

УДК 621.515

doi:10.18720/SPBPU/2/id18-93

**Любимов Александр Николаевич**

Кандидат технических наук, начальник отдела перспективных разработок и проектирования  
liubimov@entechmach.com

**Молодов Михаил Анатольевич**

Специалист по компрессорным машинам  
molodov@entechmach.com

**Райков Алексей Андреевич**

Специалист по компрессорным машинам  
raikov@entechmach.com

*ООО НПФ «ЭНТЕХМАШ», Санкт-Петербург, Россия*

**ТЕХНИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ НПФ «ЭНТЕХМАШ»  
ПО МОДЕРНИЗАЦИИ ТУРБОКОМПРЕССОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

**Аннотация.** Научно-производственная фирма «ЭНТЕХМАШ» успешно работает на рынке энергетического машиностроения более 25 лет. Приоритетное направление деятельности компании – модернизация турбокомпрессорного оборудования для различных областей промышленности с повышением показателей эффективности и надежности. Производство фирмы располагается в 4 цехах, оборудованных современным станочным оборудованием. Кроме производственной базы НПФ «ЭНТЕХМАШ» обладает уникальным банком экспериментальных данных, специализированным ПО и высококвалифицированным составом работников, имеющим большой опыт производственной, конструкторской и научной деятельности. Недостатком работающих на сегодняшний день агрегатов является деформация и износ деталей, формирующих элементы проточной части, наличие перетечек газа по горизонтальному разъему диафрагм, утечек через разъемы корпуса, а также несогласованность работы секций компрессора. Эти факторы приводят к снижению энергоэффективности сжатия, необеспечению необходимых параметров, снижению надежности работы. Наиболее рациональным путем решения вышеперечисленных проблем является модернизация. В результате модернизации создается новая проточная часть в штатных корпусах, что существенно снижает стоимость относительно покупки нового компрессора. При необходимости устанавливаются новые трубные пучки охладителей с повышенной поверхностью теплообмена и сниженным сопротивлением. Такой компрессор может находиться в эксплуатации еще несколько десятилетий, а по эффективности не уступает заново спроектированным машинам в новых корпусах. За время своего существования НПФ «ЭНТЕХМАШ» провел более 35 успешных модернизаций турбокомпрессоров в химической, металлургической и нефтехимической отраслях промышленности.

**Ключевые слова:** Центробежный компрессор, модернизация, повышение энергоэффективности, проточная часть, теплообменный аппарат, паровая турбина.

**Lyubimov Alexander N.**

Candidate of Engineering Sciences, Head of Advanced Development and Design  
liubimov@entechmach.com

**Molodov Mikhail A.**

Compressor Specialist  
molodov@entechmach.com

**Raykov Alexey A.**

Compressor Specialist  
raikov@entechmach.com

*ООО НПФ «ЭНТЕХМАШ», Saint Petersburg, Russia*

## TECHNOLOGICAL ABILITIES FOR TURBOCOMPRESSOR EQUIPMENT MODERNIZATION OF THE NPF "ENTECHMASH" COMPANY

**Annotation.** The "INTEHMASH" research and production company has been successfully working at the market of power engineering more than 25 years. The company priority activity is the modernization of turbocompressors equipment for various industries with improved performance and reliability. The company production is located in 4 workshops equipped with modern equipment. In addition to the production base of NPF "ENTECHMASH" has a unique Bank of experimental data, specialized software and highly qualified personnel with extensive experience in production, engineering and research activities. The disadvantage of the units operating today is the parts deformation and wear forming the flow part elements, the presence of gas leaks along the horizontal connector of the diaphragms, leaks through the housing connectors, as well as the compressor sections inconsistency. These factors lead to compression energy efficiency reduction, impossibility to provide necessary parameters, decrease in reliability. The most rational way to solve these problems is modernization. As a result of modernization, a new flow part is created in conventional buildings, which significantly reduces the cost relative to the purchase of a new compressor. If necessary, new tube bundles of coolers with increased heat exchange surface and reduced resistance are installed. Such a compressor can be in operation for several decades, and the efficiency is not inferior to the newly designed machines in the new buildings. During its existence, the Fund of "ENTECHMASH" has carried out more than 35 successful modernization of turbochargers in the chemical, metallurgical and petrochemical industries.

**Keyword:** Centrifugal compressor, modernization, energy efficiency, flow part, heat exchanger, steam turbine.

Общество с ограниченной ответственностью научно-производственная фирма «ЭНТЕХМАШ» успешно работает на рынке энергетического машиностроения с 1991 года. Компания обладает собственной производственной площадкой с 4-мя цехами, оборудованными всем необходимым современным станочным оборудованием. Кроме производственной базы НПФ «ЭНТЕХМАШ» обладает уникальным банком экспериментальных данных [1,2], специализированным

и высококвалифицированным составом работников, имеющим большой опыт производственной, конструкторской и научной деятельности. В процессе проектирования используются как классические методы проектирования, основанные на фундаментальных трудах [3,4], так и современные методы моделирования пространственного вязкого потока [5]. Приоритетным направлением деятельности фирмы является модернизация турбокомпрессорного и теплообменного

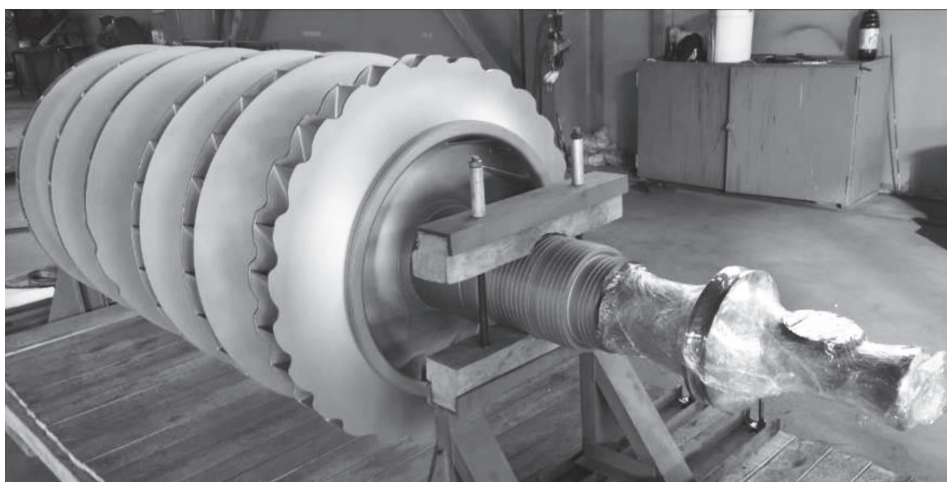


Рис. 1. Модернизированный ротор ЦНД (компрессор типа 2MCL1006+2MCL456)

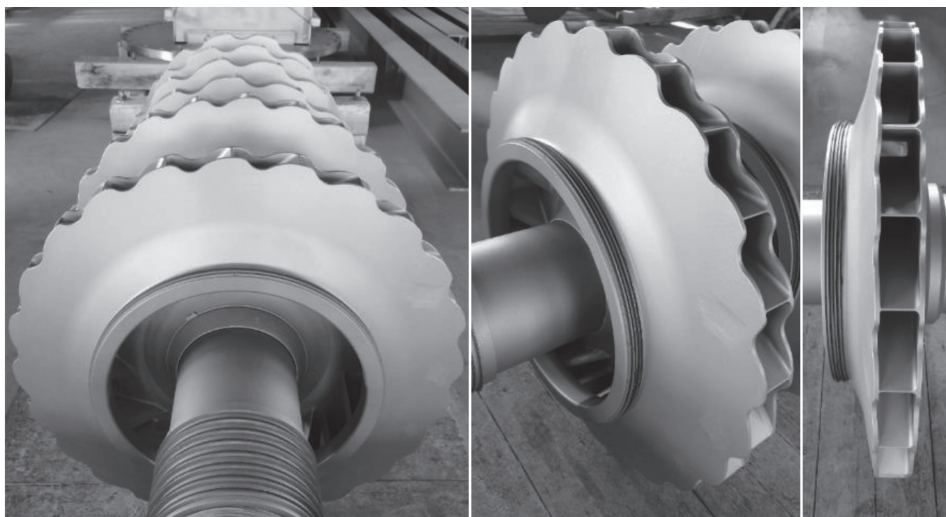


Рис. 2. Модернизированный ротор ЦВД (компрессор типа К1290-121-1)

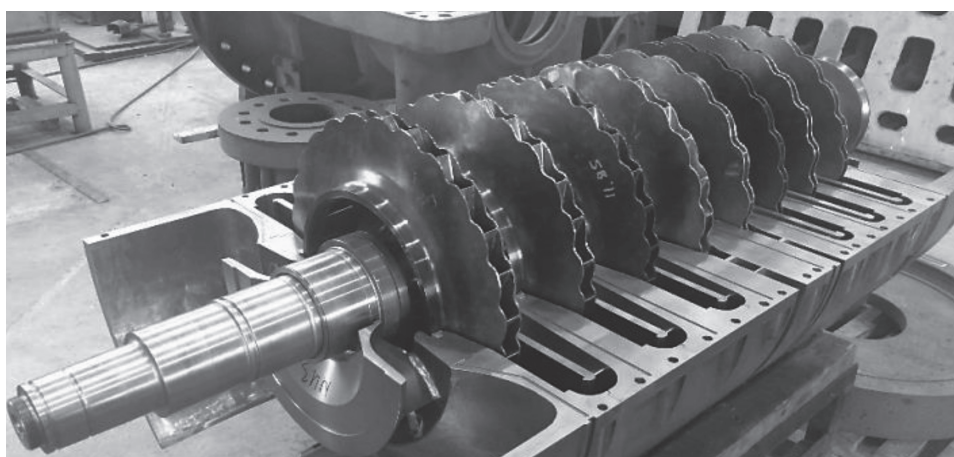


Рис. 3. Модернизированный ротор и пакет ЦВД

оборудования для различных областей промышленности с повышением показателей эффективности и надежности.

На сегодняшний день только в Российской Федерации работает более 10 000 турбокомпрессорных агрегатов. Многие из них не обеспечивают необходимые параметры назначения, не соответствуют современному уровню энергоэффективности, имеют пониженную надежность работы, что обуславливается такими факторами как: износ и деформация деталей и узлов, формирующих элементы проточной части; наличие перетечек и внешних утечек; несогласованность работы секций (в том числе в связи с изменениями в технологическом регламенте работы агрегата).

По мнению специалистов НПФ «ЭНТЕХМАШ» для исправления вышеуказанных недостатков совершенно не обязательно полностью заменять агрегат, ведь можно вдохнуть в него новую жизнь путем модернизации. Корпусы, система маслосмазки, трубопроводная обвязка, подшипники, муфты, системы управления и регулирования – все эти дорогие элементы, зачастую, не требуют изменений. В результате модернизации заменяются только элементы проточной части (роторы, диффузоры, диафрагмы), что существенно снижает стоимость относительно покупки нового компрессора, а также исключает необходимость проектных работ (переобвязка агрегата, установка на новый фундамент).



«Созданный заново» в ходе модернизации компрессор может находиться в эксплуатации еще несколько десятилетий, а по эффективности не уступает заново спроектированным машинам в новых корпусах. За всё время производственной деятельности НПФ «ЭНТЕХМАШ» провел более 40 успешных модернизаций турбокомпрессоров в химической, металлургической и нефтехимической отраслях промышленности. Далее представлены некоторые заслуживающие внимания проекты.

Компрессоры типа К1290-121-1 производства «Невского завода им. В.И. Ленина» и типа 2МСЛ1006+2МСЛ456 производ-

ства фирмы «Hitachi» предназначены для сжатия воздуха в технологическом цикле крупнотоннажного производства аммиака. Компрессоры выполнены двухцилиндровым, четырехсекционным. Приводом служит паровая турбина. Ротор цилиндра низкого давления приводится во вращение непосредственно паровой турбиной, а ротор цилиндра высокого давления – через мультипликатор.

Всего фирмой «ЭНТЕХМАШ» модернизировано 19 таких компрессоров с повышением производительности в диапазоне от +10% до +35% [6], а также уникальный проект по снижению производительности на -30%. Для каждо-

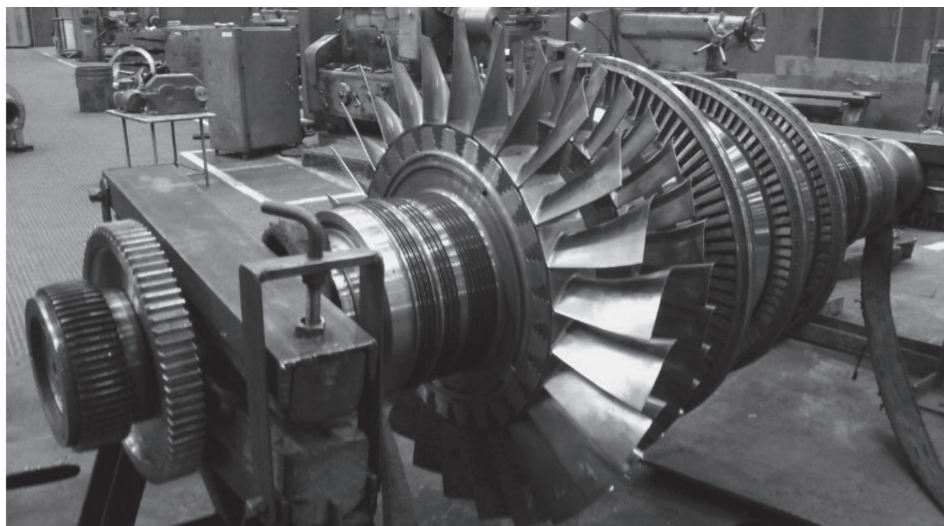


Рис. 4. Модернизированный ротор ЧНД паровой турбины

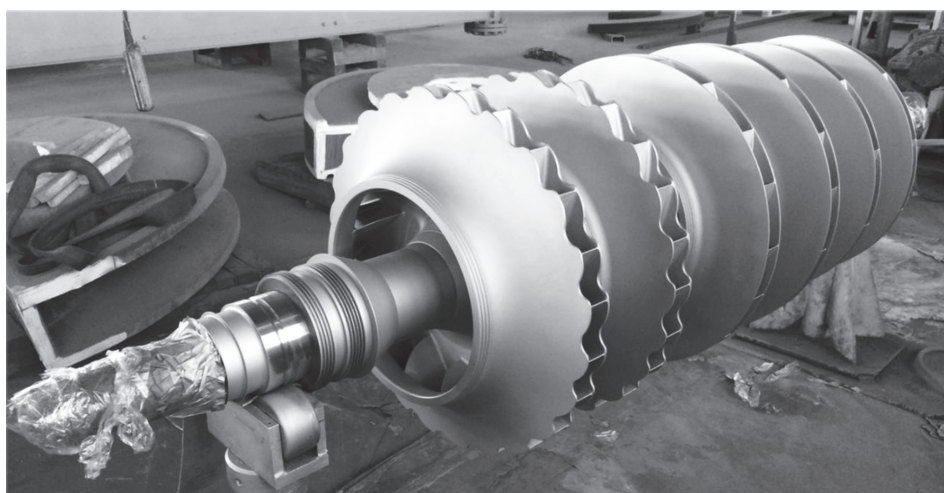


Рис. 5. Модернизированный ротор компрессора типа К500-61-1

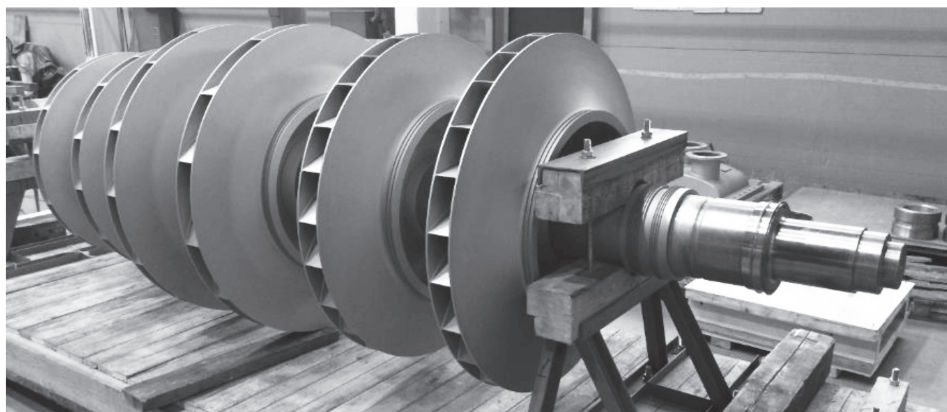


Рис. 6. Модернизированный ротор компрессора типа К1500-62-2

го типа разработаны унифицированные варианты модернизации, позволяющие ступенчато менять производительность путем минимальной замены элементов ПЧ. Ниже представлены изготовленные новые узлы.

Компрессор типа **463B5/5-272B5/5-272B7/R1** производства «Dresser Rand», типа **433ГЦ2-143/25-321ПМЗ** производства «Казанского Компрессорного Завода» (по лицензии) и типа **K150-271-1** производства «Невского завода им. В.И. Ленина» предназначены для сжатия азот-водородной смеси (синтез-газ) в технологическом цикле крупнотоннажного производства аммиака. Компрессоры данного типа являются одними из самых сложных ЦКМ, выполняются трехцилиндровыми, четырехсекционными с циркуляционной ступенью (выполнена на одном валу с секцией высокого давления), включают 27 ступеней сжатия, сжимающих газ до давления  $\sim 320$  кгс/см<sup>2</sup> абс. Приводом является паровая турбина, роторы компрессора приводятся во вращение непосредственно паровой турбиной.

Фирмой выполнено 6 модернизаций компрессоров такого типа с повышением производительности на +15% и +30% относительно проектной с повышением энергоэффективности (совместно с модернизацией компрессора типа **K150-271-1** была выполнена модернизация приводной паровой турбины). Потребляемая

мощность последнего модернизированного агрегата снизилась на **4,5 МВт** при сохранении технологического режима работы. Разработан унифицированный вариант модернизации, обеспечивающий работу в широком диапазоне производительности при помощи замены только лишь лопаточных диффузоров.

Компрессор типа **K1500-62-2** и типа **K500-61-1** производства «Невского завода им. В.И. Ленина» предназначены для сжатия воздуха в различных установках разных областей промышленности (например, входят в состав воздухоразделительных установок). Данные компрессоры принадлежат к одному типоразмерному ряду, созданному методом подобия (масштабирования) с наличием некоторых конструктивных особенностей. Выполняются одноцилиндровыми, трехсекционными. Приводом являются электродвигатели различной мощности. Ротор компрессора приводится во вращение через пару мультипликатора.

НПФ «ЭНТЕХМАШ» выполнил 4 модернизации вышеуказанных компрессоров с повышением производительности на 12-18% и энергоэффективности, а также расширением диапазона устойчивой работы (увеличением запаса по помпажу).

Кроме вышеуказанных НПФ «ЭНТЕХМАШ» выполнил модернизации компрессоров природного газа и аммиака, нагнетателей воздуха в составе установок каталитического крекинга. На дан-

ный момент активно разрабатываются проекты по модернизации компрессоров нефтяного попутного газа.

Компания «ЭНТЕХМАШ» идет курсом устойчивого развития и расширения производственных и инженерно-техни-

ческих возможностей, для чего обладает всем необходимыми средствами — высококвалифицированным персоналом, укомплектованным современным производством, научно-технической базой и большим опытом!

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Евдокимов В.Е.** Банк экспериментальных данных по модельным ступеням и их элементам для проектирования ЦКМ. // Турбины и компрессоры. — 1997. — 3,4.

2. **Семаков В.З., Репринцев А.И., Бганцов Д.Е.** Модернизация и ремонт центробежных компрессоров промышленных предприятий // Компрессорная техника и пневматика. — 2002. — 10. — С. 30-32.

3. **Рис В.Ф.** Центробежные компрессорные машины. — Ленинград: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1981. — 3 : 351 с.

4. **Ден Г.Н.** Проектирование проточной части центробежных компрессоров. — Ленинград: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1980. — 232 с.

5. URL: <https://www.numeca.com/product/fineturbo>

6. **Семаков А.В., Евдокимов В.Е., Репринцев А.И., Любимов А.Н.** Новые технические решения по модернизации турбокомпрессоров аммиачного производства // Компрессорная техника и пневматика — 2014. — № 3. — С. 2-10