

РАЗВИТИЕ СЕМЕЙСТВА КОНВЕРТИРОВАННЫХ АВИАЦИОННЫХ ГТД НА БАЗЕ ДВИГАТЕЛЯ НК-14СТ

Овчинников В.Н., Идельсон А.М.
ОАО "СКБМ", г. Самара

В середине 70-х годов прошлого столетия в России появился первый серийно выпускаемый газотурбинный двигатель авиационного типа для привода компрессора в газоперекачивающем агрегате – НК-12СТ. Этот двигатель был создан в ОАО "СКБМ" под руководством Н.Д. Кузнецова на базе авиационного турбовинтового двигателя НК-12МВ. При этом было использовано около 85% деталей базового двигателя, причем значительная часть из них – после исчерпания ресурса в авиационных условиях с технологическим восстановлением поверхностного слоя деталей. Благодаря понижению температуры газа на 200К был значительно увеличен ресурс двигателя. Были использованы также основные преимущества приводных ГТД авиационного типа:

- малые габариты и масса, блочная конструкция, что позволяет мобильно осуществлять транспортировку, монтаж без больших капитальных затрат, особенно в труднодоступных районах, удаленных от населенных пунктов;
- высокая эксплуатационная надежность, включая ремонтпригодность, автоматизацию системы регулирования и управления, простоту обслуживания;
- относительно низкую стоимость и достаточно сжатые сроки проектирования, доводки и изготовления.

Однако, у первого серийного конвертированного двигателя, созданного в очень сжатые сроки, благодаря использованию, в основном, готовых деталей с соответствующей коррекцией (схема со свободной турбиной вместо одновальной у базового двигателя) был относительно невысокий КПД (при номинальной мощности $N=6,3$ МВт $\eta_e = 26,1\%$).

В связи с ростом цены на природный газ, являющийся топливом на приводных двигателях в газоперекачивающих агрегатах (ГПА), был создан взаимозаменяемый с НК-12СТ двигатель с более высоким КПД: НК-14СТ. Это также двигатель авиационного типа, но в нем, по сравнению с НК-12СТ, произошли существенные конструктивные изменения. Был уменьшен расход воздуха на 35% и повышены: температура газа на 300К и степень повышения давления на 19%. Это позволило при номинальном значении мощности $N=8$ МВт получить КПД $\eta_e=32\%$. В компрессоре были сняты 3 первые ступени и добавлены 4 новые ступени на выходе. Турбина газогенератора и свободная турбина были спроектированы заново.

Двигатель НК-14СТ оказался удобным для создания на его базе

семейства двигателей современного уровня в востребованном для газоперекачки и для энергетических установок в классе мощностей 8...16МВт (см. схему на рис.1).

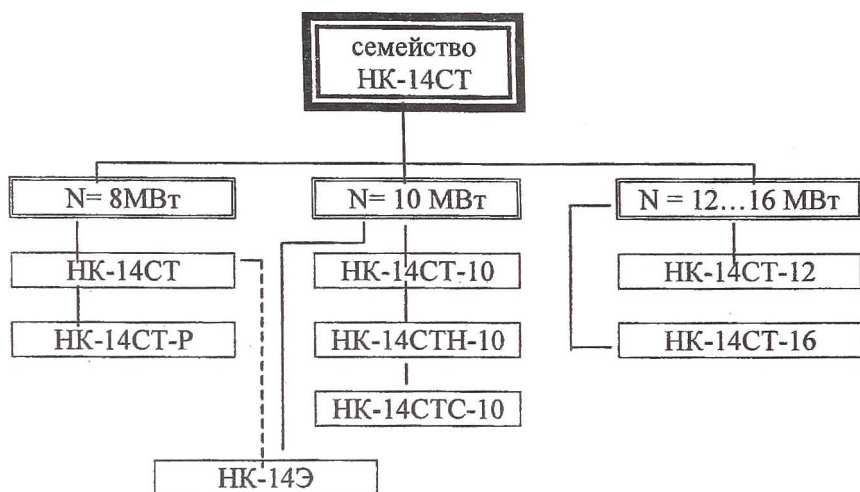


Рис. 1. Семейство двигателей на базе НК-14СТ

В схеме представлены двигатели:

1. Двигатель для привода в ГПА НК-14СТ-10 ($N=10\text{МВт}$, $\eta_e=34\%$, $n_{ст}=8200$ 1/мин) имеет следующие отличия от базового двигателя НК-14СТ:
 - повышены температура газа T_r^* на 90К и степень повышения давления π_k^* на 6%;
 - в турбине газогенератора введены: новая 3-ья ступень, новые рабочая лопатка 1-ой ступени и охлаждаемая рабочая лопатка 2-ой ступени;
 - в свободной турбине уменьшена на 9% пропускная способность путем изменения соплового аппарата 1-ой ступени;
 - изменена проточная часть промежуточной опоры турбины;
 - введен комплекс мероприятий, направленных на обеспечение назначенного ресурса не менее 100 000 ч., в частности, полочные лопатки направляющих аппаратов и цельноточеный усиленный статор компрессора.

Двигатель взаимозаменяем в ГПА с двигателями НК-12СТ и НК-14СТ.

На двигателе получены основные технические данные, лидерный экземпляр устанавливается в настоящее время для опытной эксплуатации в ГПА.

2. Двигатели НК-14СТН-10 и НК-14СТС-10 отличаются от НК-14СТ-10 частотами вращения свободной турбины ($n_{ст}=4800...5000$ 1/мин и $n_{ст}=6500$ 1/мин соответственно вместо $n_{ст}=8200$ 1/мин на НК-14СТ-10). Кроме того, если свободная турбина на НК-14СТ-10 правого вращения, то на НК-14СТН-10 она левого вращения, а на НК-14СТС-10 может быть как правого, так и левого вращения. Эти модификации создаются для реконструкции нескольких типов ГПА, в том числе для импортозамещения двигателей, отработавших свой ресурс.

В этих модификациях используется 2-х ступенчатая свободная турбина двигателя НК-38СТ (проект ОАО "СНТК им. Н.Д. Кузнецова") с измененной лопаточной частью, а также "гусеобразный" переходный участок между турбинами.

3. Двигатель НК-14СТ-12 ($N=12$ МВт, $\eta_e=35\%$) разработан на основе двигателя НК-14СТ-10 со следующими основными отличиями:
- увеличен расход воздуха на 20% путем постановки на вход в компрессор дополнительной ступени (3-я ступень двигателя НК-12СТ);
 - увеличена π_k^* на 20%;
 - свободная турбина создается на базе свободной турбины НК-38СТ с увеличением пропускной способности на 7% путем подрезки выходной кромки лопаток соплового аппарата 1-й ступени.
4. Двигатель НК-14СТ-16 ($N=16$ МВт, $\eta_e=35\%$) разработан на базе НК-14СТ-10 со следующими основными отличиями:
- увеличен расход воздуха на 35% путем постановки на вход в компрессор трех дополнительных ступеней (1...3 ступени двигателя НК-12СТ);
 - увеличена пропускная способность турбины газогенератора на 30% с переделкой 4-х лопаточных венцов; в качестве свободной турбины применена свободная турбина двигателя НК-38СТ с увеличением пропускной способности на 30% и с измененной лопаточной частью.
5. Двигатель НК-14СТ-Р с регенерацией тепла выхлопных газов ($N=8,0$ МВт, $\eta_e=41\%$) создан на базе НК-14СТ со следующими основными отличиями:
- применен теплообменник трубчатого типа для нагрева закомпрессорного воздуха со степенью регенерации 0,85;
 - повышена T_r^* на 70К для компенсации потерь полного давления в теплообменнике и коммуникациях подвода и отвода воздуха от него;
 - понижена π_k^* на 10% путем подрезки лопаток соплового аппарата 1-й ступени турбины газогенератора;

- введены улитки для отвода воздуха за компрессором и подвода воздуха к камере сгорания и изменена силовая схема.
- 6. Двигатель для привода электрогенератора в электростанциях БГТЭС-9,5 и АТГ-10 НК-14Э ($N=10$ МВт, $\eta_e=33\%$). Двигатель создан на базе двигателя НК-14СТ и имеет следующие отличия от него:
 - имеет одновальную схему с передним приводом через редуктор со степенью редукции 2,75;
 - турбина составлена из объединенных вместе 2-х ступеней турбины газогенератора и 2-х ступеней свободной турбины с коррекцией на уменьшение площади соплового аппарата 3-ей ступени;
 - температура T_r^* увеличена на 65К;
 - значение π_k^* увеличено на 6%;
 - введены "низкие" лабиринты в турбине;
 - отсутствует промежуточная опора и изменена задняя опора в турбине;
 - возможна работа двигателя как на газообразном топливе (природный и попутный газ), так и на жидком топливе.

Двигатель успешно прошел 1-ый этап межведомственных испытаний. Создание группы приводных двигателей на базе серийного ГТД НК-14СТ позволяет заполнить нишу 10...12 МВт, существующую в двигателях семейства "НК", внутри класса мощностей 4...25 МВт, востребованного для приводов в газоперекачивающих агрегатах и электростанциях.

СРАВНЕНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ СТАЦИОНАРНЫХ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК И КОНВЕРТИРОВАННЫХ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Овчинников В.Н., Михеенков Е.Л.
ОАО "СКБМ", г. Самара

Самарское (бывшее Куйбышевское) конструкторское бюро машиностроения является пионером в применении конвертированных выработавших ресурсы авиационных двигателей в качестве силовых установок для привода газоперекачивающих агрегатов для магистральных газопроводов.

Преимущества авиационных двигателей:

- высокие КПД цикла;
- высококачественные материалы деталей и узлов;
- малое время запуска, высокая приемистость;
- компактность;