

Я. И. Билык, А. Р. Кошель, А. В. Судак (ООО «ТРИЗ», г. Сумы, Украина)

Турбокомпрессор производства азотной кислоты

Представлена тактика частной модернизации оборудования, которое лимитирует ресурс работоспособности энерготехнологических агрегатов с газотурбинным приводом. Рассмотрены особенности создания нового узла компримирования и подачи воздуха в технологию на базе мультипликаторного центробежного компрессора, с приводом максимально адаптированным к существующей технологической и энергетической инфраструктуре предприятия.

Ключевые слова: центробежный компрессор, частная модернизация, энерготехнологический агрегат, надежность, газотурбинная установка, энергоэффективность, экологическая безопасность.

Наведена тактика локальної модернізації обладнання, яке лімітує ресурс працездатності енерготехнологічних агрегатів з газотурбінним приводом. Розглянуто особливості створення нового вузла компримування і подачі повітря в технологію на базі мультиплікаторного відцентрового компресора, з приводом максимально адаптованим до існуючої технологічної та енергетичної інфраструктури підприємства.

Ключові слова: відцентровий компресор, локальна модернізація, енерготехнологічний агрегат, надійність, газотурбінна установка, енергоефективність, екологічна безпека.

The tactics of local equipment modernization, which limits the service life of energy technology units with a gas turbine drive, is presented. Features of creating a new compression and air supply unit in technology based on a multiplier centrifugal compressor, with a drive maximally adapted to the existing technological and energy infrastructure of the enterprise are considered.

Keywords: centrifugal compressor, private modernization, power technological unit, reliability, gas turbine unit, energy efficiency, environmental safety.

Учитывая риски, связанные с радикальной модернизацией крупнотоннажных производств, в последнее время экономически целесообразной становится тактика частных модернизаций. Использование амортизационных отчислений на восстановление основных производственных фондов путём замены выработавшего ресурс оборудования на аналогичное оборудование более позднего изготовления, даже с улучшенными характеристиками в конечном итоге приводит к снижению конкурентно способности производства. Выходом из данной ситуации является проведение работы по поддержанию основных фондов на достаточном техническом уровне путём расходования амортизационных ресурсов с учётом заранее разработанной концепции развития производства на долгосрочный период. Каждый этап реализации концепции представляет собой комплекс мероприятий, реализация которых позволит получить экономическую выгоду от внедрения, является продолжением предыдущей работы создавая возможность дальнейшего совершенствования производства. Такая тактика позволяет разнести вложения в модернизацию во времени и накапливать требуемые ресурсы минимизируя риски.

Азотная кислота является базовым сырьем в производстве азотных удобрений – одной из наиболее экспорт ориентированных отраслей экономики, а также в производстве ряда других, пользующихся повышенным спросом, химических продуктов.

Более 50% всего объема азотной кислоты в странах СНГ производится на крупнотоннажных агрегатах УКЛ-7, эксплуатируемое количество которых на территории России, Украины, Литвы, Узбекистана составляет около 100 единиц, включая сопряженные производства нитрит-нитратов натрия, концентрированной азотной кислоты и т.д.

Энерготехнологические агрегаты УКЛ-7 с газотурбинным приводом ГТТ-3 разработаны УкрГИАП и начали вводиться в эксплуатацию более 30 лет назад.

По интенсивности технологии, структуре, мощности, гибкости, автономности, экологичности эти агрегаты конкурентноспособны и на сегодняшний день, однако, длительный срок эксплуатации обусловил необходимость моральной и физической модернизации их машинной части и энерготехнологии в целом.

Оборудованием, лимитирующем ресурс работоспособности агрегатов УКЛ-7, являются газотурбинные установки ГТТ-3 (ГТТ-3М). Гарантийный ресурс установок по отрасли превышен в 1,5÷2 раза, в связи с чем требуются значительные затраты на проведение капитально-восстановительных ремонтов с заменой базовых узлов (установкой дорогостоящих ремкомплектов), с приобретением комплектующих и запасных частей. Общий вид установки приведен на рисунке 1.

По данным статистики, простои основного оборудования из-за отказов ГТТ-3, ГТТ-3М составляют 23,9% от общего числа простоев агрегата УКЛ-7.

Наибольший процент поврежденных основных деталей и узлов ГТТ-3 (ГТТ-3М) приходится на лопаточные аппараты газовых турбин, осевых компрессоров, а также выход из строя редукторов и промежуточных воздухоохладителей. Изначально созданные для нужд энергетики, газотурбинные установки ГТТ-3 имеют



Рис. 1. Общий вид газотурбинной установки ГТТ-3

сложную конфигурацию, низкий КПД, повышенное потребление природного газа, охлаждающей воды и электроэнергии. Все это отрицательно сказывается на экономических показателях производства азотной кислоты и продуктов ее переработки.

Основные конструктивные и технологические недостатки существующих газотурбинных установок ГТТ-3М:

- сложная и громоздкая конфигурация газотурбинной установки;
- высокая металлоемкость – порядка 72 т;
- низкий адиабатический КПД элементов ГТТ-3М – в среднем 78-79%;
- большое потребление охлаждающей воды – до 500 м³/час;
- сложная и емкая маслосистема (1000 л/мин);
- большое количество опор скольжения (18 шт.);
- высокая доля потребления сжатого воздуха на собственные нужды;
- дорогостоящий компенсирующий привод-электродвигатель 800 кВт;
- сложность процедуры пуска ГТТ-3М;
- большая продолжительность пуска и остановки агрегата ГТТ-3М;
- большое потребление природного газа до 120 м³/т HNO₃;
- наличие высокотемпературного трубопровода («красной трубы») от реактора очистки до газовой турбины ГТТ-3М;
- отсутствие современной системы управления и регулирования;
- прохождение 3 критических частот вращения при выходе на режим.

Таким образом, газотурбинная установка ГТТ-3М устарела физически и морально, в связи с чем требуются современные конструкторские решения.

Для модернизации машинного оборудования агрегатов УКЛ-7 существует ряд побудительных мотивов, связанных с необходимостью экономии энергоресурсов, которую можно обеспечить повышением КПД этих машин, улучшением и поддержанием стабильности тепловых и газодинамических характеристик в процессе длительной эксплуатации, устранением выявленных недо-

статков в конструктивном решении отдельных узлов машины и конфигурации ее построения в целом.

На рисунке 2 представлена предлагаемая схема модернизированного агрегата азотной кислоты, построенная с учётом достижений в области совершенствования технологии производства азотной кислоты. За базу данной концепции принята универсальная технологическая линия УКЛ-7.

Основные технические решения, принятые в концепции направлены на повышение энергоэффективности, экологической безопасности, получение продукта более высоких потребительских свойств с оптимальными капитальными затратами и максимальной производительностью. Кроме того, предложенная концепция позволяет адаптировать производство азотной кислоты к существующей на предприятии энергетической инфраструктуре что даёт неоспоримые экономические выгоды.

Ключевым элементом модернизации агрегата является создание нового узла компримирования и подачи воздуха в технологию (рис. 3). С целью получения высоких показателей эффективности и надежности работы агрегата по производству азотной кислоты узел компримирования технологического воздуха предлагается создать на базе мультипликаторного центробежного компрессора МЦК, с приводом максимально адаптированным к существующей технологической и энергетической инфраструктуре предприятия.

Основные экономические выгоды от создания нового компрессорного агрегата на данном этапе достигаются за счёт снижения эксплуатационных затрат в виде исключения потребления природного газа, уменьшения расхода аммиака и электроэнергии, повышения производительности агрегата, снижения затрат на ремонт и обслуживание агрегата. Кроме того, модернизация данного узла позволит получить существенный социально экологический эффект в виде улучшения условий труда обслуживающего персонала (уменьшение уровня шума, вибрации, инфракрасного излучения и др.), а также снижения негативного воздействия на окружающую среду.

Многовальный компрессор состоит из мультипликатора с установленными на нем тремя ступенями сжатия. Привод компрессора, в данном варианте осуществ-

Таблица 1. Сравнение компрессорных агрегатов для УКЛ-7

Наименование параметра	ГТТ-3М	ГТУ-8	ГТТ-9	ASTRA 7,5/29
Расход воздуха через компрессор, т/ч	96,1	100,1	122,6	104,4
Расход воздуха на технологию, т/ч	78,8	80,0	102,6	-
Давление воздуха за компрессором, МПа	0,73	0,73	0,737	0,74
Температура воздуха за компрессором, °С	143	289	280	283
Адиабатический КПД компрессора, %	80,0	84,0	86,6	82,4
Количество ступеней компрессора	17	12	9	1
Мощность компрессора, МВт	8,47	7,84	8,93	7,9
Температура газа перед турбиной, °С	700	702	680	678
КПД турбины, %	85,0	91,0	90,0	91,0
Мощность турбины, МВт	8,47	7,88	9,0	8,0
Количество ступеней турбины	7	3	3	2
Частота вращения ротора, об/мин	5100	7950	7500	12810
Расход топливного газа, кг/ч	972	807	900	738
Назначенный ресурс, ч	120 000	100 000	150 000	-

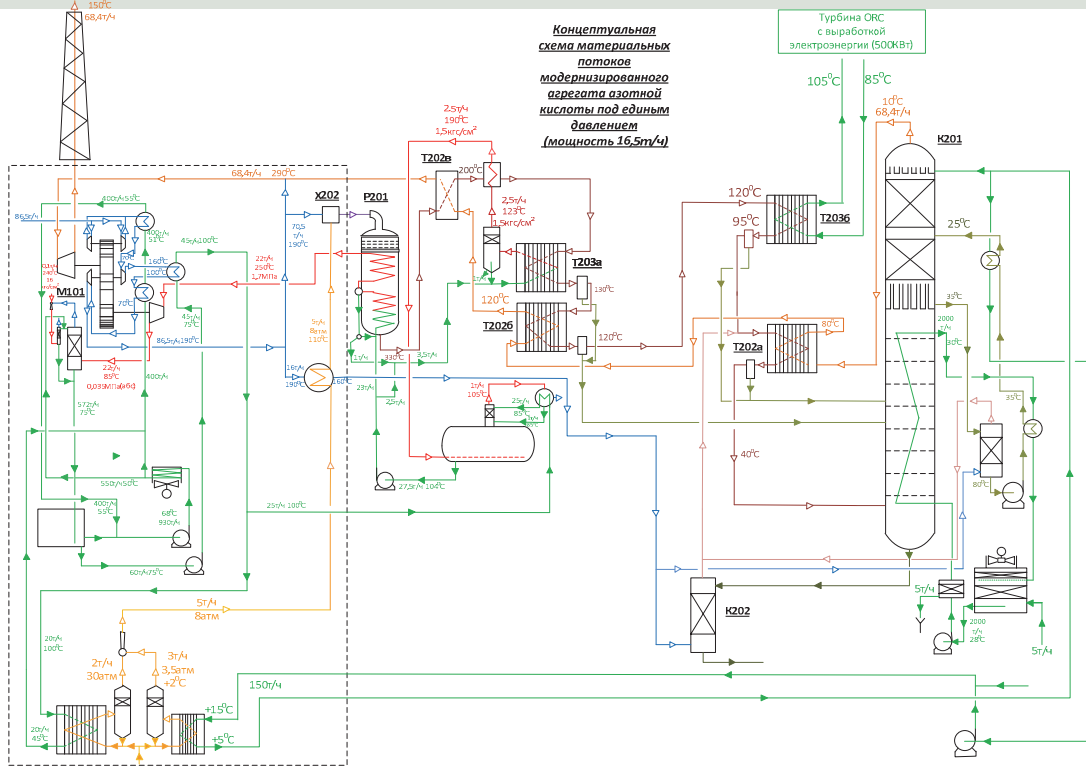


Рис. 2. Схема модернизированного агрегата азотной кислоты

шей температурой. Полученная таким образом нагретая обессоленная вода будет направляться в деаэрактор. Такое решение позволит значительно снизить потребление энергоресурсов на приготовление питательной воды, а также откроет перспективы глубокой утилизации тепла конденсации мягого пара.

Атмосферный воздух поступает во вновь создаваемый компрессорный агрегат после существующего узла очистки. Расчётная температура всасываемого воздуха 25°C. Компрессор представляет собой одноступенчатую

многовальную цен-

тробежную машину с утилизацией

тепла сжатия для

нагрева и частичного испарения

питательной воды перед

подачей её в котёл-утилизатор.

Схемой предусматривается

автоматическая стабилизация

температуры сжатого

воздуха на выходе из третьей

ступени с целью

оптимизации температурного

режима на стадии окисления.

Привод компрессора осуществляется

посредством конденсационной

паровой турбины (электродвигателя)

работавшей на технологическом

паре, получаемом в котле-утилизаторе

поз. Т201. Для обеспечения

требуемой мощности предусмотрена

система утилиза-

ляется при помощи турбодетандера и паровой турбины. Конструкция компрессорного агрегата позволяет производить модификации с различными вариантами приводов (газовая турбина, электродвигатель, турбины органического цикла, противоавиационные турбины и др.) как в единичном исполнении, так и гибридные (несколько приводов, работающих параллельно). Так же компрессорный агрегат может комплектоваться электрогенератором для полезного использования избыточной мощности.

Преимущества мультипликаторных центробежных компрессоров:

1. компактность;
2. широкий диапазон регулирования (50-100%) производительности;
3. минимальные капитальные и эксплуатационные затраты;
4. максимальная заводская готовность;
5. Снижение уровня шума, вибрации и излучения;
6. Полная автоматизация;
7. Снижение уровня негативного воздействия на окружающую среду.

Эффективность мультипликаторных центробежных компрессоров достигается:

- свободой выбора конфигурации привода и ступеней сжатия с использованием колес оптимальной аэродинамической формы;
- обеспечением оптимальных скоростей для каждого рабочего колеса или группы колес за счет выбора диаметров шестерен ведомых валов;
- однородным осевым входом на всех колесах;
- созданием оптимальных параметров воздуха по температуре и давлению в соответствии с технологическими требованиями.

Модернизация агрегатов УКЛ-7 на базе нового турбокомпрессорного блока обеспечит в значительно большей степени использование внутренней энергии процессов, позволит исключить потребление природного газа и эмиссию вредных продуктов его сжигания (монооксида углерода (CO) и диоксида углерода (CO₂)).

На данном узле предусматривается конденсация мягкого пара путём его непосредственного контакта с хладагентом в виде обессоленной воды с соответствующей

температурой. Полученная таким образом нагретая обессоленная вода будет направляться в деаэрактор. Такое решение позволит значительно снизить потребление энергоресурсов на приготовление питательной воды, а также откроет перспективы глубокой утилизации тепла конденсации мягого пара.

Атмосферный воздух поступает во вновь создаваемый компрессорный агрегат после существующего узла очистки. Расчётная температура всасываемого воздуха 25°C. Компрессор представляет собой одноступенчатую

многовальную центробежную машину с утилизацией

тепла сжатия для нагрева и частичного испарения

питательной воды перед подачей её в котёл-утилизатор. Схемой предусматривается автоматическая стабилизация

температуры сжатого воздуха на выходе из третьей ступени с целью оптимизации температурного

режима на стадии окисления. Привод компрессора осуществляется посредством конденсационной

паровой турбины (электродвигателя) работающей на технологическом паре, получаемом в котле-утилизаторе поз. Т201. Для обеспечения

требуемой мощности предусмотрена система утилиза-

ции

тепла

конденсации

мягкого пара

путём его

непосредственного

контакта с

хладагентом в

виде обессоленной

воды с соответствующей

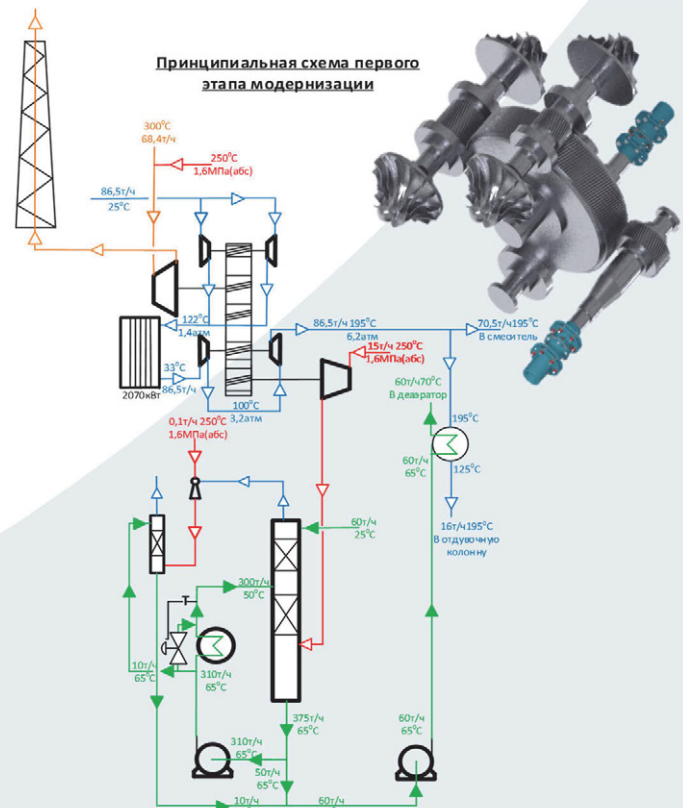


Рис. 3. Узел компримирования и подачи воздуха

Таблица 2. Сравнение показателей работы существующего агрегата УКЛ-7 с ГТТ-3М и агрегата с применением нового турбокомпрессора разработки ТРИЗ

Наименование показателей	Ед. изм.	*Агрегат ГТТ-3М	Агрегат ТРИЗ	Изменение показателей	Примечания
1. Производительность агрегата по моногидрату азотной кислоты	т/ч	13,5	16,5	+3	Увеличивается за счет повышения расхода воздуха на технологию
2. Расходные показатели на 1т					
2.1 Аммиак	кг/т	309,6	296,0	-13,6	Повышается степень конверсии аммиака в контактном аппарате за счет оптимизации температуры воздуха 190–210°С на нагнетании турбокомпрессора
2.2 Платина	г/т	0,15	0,15	0	
2.3 Электроэнергия	кВтч/т	32,1	16	-15,14	Снижается потребление электроэнергии за счёт исключения работы электродвигателя ГТТ-3М
2.4 Природный газ	м ³ /т	103,5	0	-103,5	П.Г. не используется так как привод компрессора осуществляется посредством детандера и паровой турбины
2.5 Вода оборотная ($\Delta T = 7^\circ\text{C}$)	м ³ /т	161,7	227	+65,3	На данном этапе часть тепла конденсации отработанного пара отводится оборотной водой
2.6 Вода химочищенная	м ³ /т	1,92	0,4	-1,52	Потребление воды снижается за счёт использования конденсата, мятого пара после паровой турбины в качестве питательной воды
2.7 Пар от котла-утилизатора (выдача)	Гкал/т	0,987	0,53	-0,457	Избыточное тепло используется в паровой конденсационной турбине и на собственные нужды агрегатов. (нагрев обессоленной воды до 65°С)
3. Экологические показатели очищенного хвостовых газов (ХГ)					
3.1 Содержание NO ₂	ppm	50,0	45,0	-5,0	Исключается огневой подогрев в УКСТ с использованием ПГ за счет исключения термического разложения избыточного NH ₃
3.2 Содержание CO	ppm	25,6	0,0	-25,6	
3.3 Содержание NH ₃	ppm	50,0	50,0	0,0	
3.4 Эмиссия CO ₂	м ³ /т	103,5	0	0	

*) Показатели работы действующего агрегата УКЛ-7-69 № 1 с ГТТ-3М приняты по данным «Отчета по результатам анализа фактических показателей работы агрегатов ПАО «Азот» г. Черкассы

ции энергии расширения хвостовых газов на базе турбодетандера. Предложенная конфигурация привода позволяет исключить применение природного газа. Это на четверть снижает требуемую производительность компрессора так как отсутствует необходимость в подаче воздуха на сжигание. Конструкция компрессора не предполагает потребление воздуха на собственные нужды. В зависимости от требований заказчика агрегат комплектуется разгонным электродвигателем или турбиной с осуществлением запуска агрегата на паре, потребляемом из сети завода.

Конденсацию мятого пара после паровой турбины предлагается осуществлять в барометрическом конденсаторе под атмосферным давлением. Тепло конденсации можно полезно применить на производственные нужды. Одним из таких источников может служить узел испарения жидкого аммиака. Условия конденсации мятого пара позволяют осуществлять испарение аммиака условиях повышенного давления. Этим открываются перспективы использования тепловой энергии конденсации мятого пара, например для выработки электро-

энергии (около 0,9МВт) и получения захлажденной воды.

Дальнейшая модернизация агрегата направлена на совершенствование узла абсорбции, утилизацию тепла газовых потоков и тепла выделения кислого конденсата.

Современные технологии позволяют реализовать наработки в области глубокого поглощения окислов азота раствором азотной кислоты с доочисткой хвостового газа посредством захлажденной воды. В результате предполагается получить хвостовой газ с содержанием окислов азота на уровне, позволяющем исключить из схемы каталитическую очистку.

Благодаря прогрессу в области создания высокоэффективного и надёжного теплообменного оборудования открываются перспективы оптимизации тепловых процессов. Проанализировав энергетические составляющие материальных потоков был выявлен ряд резервов, задействование которых позволяет выделить ряд потоков, тепловой потенциал которых позволяет его использовать с получением экономической выгоды.

ПУБЛИЧНОЕ
АКЦИОНЕРНОЕ
ОБЩЕСТВО

Глуховский завод
"ЭЛЕКТРОПАНЕЛЬ"



СОВРЕМЕННАЯ ТЕХНИКА
ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЕЙ
НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА.

Качественно. Надежно. Долговечно.



УКРАИНА, 41400, Сумская обл.
г. Глухов, ул. Индустриальная, 7
тел.: +38 /05444/ 222 27; факс: +38 /05444/ 228 29
e-mail: elpa-info@nicmas.com.ua

BUREAU VERITAS
Certification



ISO 9001