

# МОДЕРНИЗАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА АММИАКА В СТРАНАХ СНГ

(Семаков А.В., Евдокимов В.Е., Репринцев А.И., Любимов А.Н., ООО НПФ «Энтехмаш»  
Malec A., Werner R., Alstom Power)

Предприятия крупнотоннажного производства аммиака в России и СНГ, построенные в 70-е годы прошлого века, были оснащены турбокомпрессорными агрегатами, рассчитанным на производительность 1360 тонн аммиака в сутки.

В 70-е годы были запущены многие линии по производству аммиака, основанные на технологии японской фирмы ТЕС. В производствах аммиака применялись турбокомпрессоры производства таких известных фирм, как Mitsubishi Heavy Industries, Dresser-Rand, Hitachi, Fuji и Nuovo Pignone.

Одновременно с этим были разработаны собственные технические решения, основанные на технологии ГИАП и отечественных турбокомпрессорах Невского и Казанского заводов.

В последние годы производительность, обеспечивающая выпуск аммиака в объеме 1360 т/сутки является недостаточной, поэтому был начат процесс модернизации технологических линий и динамического оборудования (турбин и компрессоров) с целью обеспечения повышения производительности.

В последнее десятилетие практически на всех предприятиях азотной промышленности России и стран СНГ актуальным является повышение производительности до 1700 - 2000 т/сутки, а также уменьшение себестоимости конечного продукта за счёт снижения эксплуатационных удельных энергозатрат. Определяющую роль в решении данной проблемы играет компрессорное оборудование: главным образом, турбокомпрессорные агрегаты технологического воздуха, синтез – газа, природного газа и аммиака.

Рассогласование характеристик секций центробежных компрессоров при изменении технологических параметров назначения приводит либо к невозможности обеспечить эти параметры, либо к существенному снижению эффективности процесса сжатия, снижению КПД и надёжности из-за роста возбуждающих аэродинамических сил. Приводные турбины не соответствуют

современному уровню, не обеспечивают технические требования по мощности и расходу пара, что приводит к большим энергетическим потерям.

В 2011 году, российская компания Энтехмаш и польская организация ALSTOM Power вместе с украинской компанией ТРИЗ приступили к совместной разработке предложения по модернизации турбин и компрессоров, отвечающим требованиям Производителей – проекта «Аммиак 2000».

Столь большой выпуск аммиака требует тщательной проработки изменений, которые следует внести, как и в саму технологию изготовления, так и в турбоагрегаты.

Основные задания по модернизации компрессоров и турбин были определены проектными организациями, к примеру фирмой Ammonia Casale, которые анализировали весь технологический процесс вместе с Производителем аммиака.

Роль Производителя в этом процессе состоит в использовании многолетнего опыта эксплуатации технологического оборудования для обозначения отдельных задач по модернизации, изменений, вносимых в оборудование и исходных данных при новых условиях работы.

На основании анализа процесса и опыта производителей аммиака, определена необходимость модернизации компрессоров и турбин в линии синтез-газа поз.103J/JT, а также в линии технологического воздуха поз.101J/JT для получения производительности по аммиаку 2000 тонн в сутки.

НПФ «Энтехмаш» ранее уже модернизировал компрессор поз. 101J и 103J для получения 1700 т/сутки и применил полученный опыт в этом проекте Аммиак 2000. На рисунке 1 представлен внешний вид турбокомпрессорного агрегата технологического воздуха 101J/JT.



Рис.1 компрессор технологического воздуха поз.101J

Проект Аммиак 2000 основан на нескольких основных требованиях, касающихся динамического оборудования, а именно:

- достижение требуемой производительности и параметров компрессоров синтез-газа и воздуха;
- обеспечение соответствующей мощности и оборотов турбинными приводами компрессоров при минимальном потреблении пара;
- обеспечение бесперебойности работы при непрерывном режиме, соответствующих запасов по параметрам, предусмотренным стандартами API 612 и API 617;
- повышение КПД оборудования (компрессоров и турбин) с целью снижения удельных энергозатрат при производстве аммиака.

НПФ «Энтехмаш» обеспечивает решение задачи модернизации компрессоров с целью повышения производительности, политропных КПД секций и улучшения характеристик промежуточных газоохладителей для увеличения производства аммиака до 45 % по сравнению с начальной проектной величиной. В проточных частях модернизированных компрессоров поз 101J и 103J использованы высокоэкономичные ступени ЦКМ с рабочими колёсами

«компрессорного» типа с углом выхода  $\beta_2=48^\circ$  и  $32^\circ$  и лопаточными диффузорами.

Политропные КПД секций компрессора **поз.101J** приведены в таблице 1.

Таблица 1

Номер секции	1	2	3	4
Тип сжимаемого газа	Воздух			
Политропный КПД	0,83	0,81	0,83	0,80

В результате модернизации создается компрессор с улучшенными технико-экономическими характеристиками при максимальном использовании штатных узлов агрегата: силовых корпусов, обвязки газовых линий, арматуры, смазочной системы и т.д. При реконструкции, по сути, получается новая машина, так как вся проточная часть компрессора меняется на новую. По эффективности это не уступает проточным частям машин спроектированных заново в новых корпусах. Такой компрессор может находиться в эксплуатации ещё несколько десятилетий.

На рисунке 2 представлен эскиз продольного разреза ЦНД модернизированного компрессора поз.101J(1700 т/сут), продольный разрез ЦНД поз.101J(2000 т/сут) внешне аналогичен, на рисунках 3 и 4 – продольные разрезы ЦВД спроектированными для получения 1700 и 2000 тонн аммиака в сутки соответственно.

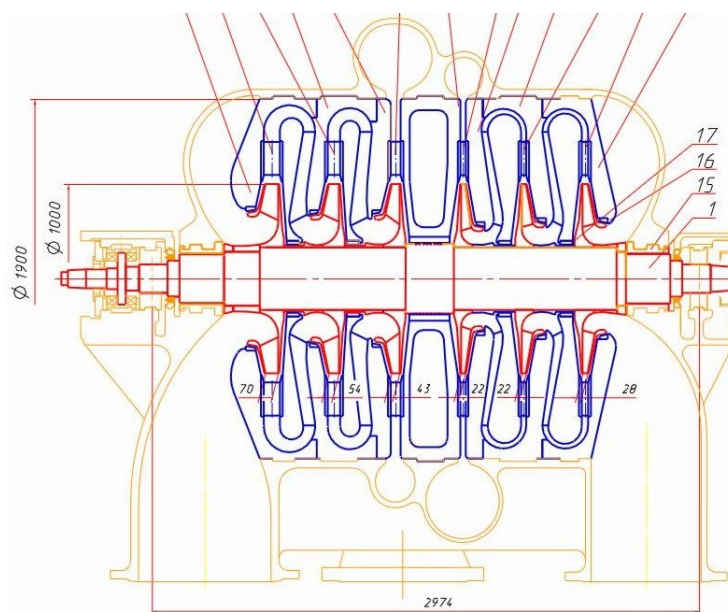


Рис. 2 Продольный разрез ЦНД модернизированного компрессора  
поз.101J(1700 т/сут)

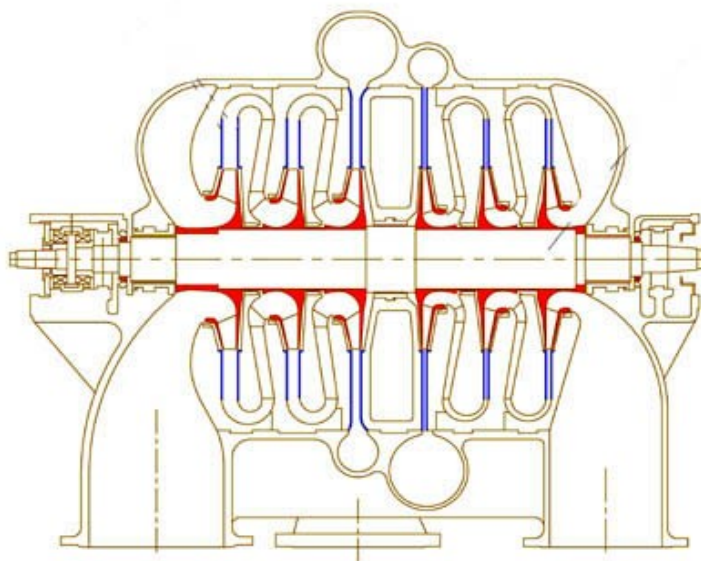


Рис. 3 Продольный разрез ЦВД модернизированного компрессора  
поз.101J(1700 т/сут)

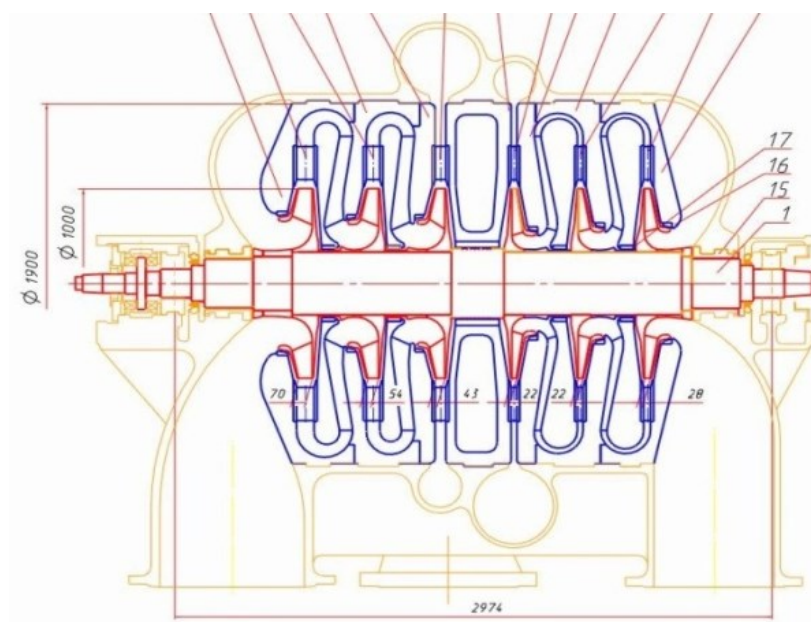


Рис. 4 Продольный разрез ЦВД модернизированного компрессора  
поз.101J(2000 т/сут)

На рисунках 5 и 6 представлены роторы ЦНД и ЦВД модернизированного компрессора 101J(1700 т/сут).

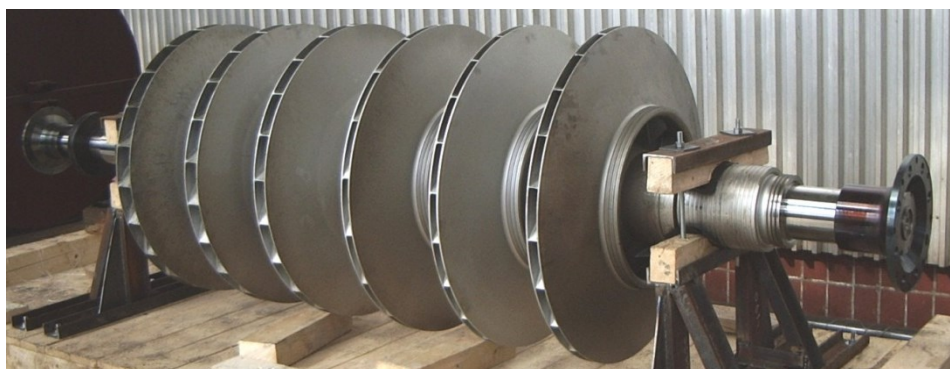


Рис.5 Ротор ЦВД модернизированного компрессора поз.101J (1700 т/сут).

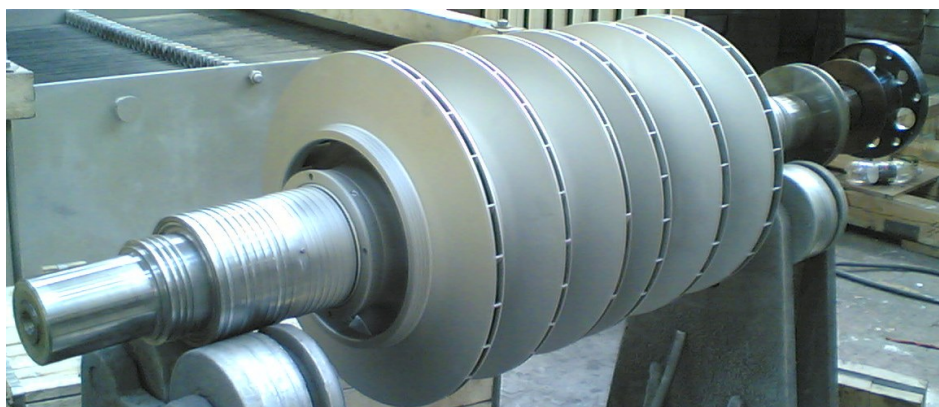


Рис.6 Ротор ЦВД модернизированного компрессора поз.101J (1700 т/сут).

Потребляемая мощность модернизированного компрессора на сопоставимых режимах существенно ниже, чем у штатного варианта.

Особенно значительный эффект получается при комплексной модернизации турбокомпрессорных агрегатов, включающей как компрессор, так и турбину фирмы ALSTOM Power.

ALSTOM Power в Эльблонге обладает богатым опытом производства и модернизации высокоскоростных турбин, с использованием разных технологий (активные и реактивные). Компания переняла также технологии производства высокоскоростных турбин, разработанные в центре в Ла Курнев/Франция (перенята также вся проектно-конструкторская база турбин данного типа).

Турбина 101JT это высокоскоростная машина, предназначенная для работы в конденсационном режиме, являющаяся приводом компрессора. Турбина является осевой однокорпусной реактивной машиной.

Реконструкция состоит в замене существующего реактивного лопаточного аппарата новым современным реактивным облопачиванием типа 8000 или 9000 (ступени 3D), см. рисунок 7, обладающим наивысшим КПД. Регулирующая ступень удаляется.



Рис. 7 Облопачивание типа 8000 (2D) и 9000 (3D)

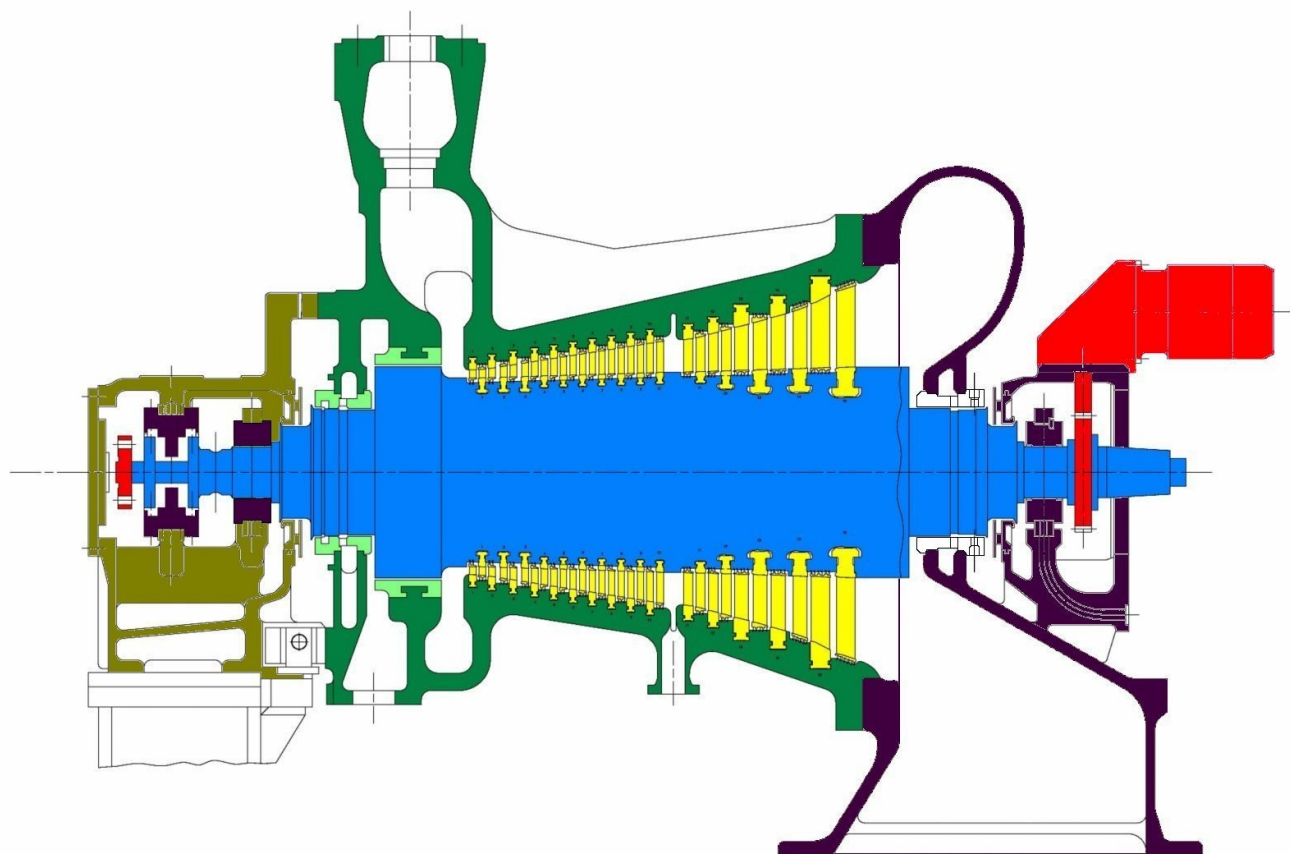


Рис. 8 Осевой разрез турбины 101JT после реконструкции

Турбина достигает следующие мощности и частоты вращения указанные в таблице 3. Турбина отличается высокой степенью отстройки от резонанса лопаток на рабочих диапазонах частот вращения.

Таблица 3.

Параметр	Обозначение	Единица	Номинальные параметры	Максимальная мощность
Обороты турбины	n	об/мин	5200	5500
Мощность на валу	N	МВт	13.63	15.8

Энтехмаш и Альстом Пауэр при участии Триз имеют также совместные проекты модернизации агрегатов синтез – газа с циркуляционной ступенью, аммиака и природного газа.

#### Список литературы:

1. Евдокимов В.Е., Репринцев А.И. Эффективный способ совершенствования ступени ЦКМ, 9, Энергомашиностроение (1986)
2. Евдокимов В.Е., Репринцев А.И. О совершенствовании обратного направляющего аппарата. Энергомашиностроение. (1984).
3. Ден Г.Н., Тилевич И.А. Газодинамические характеристики лопаточных диффузоров центробежных компрессорных машин. 7, Ленинград : Теплоэнергетика, (1966), стр. 33-36.
4. Евдокимов В.Е. Исследование геометрических и кинематических условий на входе в рабочее колесо центробежного компрессора. Ленинград : ЛТИХП, (1972).
5. Евдокимов В.Е. Банк экспериментальных данных по модельным ступеням и их элементам для проектирования ЦКМ. Турбины и компрессоры.
6. Любимов А.Н., Евдокимов В.Е. О расчете газодинамических характеристик ступени центробежного компрессора, Компрессорная техника и пневматика. 2012. №7., 28-33
7. Cumpsty N. Compressor aerodynamics (2000)