,1                    | <u>-0,7</u>             |  |
|  | 8    | 0            | 0                              | -0,2                    | <u>-1,3</u>             |  |
| $\Delta \mu F$ – изменение пропускной способности турбины относительно исходного варианта, %                       | 0    | 0            | 0                              | -0,2                    | <u>-0,8</u>             | не более $\pm 0,5$                                   |
|  | 4    | 0            | 0                              | -0,04                   | -0,4                    |  |
|  | 8    | 0            | 0                              | -0,15                   | <u>-0,8</u>             |  |
| $p_{ст\_тк}$ – относительное статическое давление в затурбинном зазоре, Па   | 0    | <u>-50**</u> | <u>-20</u>                     | 40                      | 210                     | не менее 0<br>не более<br><b>15000</b><br>(0,15 бар) |
|  | 4    | <u>-180</u>  | <u>-150</u>                    | 480                     | 1690                    |  |
|  | 8    | 290          | 910                            | 4910                    | 13550                   |  |
| * ПКМ – позиция контроллера машиниста: 0 – режим холостого хода; 4 – режим 50% мощности; 8 - режим полной мощности |      |              |                                |                         |                         |  |
| ** выделены значения, выходящие за пределы допустимых диапазонов   |      |              |                                |                         |                         |  |

По результатам расчетов было спроектировано экспериментальное уплотнение с дефлектором. Проведенные испытания показали высокую эффективность предложенного решения при сохранении КПД и пропускной способности турбины. Соответствующие изменения внесены в конструкторскую документацию и внедрены в производство с марта 2010, также сервисной службой СКБТ были проведены доработки ранее выпущенных ТК на местах эксплуатации. После проведения доработок замечания от эксплуатирующих организаций по уносу масла в выхлопной тракт турбокомпрессоров прекратились.

#### Литература

1. Мельников В.В., Прокусов А.А. Использование программного комплекса FlowVision при расчете элементов проточной части турбокомпрессоров в ОАО «СКБТ» // Труды конференции «Инженерные системы-2005». М., 2006. С.59
2. Прокусов А.А., Мельников В.В. Результаты практического использования программного комплекса FlowVision при разработке и модернизации турбокомпрессоров // Труды конференции «Инженерные системы-2007». М., 2007. С.111