

**ГЕРВИКОН**  
**HERVICON**



**ЭККОН**  
**ЕККОН**



**6 - 9 сентября 2011, СумГУ, г. Сумы, Украина**

*XIII Международная научно-техническая конференция "ГЕРВИКОН-2011"*

*Международный форум "НАСОСЫ-2011"*

*Семинар "ЭККОН-11"*

## **ПРОБЛЕМЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОМПРЕССОРОВ СИНТЕЗА-ГАЗА ПРОИЗВОДСТВА АММИАКА ИХ ПРИЧИНЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УСТРАНЕНИЮ**

**Марцинковский В.С.<sup>1</sup>, Плякин А.В.<sup>2</sup>**

### **АННОТАЦИЯ**

*Проведение модернизации технологических линий производства аммиака с целью повышения производительности в условиях ограниченного финансирования и конкурентной борьбы привел к урезанной модернизации турбокомпрессора синтеза-газа, чем усугубил ранее существующие проблемы при их эксплуатации.*

*Анализируются причины возникновения отказов компрессоров синтеза-газа, разработаны и проверены на практике высокоэффективные решения по предотвращению несанкционированных остановок.*

**Ключевые слова:** производство аммиака, эффективность, надежность, модернизация, турбина, компрессор, высокоэффективные узлы.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Производства аммиака стран бывшего союза построены в 70-е годы прошлого века. Комплектация большинства компрессоров синтеза-газа на сегодняшний день соответствует заводским поставкам, за исключением небольших непринципиальных изменений, которые были реализованы для

---

<sup>1</sup> Марцинковский Василий Сигизмундович, к.т.н., директор ООО «ТРИЗ», ул. Машиностроителей, 1, 40020, г. Сумы, Украина

<sup>2</sup> Плякин Алексей Владиславович, инженер, зам. главного механика ОАО «ГродноАзот», пр. Космонавтов, 100, 230013, г. Гродно, Республика Беларусь

устранения неудачных конструктивных решений, или для компенсации дефектов, связанных с длительным сроком эксплуатации, который обусловил падение эффективности процессов сжатия в турбокомпрессорах и получения энергии в турбинах. За более чем 40 лет, прошедших с момента разработки проектов компрессорных агрегатов синтеза-газа, появились конструктивные и технологические решения, (в т.ч. и у разработчиков машин), позволяющие значительно поднять эффективность оборудования. Повышение эффективности производства аммиака путем увеличения производительности установок приводит к изменению режимов работы компрессоров в связи с чем, существенно возрасла газодинамическая нагрузка на ротора и снизилась надежность работы компрессоров синтеза-газа. Известные урезанные технические решения используемые фирмами для согласования характеристик компрессоров с технологическими параметрами привела к снижению надежности работы компрессорного агрегата синтеза-газа.

Задача повышения надёжности и экономичности компрессорных агрегатов синтеза-газа является актуальной по ряду причин:

- сложные, многосоставные, нагруженные агрегаты работают в составе технологических линий без резерва;
- продолжительность эксплуатации превысила установленный ресурс;
- частота отказов, связанных с выходом из строя опор паровых турбин и, как следствие, аварийных остановов, достигает 1-2 раза в год, что влечёт за собой значительные убытки;
- опыт эксплуатации подтвердил, что штатные узлы (подшипники, концевые плавающие уплотнения, лабиринтные уплотнения, зубчатые муфты) не обеспечивают 2-х годичный пробег турбокомпрессора, а в случае урезанной модернизации пробег не превышает года;
- по опыту модернизации компрессорных установок синтеза-газа и аналогичных машин имеются новые эффективные технические решения разработанные и апробированные в последнее пятилетие, позволяющие повысить надёжность работы компрессорных агрегатов при быстрой окупаемости вложений, обеспечив при этом как минимум двухгодичный цикл их высокоэффективной работы без снижения расходных характеристик при многократных режимах пуска останова.

## **ВЫЯВЛЕННЫЕ НЕДОСТАТКИ ТУРБОКОМПРЕССОРОВ СИНТЕЗА-ГАЗА**

В процессе эксплуатации турбокомпрессоров синтеза-газа, были выявлены недостатки, которые не отвечают современному состоянию

развития турбокомпрессоров и требованиям надежности данного класса машин, к ним следует отнести:

1. Экономичность (КПД) приводной турбины и компрессора (Рис. 1) не соответствует современному уровню, что приводит к большим энергетическим потерям [1], [2].



Рисунок 1 - Эффективность компрессоров синтез-газа в различные периоды их развития

2. Отсутствие стационарной системы вибромониторинга, или использование ее для анализа последствий без обеспечения своевременной остановки агрегата приводит к большим материальным и временным затратам для восстановления его работоспособности. При отсутствии стационарной системы вибромониторинга нет возможности перейти к обслуживанию агрегата по состоянию не говоря о проактивном обслуживании. Отсутствие защитных систем от пожара и систем своевременного пожаротушения в участвовавших.

3. Штатные опорные подшипники имеют низкую несущую и демпфирующую способность, что приводит к их интенсивному износу, увеличенным зазорам в лабиринтных уплотнениях большим потерям мощности и расходам смазки. Имеют место случаи возникновения масляной вибрации (потеря устойчивости и автоколебания ротора на частоте, близкой к первой критической, под действием циркуляционных сил при выполнении условия  $n_r \geq 2n_{1кр.}$ , где  $n_r$  - рабочая частота вращения ротора) [3]. Колодки и подшипниковые шейки могут подвергаться электроэрозионному износу.

4. В упорных подшипниках места установки упорного гребня подвержены фреттингкоррозии. Несущая способность упорного подшипника турбины не соответствует стандарту API 617 по восприятию остаточной

осевой силы. [4] Подшипники имеют большие потери мощности и расход смазочного масла, упорные колодки, упорные гребни подвержены электроэрозионному износу.

5. Межсекционные лабиринты уплотняемого газа для снижения аэродинамического возбуждения неэффективны, высокие расходные характеристики способствуют аэродинамическому возбуждению ротора.

6. Уплотнения рабочих колес малоэффективны и являются основным источником самовозбуждающихся аэродинамических колебаний из-за протечки через кольцевой зазор между подвижными и неподвижными элементами компрессора [5], [6].

7. Концевые лабиринты имеют большие объемные потери, склонны к засорению, подвержены электрохимическому разрушению, имеют высокую стоимость.

8. Концевые плавающие уплотнения малоэффективны, имеют низкий ресурс из-за электрохимической коррозии маслогазовых колец и, как следствие, повышенные протечки в полость масло-газ. Реверсивные колодки, центрирующие уплотнительные кольца низкого давления, имеют недостаточную несущую и демпфирующую способность, подвержены электрохимической коррозии и отложению загрязнений в масло-газовом уплотнении.

9. Регламентные предварительные расцентровки не соответствуют фактическим [7].

10. Зубчатые соединительные муфты подвержены износу, результатом которого является изменение формы пятна контакта зубчатой пары, снижение эффективности передачи крутящего момента, рост реактивной осевой и радиальной силы, а в случае заклинивания передача осевой силы, превышающей несущую способность упорного подшипника, по валопроводу, что приводит к осевым сдвигам роторов. Требуют надежной системы смазки. Являются источниками возникновения вибрации и фреттингкоррозии соединения вал - полумуфта. Недостаточно компенсируют расцентровку роторов [8]. При разрушении теряют способность передачи крутящего момента.

11. Регламентом обслуживания агрегата не предусмотрено размагничивание его составляющих, что приводит к следующим электроэрозионным повреждениям: износ уплотнений и шеек ротора под уплотнениями;

- перегреву и задирам шеек, упорных гребней и колодок подшипников, растрескиванию, выкрашиванию или износу баббита вкладышей и колодок;
- интенсивное окисление, а иногда и сваривание (или образование каверн) поверхностей разъемов вкладышей и корпусов подшипников;
- сварке и усиленному износу крепежа, штифтов разного рода;

- разрушению зубчатых муфт и зубчатых передач.

12. При остановке агрегата по блокировке компрессор переходит в режим работы с сетью с противодавлением и проходит помпажный режим [9] при этом происходит увеличение зазоров в лабиринтных уплотнениях, поэтому каждый последующий пуск будет более проблемным из-за увеличения циркуляционных возбуждающих сил.

13. Увеличение производительности с 1360 до 1700 т/сутки модернизацией корпусов среднего и высокого давления показал, что корпус низкого давления работает за пределами устойчивой зоны (запаса демпфирующих сил недостаточно для подавления возбуждающих сил) и характеризуется высокими уровнями вибрации. Работа корпуса низкого давления в таком режиме приводит к разрушению штатных подшипников, плавающих уплотнений, износу лабиринтных уплотнений проточной части, что приводит к увеличению протечек газа по ступеням и снижению эффективности сжатия корпуса.

14. Переход на газодинамические уплотнения помимо преимуществ вносит существенный недостаток – уменьшение демпфирующих сил и смещение 2-х критических частот в рабочую зону

## **ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ВЫЯВЛЕННЫХ НЕДОСТАТКОВ ТУРБОКОМПРЕССОРА СИНТЕЗА-ГАЗА И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УСТРАНЕНИЮ**

1. Проточные части (газодинамика) разработаны более 40 лет назад. Длительная эксплуатация турбокомпрессоров (ТК) приводит к естественному снижению эффективности сжатия. Рассогласование характеристик ТК с изменившимися технологическими параметрами приводит к существенному снижению эффективности процесса сжатия и существенному увеличению возбуждающих сил, которые практически равны демпфирующим силам, что гарантирует снижение надежности работы ТК, которая не может обеспечить двухгодичную работу. Остановка ТК по блокировке требует, как правило, средний ремонт корпуса НД и СД.

**Рекомендации.** С учетом современных методов проектирования проточных частей и заменой существующих проточных частей компрессора и турбины на новые проточные части с согласованием с оптимумом технологического режима обеспечит повышение эффективности сжатия ТК до 15-17%. КПД привода существенно возрастает при модернизации за счет увеличения КПД секции ВД до 14%, секции НД до 4%. При производительности агрегата аммиака 1700 т/сутки снижение количества потребляемого свежего пара не менее 16т/ч.

2. Защита компрессоров синтез-газа не соответствует сегодняшнему уровню развития систем управления, контроля и вибродиагностики. Не разработаны алгоритмы обеспечивающие надежную защиту с учетом применения модернизируемых узлов. Системы автоматизированного вывода на рабочий режим не совершенны (дуракоустойчивы). Ведение постоянного стационарного (круглосуточного) вибромониторинга поз. 103-J необходимо для своевременного предупреждения эксплуатационных ситуаций вызывающих разрушение внутренних деталей компрессора (лабиринтные уплотнения, масляные уплотнения подшипники скольжения и др.) с последующими не плановыми остановками компрессора. Отсутствие защитных систем от пожара и систем своевременного пожаротушения. В связи с длительной эксплуатацией оборудования системы пожаротушения особенно актуальны так, как в последнее время участились случаи возникновения пожара из-за усталостного разрушения маслопроводов, дренажей газопроводов, трубопроводов отбора газа и др.

**Рекомендации.** Необходима разработка и реализация мероприятий по защите турбокомпрессора синтез-газа с учетом современного состояния систем управления, контроля, диагностики, систем обнаружения пожара и пожаротушения.

3. При проектировании компрессоров проводят анализ динамической устойчивости ротора. В представлении компании Mitsubishi Heavy Industries [2] ротор динамически устойчив если сумма всех демпфирующих сил- $\Sigma F_d$ , воздействующих на ротор в 2 раза больше всех возбуждающих сил-  $\Sigma F_v$ , воздействующих на ротор.  $\Sigma F_d / \Sigma F_v > 2$ , такое соотношение гарантирует устойчивую работу компрессора не только на номинальных, но и на переходных режимах. При эксплуатации на номинальной производительности по данным разработчика для КНД 463B5/5  $\Sigma F_d = 34400$  lbf/in, а  $\Sigma F_v = 26000$  lbf/in. Таким образом  $\Sigma F_d / \Sigma F_v = 34400 / 26000 = 1,32$ . Отсюда следует вывод, что имеющийся запас демпфирующих сил недостаточен для работы на пуске и номинальных режимах а для переходных процессов (режим останова по блокировке - аварийная остановка) и на режимах как повышенной так и пониженной производительности запаса демпфирующих сил не достаточно. Повышение производительности на 25% является форсированием КНД с переходом в зону более низких значений КПД, соответственно увеличения аэродинамической нагрузки (низкочастотной).

**Рекомендации.** Для повышения надежности работы компрессора необходимо существенно увеличить демпфирующие силы и снизить возбуждающие силы комплексом мероприятий в первую очередь это касается опорных подшипников скольжения. Проблемам повышения упругих и демпфирующих свойств подшипников скольжения посвящено много публикаций. Все сводится к тому что наиболее эффективным решением на

сегодняшний день является подшипник принцип работы которого разработали Нельсон и Холлингсворт. Эксперименты и практика показали, что кривая подвижного равновесия шейки вала имеет практически вертикальную траекторию, т.е. линия эксцентриситета совпадает с линией действия внешней нагрузки. Следовательно устраняется перекрестная жесткость и опасность возникновения гидродинамической неустойчивости, что характерно для устойчиво работающих подшипников. Идея заключается в том, что между корпусом подшипника и контактной поверхностью подушки создается режим жидкостного трения (гидростатическая подушка), вследствие этого самоустановка подушек происходит без трения. Кроме того, гидростатическая подушка при динамических нагрузках выполняет роль эффективного демпфера [10]. При этом зазоры в подшипниках не превышают формулярных зазоров штатных подшипников. Поскольку прецессия ротора существенно меньше чем в штатных и каких либо других типах подшипников, например в пятиколодочных подшипниках с упруго-масляным демпфером то зазоры в лабиринтных уплотнениях можно уменьшить, что существенно снизит аэродинамическую нагрузку с одновременным повышением КПД. Из существующих конструкций опорных подшипников на сегодняшний день нет альтернативы подшипникам **ТРИЗ®** с принципом работы Нельсона и Холлингворта. Подшипники по несущей и демпфирующей способности превышающие модернизированные подшипники поставщиком с одновременным уменьшением потерь мощности, расхода смазки, с протектором электроэрозионного износа. При разработке новых проточных частей необходимо использовать возможность модернизировать опорную и уплотнительную системы для увеличения демпфирующих сил и изменения критических частот для обеспечения устойчивой работы ТК.

4. Фреттингкоррозия в месте установки упорного гребня возникает из-за микроперемещений в месте посадки. В процессе эксплуатации турбины перераспределение давления по ступеням увеличило осевую силу до значений превышающих несущую способность. По этой проблеме поставщик поэтапно внес конструктивные изменения. На первом этапе реверсивные колодки заменил на не реверсивные и в последние годы предлагает решения позволяющие повысить несущую способность за счет индивидуального подвода смазки и снижения трения в рычажной выравнивающей системе. **Рекомендации.** Для устранения фреттингкоррозии необходимо обеспечить посадку с большим натягом. Из существующих конструкций упорных подшипников на сегодняшний день имеются конструкции **ТРИЗ®** по несущей способности превышающие модернизированные подшипники поставщиком с одновременным уменьшением потерь мощности, расхода смазки, с протектором электроэрозионного износа.

5. Штатный межсекционный лабиринт КНД из-за высокой окружной составляющей газа входящего в лабиринт является источником аэродинамического нагружения, высокие расходные характеристики способствуют аэродинамическому возбуждению ротора [11]. Штатный межсекционный лабиринт КСД с радиальным подводом из области повышенного давления для подавления аэродинамического возбуждения [2] на сегодняшний день не эффективен из-за высоких расходных характеристик.

**Рекомендации.** Для снижения возбуждающих аэродинамических сил необходимо использовать решения позволяющие обеспечить не только гашение но и демпфирование. Из существующих конструкций межсекционных лабиринтов на сегодняшний день имеются конструкции **ТРИЗ®** по демпфирующей и уплотняющей способности способности превышающие предлагаемые поставщиком модернизированные межсекционные лабиринты.

6. Из-за высокой окружной составляющей газа входящего в лабиринты рабочих колес они также являются основным источником самовозбуждающихся аэродинамических колебаний ротора, высокие расходные характеристики способствуют возбуждению ротора [5], [6].

**Рекомендации.** Для снижения возбуждающих аэродинамических сил необходимо использовать решения позволяющие обеспечить не только гашение но и демпфирование. Из существующих конструкций лабиринтов на сегодняшний день имеются конструкции **ТРИЗ®** по демпфирующей и уплотняющей способности способности не уступающие предлагаемым поставщиком лабиринтам рабочих колес.

7. Замена поставщиком сотовых лабиринтов на сверленные сокращает сроки поставки при этом стоимость и расходные характеристики увеличились, а демпфирующие свойства снизились. Концевые лабиринты имеют большие объемные потери, склонны к засорению, подвержены электрохимическому разрушению, имеют высокую стоимость.

**Рекомендации.** Чисто маркетинговый ход для получения дополнительной прибыли поставщику. Для получения дополнительной прибыли заказчику имеются решения по концевым лабиринтно-лунковым уплотнениям **ТРИЗ®**.

8. Концевые плавающие уплотнения не соответствуют современному уровню несущей, демпфирующей и уплотняющей способности. Исходя из требования увеличения демпфирующих сил и изменения соотношения  $n_{\text{раб.}} > 2n_{\text{кр.1}}$ , на обратное  $n_{\text{раб.}} < 2n_{\text{кр.1}}$ , необходимо использовать имеющийся ресурс, повысить демпфирующие, жесткостные, несущие и уплотняющие свойства плавающего уплотнения. Электрохимическая коррозия вызвана остаточной намагниченностью роторов и неэффективным снятием электростатического заряда.

**Рекомендации.** Для повышения надежности работы корпусов КНД и КСД необходимо использовать технические решения **ТРИЗ®** обеспечивающие

увеличение жесткости, несущей, демпфирующей и уплотнительной способности. В регламент ремонтных работ необходимо включить операцию демагнетизации.

9. Регламентные предварительные расцентровки не соответствуют фактическим из-за того, что расчетные расцентровки не могут учесть реальные условия эксплуатации компрессорных агрегатов. Необходимо отметить что для каждого агрегата синтез-газа предварительные расцентровки будут отличаться.

**Рекомендации.** Необходимо для каждого агрегата определить реальную предварительную расцентровку методом изложенным в статье [7], [12] и проводить центровку с учетом реальной предварительной расцентровке.

10. Проблемы возникающие при эксплуатации зубчатых муфт вызваны их нагруженностью от расцентровок, повышенной вибрации корпусов КНД, КСД, из-за недостаточной смазки при неправильном положении «флейт». Недостаточный натяг соединения вал – полумуфта является причиной фреттинг коррозии. Простая замена зубчатых муфт на упругие муфты при отсутствии требуемого запаса устойчивости, а также необходимых мер по его повышению привело к многочисленным неудачам. Обоснованное решение, направленное на повышение надежности и экономичности агрегата, было дискредитировано из-за невнимания к существующей проблеме баланса возбуждающих и демпфирующих сил. При установке упругих муфт с их высокими виброизолирующими свойствами происходит локализация источника вибрации. Поэтому замена в 2005г. зубчатых муфт упругими муфтами ООО «ТРИЗ» на компрессоре синтез-газа ОАО «Гродно Азот» была успешной, поскольку одновременно с упругими муфтами были установлены демпферные подшипники [13], которые погасили колебания локализованных роторов. Существенный эффект увеличения демпфирования при использовании подшипников с вкладышами на гидростатическом подвесе достигается за счет того, что коэффициенты сопротивления подшипников на гидростатической пленке, полученные при сравнительных испытаниях по методике работы [14], оказались в 2,1- 2,2 раза выше, чем у традиционных подшипников с пятью колодками.

**Рекомендации.** Замена зубчатых муфт на упругие ТРИЗ® эффективна с одновременной заменой штатных подшипников на демпферные подшипники ТРИЗ® для гашения колебаний локализованных роторов.

Основным условием электроэрозионного повреждения деталей и узлов турбоагрегатов является наличие роторных токов, общей причиной появления которых является наличие остаточной намагниченности на роторных и, или статорных элементах. Проведение регламентного ремонта агрегата без размагничивания его составляющих и приводит к электроэрозионным повреждениям [15].

**Рекомендации.** В регламент ремонтных работ необходимо включить операцию демагнетизации.

11. При остановке агрегата по блокировке компрессор переходит в режим работы с сетью с противодавлением и проходит помпажный режим [9] при этом происходит увеличение зазоров в лабиринтных уплотнениях, поэтому каждый последующий пуск будет более проблемным из-за увеличения циркуляционных возбуждающих сил.

**Рекомендации.** Необходимо избегать остановок агрегата по блокировке. Для уменьшения последствий режима прохождения помпажа необходимо применения комплекса работ по увеличению несущих, демпфирующих сил и уменьшения сил аэродинамического возбуждения ротора.

12. Турбокомпрессор синтез газа разработан в 1970г. Потребляемая мощность компресорного агрегата  $N=29,7$ Мвт распределяется по корпусам:  $N_{кнд}=13,1$ Мвт;  $N_{ксд}=7,5$ Мвт;  $N_{квд}=7,9$ Мвт. Низкий КПД (рис. 1) обусловил наибольшие потери в корпусе КНД и соответственно большие аэродинамические нагрузки на ротор. Потери мощности:  $N_{кнд}=3,41$ Мвт;  $N_{ксд}=2,2$ Мвт;  $N_{квд}=2,3$  Мвт обусловлены  $KПД=80\%$  (Синтез-газ 103J-1970г.) (рис. 1). Опыт эксплуатации подтвердил что штатные узлы (подшипники, концевые плавающие уплотнения, лабиринтные уплотнения) не обеспечивают 2-х годичный пробег турбокомпрессора.

Повышение производительности на 25% является форсированием КНД с переходом в зону более низких значений КПД, соответственно увеличения аэродинамической нагрузки (низкочастотной). По совокупности имеющихся: эксплуатационных параметров, ремонтных данных, результатов анализа спектров вибрационного мониторинга и с учетом имеющейся информации об аналогичных проблемах с к.н.д. поз.103-J на родственных предприятиях, причинами повышенной низкочастотной вибрации к.н.д. поз.103-J являются:

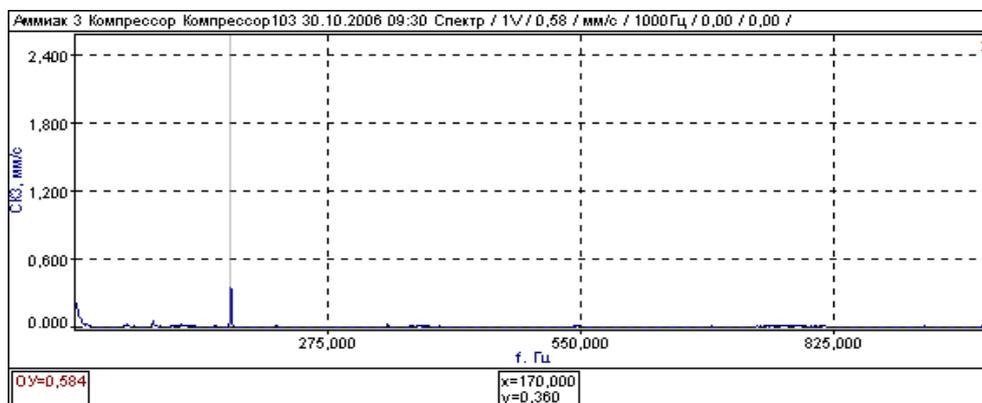
- Конструктивные особенности ротора к.н.д., а именно то, что  $n_{\text{раб.}} > 2n_{\text{кр.1}}$ . При указанном соотношении величины первой критической скорости к рабочим оборотам, ротор находится в не стабильном, легко возбудимом вибрационном состоянии.
- В конструкции к.н.д. присутствуют элементы способствующие возникновению циркуляционных сил, а именно конструкция межсекционного и колесных лабиринтных уплотнений. Наличие циркуляционных сил в существующей конструкции к.н.д. подтверждается ростом уровня низкочастотной вибрации при нагружении компрессора по газу (при неизменных рабочих оборотах).
- «Резкие» (при срабатывании различных блокировок и пр.) остановки компрессора поз. 103-J способствующие росту автоколебаний ротора к.н.д. с амплитудой превышающей паспортные зазоры в лабиринтных уплотнениях,

как следствие деформация лабиринтов с увеличением зазоров в уплотнениях и дальнейшее увеличение циркуляционных сил.

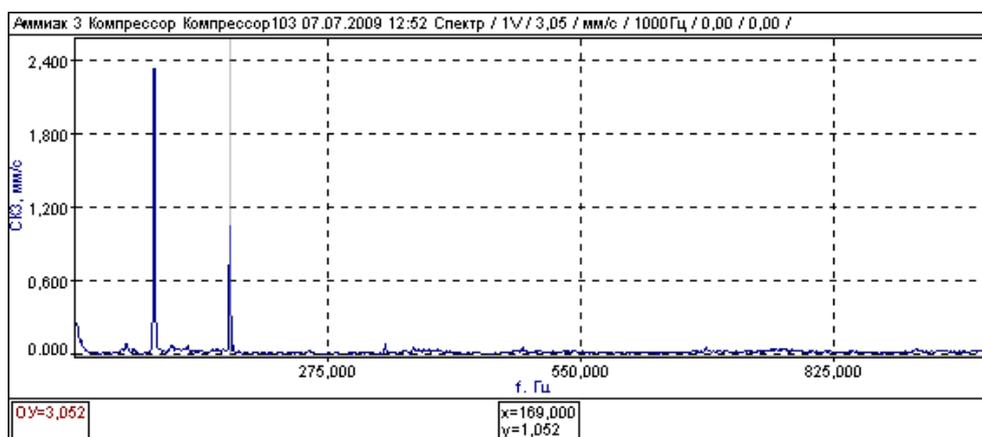
- Низкий к.п.д. корпуса низкого давления - около 80%. Это означает, что до 20% не использованной энергии ( $\approx 3$  Мвт) распределяется на различные «паразитные» явления: повышение вибрации, повышение температуры газа, подшипников и др.)

- Эксплуатация компрессора поз. 103-Ж на режимах не являющихся изначально расчетными согласно проекта (нагрузка цеха по готовому продукту превышает проектную). Увеличенный расход газа, вызывает дополнительные аэродинамические силы и в совокупности с вышеуказанным в п.п.2.1 ... 2.4. приводит к возникновению колебаний ротора с амплитудой приводящей к разрушению лабиринтных уплотнений.

- Компрессор синтез-газа спроектирован и изготовлен таким образом, что его рабочая, по технологическим параметрам, зона расположена на границе динамической устойчивости роторов или даже перекрывает её. Любая попытка увеличить производительность агрегата приводит к снижению устойчивости роторов КНД и КСД. Это выражается в повышенной вибрации КНД зачастую приводящей к аварийным остановам и обусловленной возникновением и ростом низкочастотной спектральной составляющей вибрации (0,42 – 0,50 Гц), и появлению в спектрах вибрации КСД аналогичной низкочастотной составляющей.



а)



б)

Рисунок 2 - Спектральные характеристики вибрации опорно-упорного подшипника корпуса КНД в вертикальном направлении:

а) – 30 октября 2006г. б) – 7 июля 2009г.

14. В ОАО «АКРОН» г. Великий Новгород компрессор синтез-газа переведен на сухие газовые уплотнения. В результате каждый пуск компрессора был связан с риском внезапного роста вибрации и выходом из строя уплотнений проточной части (Рис.2). Во всех случаях низкочастотная вибрация появляется при изменении технологических параметров на стабильных оборотах

**Рекомендации.** Переход на газовые уплотнения требует проведения целого комплекса мероприятий для обеспечения динамической устойчивости. Этот комплекс включает все предыдущие рекомендации. При этом надо

учесть, что при равенстве затрат на модернизацию более устойчивой будет модернизация с плавающими уплотнениями.

## ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. В.С. Марцинковский, В.И. Юрко: Эффективность модернизации турбокомпрессора синтез-газа. Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2007. №9.
2. Манаба Сага, Казуаки Ивата, Эйджи Хираиши, Норихиса Вада. Модернизация компрессоров и паровых турбин на заводах по производству аммиака с целью повышения производительности и надежности. Компрессорная техника и пневматика. 2009. №4.
3. Выполнение вибрационных обследований турбокомпрессоров 101 J, 102 J, 103 J, 105 J отделения Аммиак-2. Отчет по Договору № 39 от 29.06.99 г. между ОПЗ и ООО «Техпром».
4. Марцинковский В.С., Юрко В.И. Способы эффективного повышения несущей способности гидродинамических подшипников скольжения с самоустанавливающимися колодками. Компрессорное и энергетическое машиностроение. - № 2 (24).- 2011.- С. 24-31.
5. Прохоров А.В. Центробежная компрессорная установка для производства аммиака и метанола. Москва: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1987.
6. Марцинковский В. С., Федоренко Н. Д., Черепов Л. В. Решение технических проблем при разработке турбокомпрессоров для нефтяной и газовой промышленности. Тр. 8-й Всесоюзной научно-технической конференции по компрессоростроению. Сумы, 10-12 октября, 1989 г.
7. С.Я.Соломатин, А.С.Кадушкин, В.Н.Краевский, В.Н.Демидов. Исследование влияния прогрева опор центробежного компрессора на взаимное положение валов при работе. Компрессорная техника и пневматика. 2005. №3. С.12
8. В.Б.Тарельник, В.С.Марцинковский. Модернизация и ремонт роторных машин: Монография.- Сумы: Издательство „Казацкий вал” 2005.- с .
9. И.Г.Хисамеев, В.А.Максимов, Г.С.Баткис, Я.З.Гузельбаев. Проектирование и эксплуатация промышленных центробежных компрессоров – Казань: Фэн, 2010. Стр. 510-515.
10. В.А.Максимов, Г.С.Баткис. Высокоскоростные опоры скольжения гидродинамического действия. Казань: Фэн, 2004. Стр. 253-255.
11. В.Б. Шнепп. Конструкция и расчет центробежных компрессорных машин. М.: Машиностроение, 1995г.
12. С.Я.Соломатин, В.Н.Краевский, В.Н.Демидов. Центровка роторов центробежного компрессора с учетом термических деформаций опорной системы. Компрессорная техника и пневматика. 2006г.
13. В.С. Марцинковский, В.Н. Краевский, О.П. Рыбальченко. Модернизация турбокомпрессора синтез-газа. 11-я Международная научно-техническая конференция ”Гервикон-2005” Украина, Сумы, 6-9 сентября 2005 г.

14. В.С.Марцинковский, В.И. Симоновский, В.И. Юрко. Динамические характеристики подшипников скольжения с вкладышами на гидростатической пленке. Труды междунар. научного симпозиума «Гидродинамическая теория смазки – 120 лет». Т. 2, Орел, 2006. - С.539-544.
15. Р.А.Солодков, В.С. Марцинковский, А.С.Боряк. Влияние намагниченности агрегата на работоспособность опорно-упорных и уплотнительных узлов, диагностика намагниченности и размагничивание. Тр. семинара “Безопасность эксплуатации компрессорного и насосного оборудования, энергосбережение”, Одесса, 6-10 октября 2010г.

## **THE PROBLEMS ARISING AT MAINTENANCE OF SYNTHESIS-GAS COMPRESSORS FOR AMMONIA PRODUCTION; THEIR REASON AND THE RECOMMENDATION ON THEIR ELIMINATION**

*Vasily Martsinkovsky, TRIZ Ltd  
Alexei Plyakin, JSC «GrodnoAsot»*

### **SUMMARY**

*Modernizing ammonia production lines to increase productivity under conditions of restricted funding and strong competitive struggle has resulted in cut-down modernization of the synthesis-gas turbocompressor, and thereby has aggravated the earlier existing problems at its maintenance. There examined the reasons of synthesis-gas compressors refusals, and developed and checked up highly effective technical decisions on prevention of non-standardized stops in practice.*

**Keywords: ammonia production, efficiency, reliability, modernizing, turbine, the compressor, highly effective assembly units.**