

# КАК ПОВЫСИТЬ НАДЕЖНОСТЬ ПОРШНЕВЫХ КОМПРЕССОРНЫХ УСТАНОВОК ПРОИЗВОДСТВА ПОЛИЭТИЛЕНА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ «ПОЛИМИР-50»

*А.Г.ПЛАТОНОВ* – директор Новополюцкого центра технической диагностики «Химотест», кандидат технических наук,

*В.И.БЫКОВА* – начальник Новополюцкой химико-технической инспекции Проматомнадзора РБ,

*А.А.ГОРБУКОВ* – заместитель главного механика ПО «Полимир»

С целью решения проблемы обеспечения полиэтиленом бывшего СССР, производства полиэтилена высокого давления (ПЭВД) комплектно закупались за рубежом. Так были закуплены установки 1-й очереди у фирмы «Зальцгиттер» (ФРГ) с единичной мощностью технологической линии 5 тыс. т/год (Казань, Уфа, Салават); установки 2-й очереди у фирмы «Ай-Си-Ай» (Англия) с единичной мощностью технологической линии 12-14 тыс. т/год (Новополюцк, Казань, Сумгаит, Уфа); установки 3-й очереди у фирмы «Зальцгиттер» (ФРГ) с единичной мощностью технологической линии 60 тыс. т/год (Казань, Северодонецк).

В конце 60-х годов было принято решение построить в Новополюцке установку «Полимир-50» с единичной мощностью около 60-63 тыс. т/год. Отметим, что хотя данная установка - производства бывшего Союза с участием ГДР, однако все трубопроводы, детали газопроводов, трубы трубчатых аппаратов, арматура, а также ряд комплектующих изделий компрессорных установок высокого давления, системы контроля и автоматизации поставлены из: ФРГ, Швейцарии и других стран дальнего

зарубежья. Давление синтеза этилена на всех перечисленных установках находится в пределах 220-350 МПа (2200-3500 кгс/см<sup>2</sup>).

Учитывая, что эксплуатация производств ПЭВД происходит в экстремальных условиях и на этих производствах имеет место наибольшее число серьезных производственных неполадок, Госгортехнадзором, Минхимпромом СССР на базе установки «Полимир-50» в Новополюцке было создано отраслевое головное подразделение надежности и безопасности в производствах ПЭВД.

В задачу подразделения входило проведение работ по указанной проблеме на всех установках ПЭВД бывшего Союза. В настоящее время эти функции, в основном для установок

ПЭВД в Новополюцке, выполняются Новополюцким центром технической диагностики «Химотест» во взаимодействии с Новополюцкой технической инспекцией Проматомнадзора РБ и ПО «Полимир».

Основной задачей созданного подразделения были анализ причин производственных неполадок и аварийных ситуаций в производствах ПЭВД и разработка мероприятий по их предотвращению и предупреждению.

Результаты этой работы показали, что наиболее сложными и ненадежными агрегатами в производствах ПЭВД являются поршневые компрессорные установки (КУ), причем в первую очередь компрессоры II каскада сверхвысокого давления.

## *Технологическая характеристика основного оборудования цеха компрессии установки «Полимир-50»*

Наименование оборудования (технологическая позиция)	Технологическая характеристика оборудования
1. Бустерный компрессор (К-1)	База компрессора - 4М10 Число ступеней - 3 Число цилиндров - 4 Q = 5000 кг/ч n = 8,33 с <sup>-1</sup> ( 500 об/мин) Nд = 630 кВт Pвс = 0,02 МПа Pн = 1,9 МПа
2. Компрессор 1-го каскада (К-2)	База компрессора - 4М16 Число ступеней - 3

Наименование оборудования (технологическая позиция)	Технологическая характеристика оборудования
3. Компрессор 2-го каскада (К-3/1,2)	Число цилиндров - 6 $Q = 15000$ кг/ч $n = 5,33$ с <sup>-1</sup> ( 320 об/мин) $N_d = 1200$ кВт $P_{вс} = 1,8$ МПа $P_n = 28$ МПа База компрессора - 4М40 Число ступеней- 2 Число цилиндров - 8 $Q = 28000$ кг/ч $n = 4,17$ с <sup>-1</sup> ( 250 об/мин) $N_d = 5000$ кВт $P_{вс} = 25$ МПа $P_n = 250$ МПа Гидромеханическая передача движения от коленчатого вала к поршню.
4. Холодильник бустерного компрессора (К-1)  1-й ступени (SE-1) 2-й ступени (SE-2) 3-й ступени (SE-3)	Кожухотрубчатый теплообменник Пространство: межтрубное                      трубное среда - этилен                      среда - оборотная вода $T_{вх.} = 368$ К (95°C) $T_{вх.} = 300$ К (27°C) $T_{вых.} = 313$ К (40°C) $T_{вых.} = 310$ К (37°C) $P = 0,3$ МПа $P = 0,6$ МПа $P = 0,8$ МПа $P = 1,96$ МПа
5. Холодильник компрессора 1-го каскада (К-2)  1-й ступени (E-4) 2-й ступени (E-5) 3-й ступени (E-6)	Кожухотрубчатый горизонтальный теплообменник Пространство: межтрубное                      трубное среда - оборотная вода                      среда - этилен $P = 0,6$ МПа $T_{вх.} = 300$ К (27°C) $T_{вых.} = 310$ К (37°C) $P = 5$ МПа $T_{вх.} = 373$ К (100°C) $T_{вых.} = 313$ К (40°C) $P = 10$ МПа $T_{вх.} = 360$ К (87°C) $T_{вых.} = 313$ К (40°C) $P = 28$ МПа $T_{вх.} = 373$ К (100°C) $T_{вых.} = 308$ К (35°C)
6. Холодильник компрессора 2-го каскада (К-3/1,2)  1 ступени (E-8/1-4)	Теплообменник типа «труба в трубе» Пространство: межтрубное                      трубное среда - оборотная                      среда - этилен вода $P = 0,6$ МПа $P = 90 \dots 110$ МПа $T_{вх.} = 300$ К (27°C) $T_{вх.} = 365$ К (92°C) $T_{вых.} = 310$ К (37°C) $T_{вых.} = 310$ К (37°C)

Ниже приводятся результаты обследования компрессоров 2-го каскада установки «Поли-

мир-50» за определенный начальный период, чтобы показать характерные отказы и производ-

ственные неполадки, влияющие на работу всего производства.

Требуемая годовая наработка установки «Полимир-50» большей частью обеспечивается благодаря дублированию компрессоров 2-го каскада и возможности работы ее либо на обоих совместно компрессорах, либо на одном из них. Плановый выпуск продукта обеспечивался за счет модернизации и запасов по производительности, заложенных при проектировании технологической линии.

Если в среднем за год происходило около 82 остановок установки в неплановый ремонт из-за отказов по механической части, то основную долю из них - 40% составляли остановки только из-за компрессоров 2-го каскада с продолжительностью в среднем около 15 ч. При этом наработка между остановками составляет 10-530 ч, в среднем 160 ч.

Несмотря на дублирование, почти каждая вторая остановка компрессора для непланового ремонта происходила с остановкой цеха.

Фактически ежегодно в среднем компрессоры 2-го каскада в круглосуточной работе (при плане 310 сут.) работали: 1-й компрессор - 292 сут.; 2-й компрессор - 274 сут.; простаивали соответственно 73 сут. и 91 сут.

Средняя продолжительность простоя в год распределилась следующим образом (в %): 1-й компрессор в неплановом ремонте - 52, в плановом - 26, в резерве - 22; 2-й компрессор соответственно - 35, 38, 27.

В результате недостаточной надежности на каждый планово-предупредительный

ремонт (из 5-6 в году) компрессора приходилось по 6-7 неплановых ремонтов только из-за отказов их по механической части без учета ремонтов, проводимых в периоды оргпростоев и ремонта другого оборудования.

Известно, что частые остановки-пуски отрицательно сказываются на надежности разных узлов и, в первую очередь, пар трения. По статистическим данным за год усредненное число остановок компрессора 2-го каскада распределилось по причинам (в процентах): неплановый ремонт собственно КУ - 33, резерв или ремонт из-за неисправности другого оборудования - 25, оргпростой - 24, обкатка - 9.

Как видно, для КУ 2-го каскада наиболее характерны остановки из-за непланового ремонта.

В результате обработки информации, представленной в эксплуатационных, ремонтных журналах, отчетных документах, а также полученной от обслуживающего персонала, собраны данные об отказах различных элементов КУ за 3-летний период эксплуатации. Выявлены виды и причины отказов и их количественные характеристики для каждого элемента.

Из полученных обобщенных данных следует, что надежность обоих КУ во многом определяют и лимитируют следующие узлы: поршни газовых цилиндров 1-й ступени, клапаны самодействующие газовых цилиндров обеих ступеней, арматура газопроводов и в первую очередь предохранительные клапаны нагнетания 1-й ступени, холодильники межступенчатые, гидроблок и система его подпитки.

Наборный поршень 1-й ступени рассматриваемых компрессоров представлял собой узел, состоящий из ряда деталей, отказы которых в среднем в год вызвали помимо плановых 30-35 неплановых замен поршней, т.е. на каждом из 8 цилиндров производилось около 4 замен. При этом средняя наработка между неплановыми заменами поршня была низкая - около 1600 часов. Неисправность поршня 1-й ступени наступала в основном из-за поломки поршневых колец, обрывов штоков и прослабления уплотняющих манжет по штоку.

Средняя наработка различных поршневых колец до поломки составляла около 1900 часов при норме 2880 часов. В связи с разрушениями за период немногим более года семи штоков - ответственных деталей из высоколегированной стали - проведено обследование состояния штоков поршней 1 ступени. Нарботки штоков до поломок составили 1500, 1920, 6710, 9000, 11600, 17000, 20200, 22000, 25300 часов при проектном технологическом ресурсе не менее 62000 часов.

В большинстве случаев разрушение штока происходило по последнему витку резьбы (в месте перехода ее в галтель) высоконагруженного соединения штока с гайкой, посредством которого зажимался пакет сменных элементов поршня, работающего при максимально возможном перепаде давления до 110 МПа. Причем, наблюдались разрушения как штоков первоначальной конструкции с круглым стержнем, так и штоков усовершенствованных с податливым трехгранным стержнем.

Было выявлено, что основными причинами разрушения штоков обеих конструкций являлись

недостатки конструкции резьбового соединения в связи с отсутствием решения по разгрузке последних витков резьбы или недостаточной ее разгрузкой, а также отсутствием упрочняющей обработки резьбы (накатки впадин резьбы вибрирующим роликом или выполнения резьбы накаткой) и другие. Надежность штока во многом определялась также работоспособностью уплотняющей манжеты по штоку. В поставленных в качестве запчастей поршнях резиновые манжеты «сгорали» в среднем после 1000-1500 часов работы. По согласованию с разработчиком компрессоров в течение последних лет начали применять в основном капролон взамен специальной резины для изготовления уплотнений по штоку.

Известны и недостатки материалов на полиамидной основе, в том числе капролона: повышенная чувствительность к температурным колебаниям и вследствие этого нестабильность размеров, быстрое старение.

Рекомендуемый диапазон рабочих температур для примененного капролона - от -30 до +90°C. Фактическая температура в цилиндре согласно регламенту и чертежу цилиндра может достигать 100°C, поэтому работоспособность капролоновых манжет низка. Попытки применять манжеты из других материалов также не давали положительных результатов.

При применении капролоновой манжеты требуется высокая твердость штока под ней - НВ 430-477. В действительности в эксплуатации находились сырые, без термообработки штоки с заниженной в 1,7 раза твердостью, что способ-

ствовало преждевременному износу штока под манжетой. Поэтому проводились работы по повышению твердости штока напылением сплава карбида вольфрама с кобальтом и последующей тонкой шлифовкой и подбору работоспособного материала для манжет. Одним из вариантов увеличения надежности поршня 1-й ступени могло бы стать внедрение цельного поршня взамен наборного.

Наряду с описанными выше отказами в цилиндрах 1-й ступени компрессоров имели место преждевременный износ направляющих втулок из различных марок бронз и выкрашивание зеркала металлокерамической втулки цилиндра.

Не менее часто, чем поршни 1-й ступени, отказывали самодействующие клапаны газовых цилиндров. В эксплуатации находились клапаны пяточковые и кольцевые. Наиболее часто встречающиеся наработки между отказами пяточковых клапанов 300-1000 часов при гарантии ресурса разработчиком 5000-7000 часов. В среднем за год сверх плана заменялись 38 клапанов (при 16 постоянно находящихся в работе) и 15 уплотняющих клапаны манжет (без замены клапана). В равной степени отказывали клапаны I и II ступеней.

В пяточковых клапанах происходили поломки преимущественно седел, ограничителей. Статистика показывает, что наиболее часто разрушение седел возникало в клапанах I ступени. Нарботки клапанов до разрушения седел, ограничителей - 693, 773, 985, 1062, 1130, 2313, 2505, 2675, 3199, 3640, 4270, 4928, 6796 часов.

С целью устранения концентратора напряжений - уплотняющего выступа, от которого происходило развитие трещин, по рекомендации проектировщика прошлифованы поверхности седла и ограничителя нескольких клапанов. Из последних два клапана вышли из строя - один с разрушением седла после 1062 часов работы, другой из-за разрушения пяточка и забоин на седле от пяточков после 8638 часов работы. Остальные пять клапанов находятся в резерве или продолжают работать (наработка 1606, 1532, 5802, 8904 часа).

Благодаря проводимым работам по повышению надежности сальников II ступени, наработка их между отказами находилась в основном в пределах 3000-6000 часов. В одном случае наработка составила 9000 часов. Основные причины отказов сальников - износ уплотняющих элементов и попадание в них металлических частиц из-за износа и разрушений элементов поршневой группы, клапанов, о которых говорилось выше.

Надежная работа пар трения, уплотнений, самодействующих клапанов цилиндров компрессора существенно зависит от условий смазки, параметров масла, подаваемого в цилиндры. В связи с этим необходим комплексный подход к проведению опытных работ по совершенствованию ряда узлов цилиндра. При этом обязательно должны учитываться постоянно меняющиеся условия эксплуатации (например, норма подачи и марка масла), изменяющиеся материалы пар трения и оцениваться их влияние на надежность оборудования с целью получения объективных результатов по наработке опытных деталей узлов в различных условиях.

На работу пар трения и, в первую очередь, на надежность сальников II ступени влияло монтажное искривление вертикальных осей блоков цилиндров компрессоров 2-го каскада из-за низкой жесткости фонаря гидроблока в рассматриваемых компрессорах. Были рекомендованы временные нормативы допустимых значений монтажного натяга колен газопроводов нагнетания, присоединяемых к цилиндрам, и искривлений (или смещений) осей цилиндров при затяжке фланцев и опор газопроводов.

В процессе эксплуатации большое число отказов приходилось на предохранительные клапаны (ПК), установленные на нагнетании I ступени компрессоров 2-го каскада. По среднегодовой статистике каждый месяц из-за отказа неплавно заменялось два ПК из четырех находящихся в эксплуатации. Отказы в работе ПК приводили к остановке всего цеха в среднем 5-7 раз за год.

Характер неисправностей ПК был разный: пропуск газа (в основном); ПК не срабатывает при превышении давления; ПК срабатывает при превышении давления и не закрывается; ПК срабатывает при превышении давления, закрывается и далее не открывается, если давление вновь повышается; ПК пропускает газ с кратковременными перерывами; ПК пропускает газ. После прогрева пропуск прекращается; ПК пропускает газ. После прогрева пропуск ненадолго прекращается, а затем возобновляется.

Наиболее характерными были наработки ПК между отказами 300-1400 часов при

регламентируемых проверке и регулировке 1 раз в год.

Одной из проблем эксплуатации была коррозия труб высокого давления межступенчатых холодильников компрессоров 2-го каскада. Достигнутые положительные результаты по защите от коррозии труб холодильников (нанесением лакокрасочных покрытий) не решили этой проблемы в связи с уменьшением эффективности теплообмена холодильников, не имеющих запаса по поверхности теплообмена. В связи с прогрессирующей язвенной и фреттинг-коррозией труб оптимальным решением было заменить существующие холодильники на межступенчатые с увеличенной поверхностью теплообмена и антикоррозионным покрытием труб.

Конструктивной особенностью компрессоров 2-го каскада является гидромеханическая передача движения от механизма движения к поршню газового цилиндра, которая осуществляется с помощью гидроблока. Зафиксирована низкая надежность поршневых и экспандерных колец гидродвигателя (износ и поломка), направляющих втулок сальников гидронасосов (износ), насосов подпитки гидроблоков и мягких (резиновых) вставок муфт насосов подпитки. Имели место также поломки опор газопроводов, компенсаторов, разгерметизация фланцевых соединений вследствие повышенной вибрации.

Недостаточная надежность КУ 2-го каскада, как показывают приведенные выше данные, обусловлена уникальностью и

сложностью конструктивного исполнения и изготовления ряда узлов, тяжелыми условиями их эксплуатации.

По результатам обследований были разработаны и внедрены технические решения: замена - поршней 1-й ступени на плунжеры, газопроводной обвязки цилиндров, газовых клапанов на комбинированные, межступенчатых холодильников с применением труб на 250 МПа, напыление штоков и втулок цилиндров, внедрение приспособления для центровки блоков цилиндров; реконструкция и разделение систем смазки и охлаждения.

Выполненные в 1975 - 1989 годах мероприятия позволили значительно повысить надежность уникального компрессорного оборудования установки ПЭВД «Полимир-50».

**Для любознательных**

*Но до сих пор не ясно, что изображено на пленке: космический корабль пришельцев или секретное оружие американцев?*

Сенсация на международной астрономической конференции разразилась неожиданно. Собравшиеся в Шемахинской астрофизической обсерватории Азербайджана светила науки неспешно обсуждали поведение небесных светил. И вдруг один из ученых, президент международного научно-технического комплекса «Интергео-Тетис», доктор геолого-минералогических наук Эльчин ХАЛИЛОВ попросил слова.

Он предупредил, что никогда не увлекался уфологией. Но недавно волею случая заснял объект, поведение которого он как ученый объяснить не может. И просит коллег помочь ему в этом. После чего продемонстрировал участникам конференции отснятый им 40-минутный фильм.

*Астрономы засвидетельствовали:*

**доктору наук  
из Баку  
удалось заснять**



Фильм вызвал шок. Видел запись и ваш корреспондент. На пленке был запечатлен крупный светящийся ярко-голубой объект, висевший в течение нескольких часов над ночным Баку. Объект имел формы, далекие от традиционных представлений о «летающих тарелках», и скорее напоминал вращающийся космический корабль. Впрочем, более подробно об этом мне рассказал сам автор уникальной съемки.

**- Как вам удалось подстеречь НЛО?**

- Я и не думал ничего подстергать. 17 апреля вечером мне позвонил отец, живущий в поселке Монтино (один из районов Баку), и сказал, что они вместе с моей матерью видят с балкона какой-то огромный шар, который висит в небе и постоянно меняет свои формы. «У тебя же есть цифровая видеокамера «Сони»,