

К ВЫБОРУ ТИПА И РАСЧЕТНОГО РЕЖИМА ТУРБИН МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Докт. техн. наук, проф. **КАРНИЦКИЙ Н. Б.**, инж. **ПАНТЕЛЕЙ Н. В.**

Белорусский национальный технический университет

В мире выпускается широкий спектр турбин малой мощности от нескольких киловатт до нескольких мегаватт. Общим для них является то, что эти турбины противодавленческие и могут быть использованы для работы на котельных, превращая такие котельные в мини-ТЭЦ. Выработка собственной электроэнергии вместо покупной из энергосистемы очень выгодна. Объясняется это просто. Котельная, как правило, вырабатывает пар низкого потенциала порядка 0,6 МПа, а котлы рассчитаны на давление не ниже 1,4 МПа. Поднять на котле давление пара до расчетного уровня несложно, затратив дополнительное топливо, которого требуется не более 5–7 % к уже сожженному. Этим и объясняется основное достоинство таких турбин. Вторым достоинством является простота конструкции подобной техники, что удешевляет киловатт установленной мощности в сравнении с большими турбинами. В табл. 1 приведены основные характеристики по нескольким таким агрегатам [1, 2].

Практический интерес представляют турбины № 1 и 5 (табл. 1). Первая – российского производства, вторая – белорусского [1, 2]. Обе применяются на рынках Беларуси и России. Белорусских турбин в республике работает более десяти штук, российских – больше. Ниже приводится анализ некоторых важнейших их особенностей и характеристик. Российская турбина относится к быстроходным, а белорусская – к тихоходным.

Для любой техники, включая турбины, важнейшим критерием является ее надежность. Турбины не исключение.

Таблица 1

Основные технические характеристики турбин малой мощности

№ п/п	Тип турбины	Единичная мощность, кВт	Конструктивное исполнение	Номинальное число оборотов, об/мин	Год ввода в эксплуатацию
1	ТГ 0,5А/0,4 Р13/3,7	500	Двухвенечная ступень скорости	8000	Начало 1990-х
2	Danfoss*	132	Одновенечная ступень	10000	1999
3	Omgon*	75	Одновенечная ступень	10000	2000
4	Omgon*	220	Одновенечная ступень	10000	2002
5	ТГУ 0,25/0,4 Р12/2	250	Восьми-ступенчатая на одном колесе	3000	1998

* Литературные источники ограничены.

Из табл. 1 видно, что турбина № 1 выполняется в редукторном исполнении, № 2 – в безредукторном. Данный факт имеет большое значение для их надежности, так как отсутствует дополнительный элемент – редуктор.

Рассмотрим обе турбины. Теоретически решена и экспериментально подтверждена задача предельных забросов оборотов (ПЗО) ротора турбины при потере ею управления [3, 4]. Величина ПЗО определяется расчетным числом оборотов (РЧО) и теоретически составляет удвоенное значение от РЧО. Практически из-за возрастающих потерь в подшипниках и некоторых других элементах турбины ПЗО на 4–5 % ниже теоретического уровня. В частности, для белорусской турбины величина ПЗО составляет 5740 об/мин при РЧО 3000 об/мин. Ее значение неоднократно проверялось экспериментально на двух машинах типа ТРБ в г. Гродно и г. Минске. Важно выполнять турбину с соответствующим запасом прочности ее ротора, превышающим ПЗО.

Рассмотрим российскую турбину в аналогичной ситуации. Для нее величина ПЗО теоретически составляет 16000 об/мин, а практически – немногим более 15000 об/мин. (Для быстроходной турбины типа «Кубань-0,65» ПЗО = 15000 об/мин при номинальном уровне 8800 об/мин.) По вполне понятной причине экспериментально проверить эту цифру не представляется возможным. Впрочем, косвенно такая проверка состоялась на похожей турбине Пролетарского завода. При ее автоматическом пуске на Вилейской мини-ТЭЦ из-за ошибок в алгоритме управления произошла авария, в результате которой турбина вышла из строя.

Второй по значимости показатель – экономичность турбин. На рис. 1 приведена зависимость величины относительного внутреннего КПД тихоходной и быстроходной турбин от их относительной нагрузки.

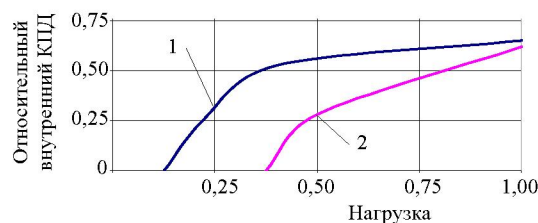


Рис. 1. Зависимость относительного внутреннего КПД тихоходной турбины (кривая 1) и быстроходной (кривая 2) от их нагрузки

Выигрыш остается в пользу первой (тихоходной). Следует обратить внимание на значительную разницу в нагрузке холостого хода турбин: $N_{\text{хх}} = 0,1$ – у тихоходной и $N_{\text{хх}} = 0,4$ – у быстроходной. Это значит, что пока вторая выйдет на холостой ход, первая уже будет нести относительную нагрузку порядка $N = 0,4$ с КПД более 50 %, т. е. близким к своему номинальному значению – 65 %. И, очевидно, при дальнейшем нагружении тихоходная будет неуклонно повышать эффективность использования невостребованного потенциала пара котельной, превращенной в мини-ТЭЦ. Нагрузка холостого хода тихоходной турбины $N_{\text{хх}} = 0,1$ (10 %) ниже технического минимума (ТМ) котлоагрегата. А это значит, что при выходе котлоагрегата на ТМ тихоходная турбина уже будет нести нагрузку, т. е. котлоагрегат и тихоходная турбина будут пускаться практически параллельно.

А теперь кратко поясним преимущества тихоходной турбины. Все без исключения быстроходные турбины одноступенчатые. В соплах сверхзву-

ковая скорость. Вполне очевидно, и скорость выхода потока из рабочей решетки также велика. Это приводит к большой потере с выходной скоростью. Ее величина может достигать четверти от располагаемого теплосрепа на такую турбину. Иначе обстоит дело в тихоходной турбине. Она многоступенчатая и воплотила в себе известное достоинство многоступенчатых турбин: полезное использование выходной скорости во всех ступенях, за исключением последней ее ступени. Следовательно, мала скорость потока пара за последней ступенью. Кроме того, в ней все ступени дозвуковые, а это значит, что отсутствуют волновые потери энергии. Значит, КПД будет выше. Еще одним фактором, ведущим к повышению КПД тихоходной турбины, является меньший уровень профильных и концевых потерь в ее проточной части – основные потери сосредоточены здесь. Обусловлено это двумя факторами: малыми скоростями потока пара, и более длинными лопатками в отличие от таковых у быстроходной турбины.

Турбины, кроме того, должны быть дешевыми, чему в полной мере отвечает тихоходная турбина, а применение в ней подшипников качения обеспечило ей пожарную безопасность. Пожарная безопасность турбин ТРБ также обусловлена использованием в них консистентной смазки подшипников вместо традиционной напорной масляной. Это стало возможным благодаря тихоходности, саморазгрузке ротора по осевым усилиям, а также за счет относительно небольших массогабаритных характеристик ротора. (Масса ТГУ-0,25 составляет 2,8 т, а «Кубани-0,65» – 12,5 т.) Отсутствие маслосистемы у турбин ТРБ выгодно отличает их от аналогов, позволяя устанавливать их в любом помещении по пожароопасности, в том числе и непосредственно у котлоагрегатов. Это не требует дополнительного персонала, так как ее обслуживают операторы котельной, чего не скажешь о быстроходной турбине.

Следует подчеркнуть важность правильного выбора расчетного режима устанавливаемой турбины, так как именно здесь кроется типовая ошибка. Ни в коем случае не следует принимать за такой режим максимальную нагрузку котельной. На примере котельной завода крупнопанельного домостроения (КПД-1) Минского арендного предприятия индивидуального домостроения (ОАО «МАПИД») показан типовой для промышленных отопительных котельных график нагрузки в годовом разрезе, из которого следует, что среднегодовая нагрузка по месяцам года составляет порядка 62 % (рис. 2).

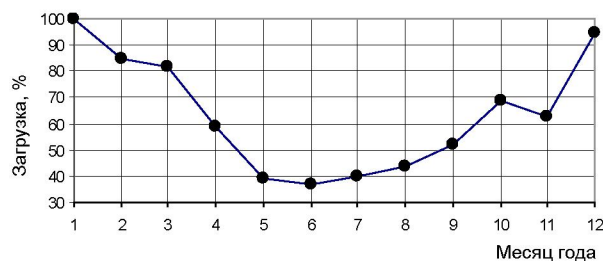


Рис. 2. График загрузки котельной завода КПД-1 ОАО «МАПИД» г. Минска в годовом разрезе

Это и должно стать основой выбора расчетного режима турбины. Если принять расчетный режим турбины по максимальной нагрузке, то при меньших нагрузках будет большой проигрыш как в мощности, так и в ее КПД. При разгрузке он падает по кубической параболе. И это без учета снижения ее КПД. На летних режимах такая турбина будет неработоспособной, так как не может выйти на холостой ход. Кроме того, на нагрузках, которые ниже расчетной, эти турбины не в состоянии обеспечить заданное давление пара, отпускаемого потребителю. Что подтверждается, например, известным просчетом ОАО «Світанак» в г. Жодино. Лучшим решением является установка двух машин. Одна работает летом в режимах, близких к номинальному, вторая находится в резерве. Зимой работают обе машины также в режимах, близких к их номинальному режиму.

ВЫВОД

Произведен сравнительный анализ быстроходных и тихоходных турбин малой мощности, показаны преимущества белорусских тихоходных турбин над зарубежными быстроходными турбинами.

ЛИТЕРАТУРА

1. О т к р ы т о е акционерное общество «Калужский турбинный завод». Паровые турбины и турбогенераторы. Номенклатурный перечень № 1. – Калуга, 2008. – С. 43.
2. С п о с о б работы турбомашины Балабановича малой мощности и устройство для его реализации (турбомашинка Балабановича малой мощности) / В. К. Балабанович [и др.] // Евразийский патент № 007359.
3. Б а л а б а н о в и ч, В. К. Методика расчета предельной величины заброса оборотов ротора турбины / В. К. Балабанович, Н. В. Пантелей, Е. А. Пантелей // Наука – образованию, производству, экономике: реф. докл. 56-й междунар. науч.-техн. конф. – Минск, 2003. – С. 1.
4. П а н т е л е й, Н. В. Основы разработки технических требований к системе управления и защиты турбин ТРБ / Н. В. Пантелей // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2007. – № 4. – С. 71–76.

Представлена кафедрой ТЭС

Поступила 03.03.2010