

Проблема увеличения производительности компрессоров типа K1290-121-1

В.Е. Кузьмин, Л.К. Чернявский (ЗАО «НПФ «Невинтермаш»)

Статья содержит полемику авторов модернизации центробежных компрессоров типа K1290-21-1 с авторами статьи, содержащей критику данной модернизации. Рассмотрены все положения критической статьи. В отношении каждого замечания высказаны подробные возражения.

Ключевые слова: центробежные компрессоры, модернизация, полемика.

Discharge increase for K1290-121-1 compressors

V.Ye. Kuz'min, L.K. Chernyavskiy

The Article is devoted to the discussion between authors of methods for K1290-21-1 centrifugal compressors modernization and authors of the Article, who attacked this method. All theses of critical essay are considered and each is furnished by a detailed objection.

Key words: centrifugal compressors, modernization, dispute.

Двухцилиндровые четырехсекционные 12-ступенчатые воздушные центробежные компрессоры K1290-121-1 задействованы во многих крупнотоннажных производствах аммиака. Первая модернизация K1290-21-1, преследовавшая цель значительного увеличения его производительности, осуществлена ЗАО «НПФ «Невинтермаш» в Кемеровском ОАО «Азот» в 2007 г. Итоги модернизации докладывались этими предприятиями на четырнадцатом международном симпозиуме «Потребители-производители компрессоров и компрессорного оборудования-2008» и были опубликованы в работах [1, 2].

Модернизация заключалась в реконструкции прочной части компрессора: в замене обоих роторов и всех диффузоров более эффективными. Дополнительно был произведен ремонт не заменявшихся элементов компрессора (главным образом уплотнений и промежуточных воздухоохладителей). В результате модернизации и ремонта объемная производительность Q_g компрессора при нормальных условиях (20°C; 760 мм рт. ст.) на режиме с конечным давлением $p_k = 32$ ата увеличилась с 62 000 до 78 000 $\text{нм}^3/\text{ч}$, т.е. на 25%. При этом мощность N , потребляемая компрессором, возросла с 12,2 до 14,3 МВт (на 17,2%).

Вскоре после публикации итогов модернизации в работе [1] появилась статья сотрудников ЗАО «НПФ Энтехмаш» [3], часть которой представляет собой критику выполненной модернизации. Охарактеризовав для начала результаты модернизации неопределенным термином «представляют интерес», авторы статьи затем сделали 12 замечаний и утверждений, характеризующих результаты модернизации и заложенные в ней технические решения только отрицательно.

Поскольку, на наш взгляд, эти замечания и утверждения не состоятельны, считаем необходимым отметить следующее.

1. Замечание «Производительность и конечное давление получены при предельной для привода частоте

вращения $n_{\text{макс}} = 3400$ об/мин» является неправомерным, так как техническое задание (ТЗ) на модернизацию такую частоту допускало.

2. Утверждение «В случае $p_k = 36$ ата (как предусмотрено в ТЗ) производительность $Q_g = 76\,000$ $\text{нм}^3/\text{ч}$, а потребляемая мощность $N = 14,7$ МВт» – не вполне точное. Действительно, если аккуратно воспользоваться газодинамическими характеристиками модернизированного компрессора, представленными на рис. 1 (рис. 4 в работах [1, 2]), то получим, что при $p_k = 36$ ата производительность $Q_g = 76\,300$ $\text{нм}^3/\text{ч}$, а $N = 14,6$ МВт. Разница между 76 000 $\text{нм}^3/\text{ч}$ и 76 300 $\text{нм}^3/\text{ч}$, а также между 14,7 МВт и 14,6 МВт, конечно, не столь значительна, но налицо занижение нашими оппонентами Q_g на 0,4% и завышение N на 0,7%.

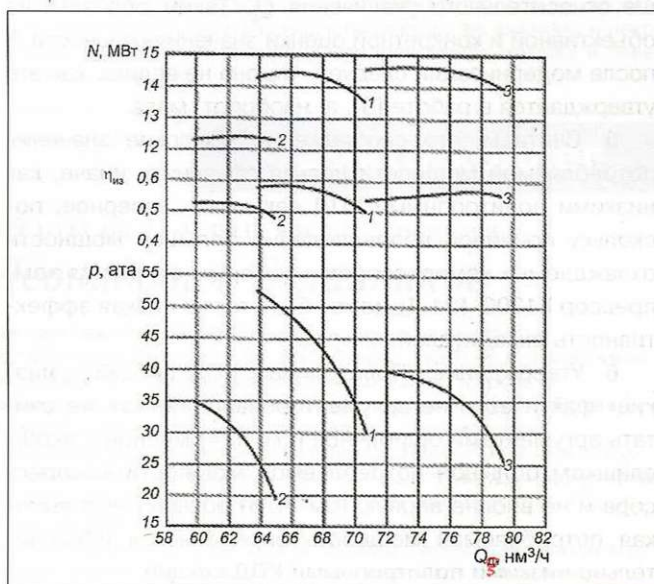


Рис. 1. Газодинамические характеристики компрессора при $n_{\text{турб}} = 3400$ об/мин: 1 – паспортные характеристики; 2 – фактические перед модернизацией; 3 – после модернизации по результатам контрольных испытаний



3. Замечание «В случае $p_k = 36$ ата производительность будет существенно меньше, а потребляемая мощность больше, чем в случае $p_k = 32$ ата» не соответствует действительности. Согласно характеристикам модернизированного компрессора (см. рис. 1) при $p_k = 36$ ата производительность Q_g меньше, чем при $p_k = 32$ ата, в 1,022 раза (78 000/76 300), а мощность N больше в 1,021 раза (14,6/14,3). Нет необходимости пояснять, что изменение Q_g и N на величину около 2% нельзя трактовать как существенное, тем более, что оно соответствует увеличению p_k в 1,125 раза (36/32), т.е. на 12,5%.

4. Утверждение «Мощность N , потребляемая модернизированным компрессором на режиме при $p_k = 36$ ата, слишком высока», мы считаем ошибочным. Ведь из факта, что она (14,6 МВт) значительно больше фактической до модернизации (12,2 МВт, см. рис. 1), а также мощности по паспорту на немодернизированный компрессор (13,9 МВт, см. рис.1), вовсе не следует вывод о чрезмерности этого значения (14,6 МВт). Чтобы составить объективное мнение, значительно ли увеличилась мощность N после модернизации, следует сравнить относительное увеличение N с относительным увеличением производительности Q_g . Воспользовавшись характеристиками на рис. 1 и проделав элементарные арифметические операции, получим, что в результате модернизации мощность N возросла на 19,7% по сравнению с фактической до модернизации и на 5,0% по сравнению с паспортными данными; в то же время производительность Q_g увеличилась соответственно на 30,0% и 9,6%. Как видим, относительное увеличение N в обоих случаях меньше относительного увеличения Q_g . Таким образом, из объективной и конкретной оценки значения мощности N после модернизации следует, что она не велика, как это утверждается в работе [3], а, наоборот, мала.

5. Считаем, что соображение «Высокие значения потребляемой мощности нельзя объяснить иначе, как низкими политропными КПД секций» – неверное, поскольку причиной непредвиденно большой мощности охлаждаемых компрессоров, к которым относится компрессор К1290-121-1, может быть также низкая эффективность охладителей.

6. Утверждение «Политропные КПД секций – низкие» фактически не аргументировано. Нельзя же считать аргументами ошибочное (см. п. 4) мнение о якобы слишком большой потребляемой мощности компрессора и не вполне верную (см. п. 5) посылку, что высокая потребляемая мощность определяется исключительно низкими политропными КПД секций.

7. Утверждение «Косвенным свидетельством низких политропных КПД секций является применение в первой ступени рабочего колеса с прямыми лопатками» несостоятельно по двум причинам. Во-первых, если

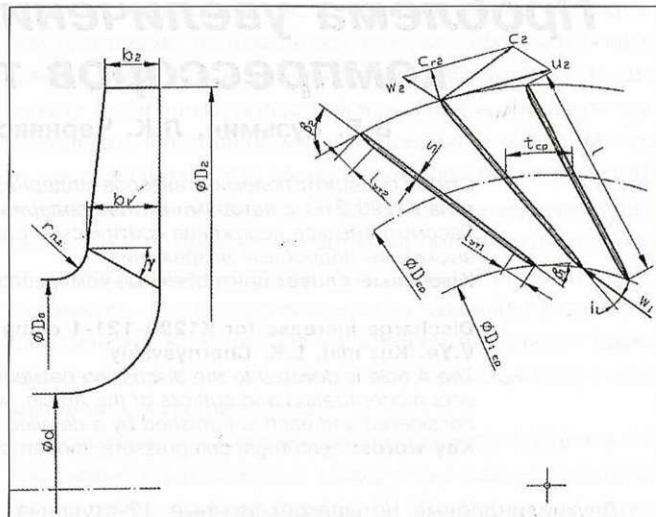


Рис. 2. Проточная часть первого модернизированного колеса

прямые лопатки (рис. 2) и считать свидетельством низких $\eta_{пол}$ модернизированного К1290-121-1, то только для 1-й секции, а не для всех секций; между тем, по данным контрольных испытаний модернизированного компрессора, именно эта секция показала наибольший КПД $\eta_{пол} = 0,82$. Во-вторых, на уровень $\eta_{пол}$ секций оказывает влияние не только форма лопаток колес, но и большой ряд других геометрических и режимных параметров ступеней, образующих секции; при этом влияние некоторых параметров во многих практических случаях, в том числе в модернизированном К1290-121-1, сильнее влияния формы лопаток колес.

8. Содержащаяся в работе [3] точка зрения, что при реконструкции проточной части К1290-121-1 не следовало применять колеса с прямыми лопатками (из-за пониженной экономичности ступеней с такими колесами), на наш взгляд, ошибочна. Расчеты различных вариантов реконструкции показывают, что использование таких колес (правда, только в первых ступенях) не только допустимо, но и целесообразно. Оно и понятно: ведь колеса с прямыми лопатками, будучи более расходными и напорными, удачно подходят для реконструкции, преследовавшей цель значительного увеличения производительности в условиях строго ограниченных размеров ступеней.

9. Утверждение «Большинство из 21 мероприятия по устранению изначальных недостатков штатной проточной части являются либо спорными, либо малоэффективными» – ошибочное. Квалифицированный и объективный специалист по проточным частям центробежных компрессоров, анализируя эти мероприятия (см. [1, 2]), спорных среди них не обнаружил бы вовсе. Правда, обнаружил бы такие, которые дают малый газодинамический эффект. Таких мероприятий несколько

ко, и об этом мы откровенно указали в работах [1, 2]. Тем не менее, вызывает удивление, на каком основании авторы статьи [3] считают эти мероприятия «малоэффективными»? Ведь внедрение их, да и остальных, с более заметным положительным эффектом никоим образом не привело к удорожанию изготовления новых роторов и диффузоров. Повышение же $\eta_{пол}$, пусть и небольшое, несомненно, имеет место.

10. Утверждение «О спорности и малоэффективности 21 мероприятия по устранению изначальных недостатков штатной проточной части свидетельствует результат модернизации» ничем не обосновано. Результат модернизации – положительный: выполнены все требования ТЗ, при этом относительное увеличение потребляемой мощности не превосходит относительного увеличения производительности (см. п. 4). Отсюда следует, что если эффективность мероприятий, о которых идет речь, оценивать по итогу модернизации, то неизбежна констатация положительного эффекта от внедрения этих мероприятий.

11. Выдвинутое в работе [3] обвинение в некорректности обнаружения недостатков, присущих штатной проточной части К1290-121-1, вызывает удивление. Почему выявление изначальных недостатков компрессора, подлежащего модернизации, расценивается как некорректное действие? Ведь при модернизации необходимо стремиться к наибольшей эффективности компрессора, в том числе за счет исправления заблуждений и ошибок разработчиков штатной проточной части. Данное обвинение особенно непонятно, если учесть признание самих авторов статьи [3] в том, что К1290-121-1 «не лишен недостатков». Более того, нашими оппонентами названы

четыре конкретных, причем крупных, недостатка этого компрессора.

12. Противопоставление модернизации, выполненной нашей фирмой, проекта модернизации, разработанного ЗАО «НПФ «Энтехмаш» и обещающего меньшую потребляемую мощность ($N = 13,5$ МВт) при тех же Q_g и p_k , неправомерно, потому что проектные показатели редко подтверждаются на практике. Проект «Энтехмаша», по нашему мнению, не составит исключения: 76 300 $\text{nm}^3/\text{ч}$ и 36 ата, возможно, и удастся получить, а вот обеспечить их затратой мощности всего лишь 13,5 МВт – ни в коем случае. Поэтому вызывает большое сомнение экономический эффект, на который надеется «Энтехмаш» в случае реализации своего проекта («более 20 млн. руб. в год по сравнению с Кемеровским вариантом»). Наше мнение основано на накопленном «Невинтермашем» опыте модернизации компрессоров типа К1290-121-1. Этот опыт, помимо модернизации в Кемерово, включает также модернизации в ОАО «Салаватнефтеоргсинтез» и ЗАО «Тольяттиазот».

Список литературы

1. Ковалевский Н.И., Кузьмин В.Е., Спирин Н.Ю., Чернявский Л.К. Увеличение на 25% производительности компрессора К1290-121-1, задействованного в крупно-тоннажных производствах аммиака//Труды четырнадцатого международного симпозиума «Потребители-производители компрессоров и компрессорного оборудования». С-Пб.: СПбГПУ, 2008.

2. Кузьмин В.Е., Спирин Н.Ю., Чернявский Л.К. Увеличение на 25% производительности компрессора К1290-121-1 для крупнотоннажных производств аммиака//Компрессорная техника и пневматика. 2009. №1.

3. Рубинчик А.Ф., Сергеев С.П., Семаков В.З., Евдокимов В.Е. О задаче по модернизации турбокомпрессорных агрегатов технологического воздуха в производстве аммиака и некоторых способах её решения//Компрессорная техника и пневматика. 2008. №5.