Исследование эффективности применения “расщепленных” котлов-утилизаторов для теплофикационных ПГУ.

При модернизации паротурбинных ТЭЦ по схеме с подачей пара из котла-утилизатора ПГУ в коллектор свежего пара требуется согласование температуры пара после КУ t0КУ с температурой газов после газовой турбины t4 и технико-экономически оправданной величиной температурного напора в пароперегревателе Δtпп.



Применение дожигания топлива во всем потоке газов перед КУ для увеличения t0КУ будет снижать тепловую экономичность ПГУ, так как приводит к росту доли мощности паротурбинного цикла и снижению преимуществ бинарного цикла.

В этом случае целесообразным является применение “расщепленного” котла утилизатора.

Одновременно применение РКУ может способствовать повышению тепловой экономичности, если ввод достаточно высокотемпературного дополнительного цикла обеспечит повышение удельной выработки электроэнергии на тепловом потреблении против величины ее на существующих ПТУ. При этом необходимо выбрать оптимальную температуру пара после основного пароперегревателя tx.

Давление пара в КУ и температуру его после дополнительного пароперегревателя будем считать заданными, так как они определяются начальными параметрами паротурбинных установок ТЭЦ.

При изменении температуры tx, будут изменяться расход пара из контура высокого давления КУ G1, мощность N1 и отпуск теплоты QТ1 на этом паре, а также подвод теплоты в дополнительном пароперегревателе Δqку.

Если исходить из единичного (1кг/с) расхода газов в КУ, то



где - теплоемкость газов на входе в КУ и после испарительной поверхности верхнего контура КУ;

- соответствующая давлению в верхнем контуре, равном примерно давлению пара P0 в коллекторе ТЭЦ, температура насыщения пара и температурный напор на “холодном” конце испарительной поверхности;

- скрытая теплота парообразования и теплоемкость пара при давлении Р0.

Электрическая мощность, обеспечиваемая на пара G1, равна



где Н0-распологаемый теплоперепад в ПТ до отбора;

ηоэ- относительный электрический КПД паровой турбины.

Если связанное с дополнительным подводом теплоты в КУ увеличение тепловой нагрузки QT1 приводит к вытеснению не отборов турбин ТЭЦ, а нагрузки котлов, то экономия теплоты топлива против раздельной схемы энергоснабжения найдется по формуле

,

где N10,QT10- электрическая мощность ПТУ и отпуск теплоты в режиме с Δqку=0.

Если ПГУ вытесняет тепловую нагрузку установленных на ТЭЦ ПТУ,



где WT – удельная выработка электроэнергии на тепловом потреблении для отборов (противодавления) установленных на ТЭЦ паровых турбин;

qтф – удельный расход теплоты топлива на теплофикационную выработку электроэнергии на ТЭЦ.

,

где ηм ηГ – элетромеханический КПД котлоагрегата ;

ηка ηтп – КПД котлоагрегата и теплового потока.

Исследования эффективности применения РКУ для значений температуры газов после газовой турбины t4=530oC и начальных параметрах пара, получаемого в КУ, Ро=9Мпа, to=500oC сведены в таблице 1.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Температура пара после основного пароперегреваетля tx, оС | 303 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| Энтальпия пара после основного пароперегревателя hx, кДж/кг | 2741,8 | 2957,5 | 3119,7 | 3257,9 | 3386,4 |
| Расход пара из КУ G1,кг/с | 17,51 | 15,151 | 13,751 | 12,747 | 11,937 |
| Мощность установки N1, кВт | 12689,5 | 10979,9 | 9965,35 | 9237,75 | 8650,74 |
| Отпуск теплоты QТ1, кВт | 22719,2 | 19658,4 | 17841,9 | 16539,2 | 15488,2 |
| Дополнительный подвод теплоты в КУ Δqку, кВт | 11286,9 | 6438,3 | 3667,4 | 1638 | 0 |
| Экономия теплоты | 6764,1  2425,5  -4082,4  -7336 | 3911,8  1409,7  -2343,5  -4220 | 2208,2  795,98  -1322,4  -2381,5 | 985,6  355  -590,9  -10664 | 0  0  0  0 |

Вычисления проводились при расходе газов после газовой турбины 100 кг/с и давлении в отопительном отборе паровой турбины РТ=0,15 Мпа. Энтальпия газов принималась при коэффициенте избытка воздуха в камере сгорания ГТУ α=3, а ηоэ=0,8.

При определении Δq’эк принято Wт=0,46 и qтф=1,2.

Расчеты показали, что не смотря на возможность при принятой температуре газов t4=530oC получать достаточно высокую температуру пара to=500oC в обычном котле-утилизаторе без дожигания топлива, применение РКУ оказывается экономически выгодным. Это объясняется приближением относительного расхода пара из КУ к оптимальному, и наибольший эффект достигается приполучении в основной части котла насыщенного пара и полном его перегреве в РКУ за счет тепла дополнительно подводимого топлива.

Экономия теплоты топлива в долях от подведенной в пароперегревателе составляет , а это значит, что применение РКУ выгодно как в случае вытеснения при дожигании топлива тепловой нагрузки котельных, так и при вытеснении отборов паровых турбин ТЭЦ.

Необходимо однако иметь в виду, что при высоких значениях удельной выработки электроэнергии на базе вытесняемой теплоты значения Δqэк будут отрицательны. Для примера в последних строках таблицы 1 приведены значения экономии топлива Δq'' эк и Δq'''эк, рассчитанных соответственно при значениях Wт=1,0 и Wт=1,5, характерных для современных теплофикационных ПГУ с паровыми турбинами с противодавлением 0,1 – 0,2 Мпа.

Как видно, вытеснять базовую нагрузку собственно теплофикационных ПГУ за счет дополнительного сжигания топлива даже в РКУ не выгодно.

Для таких установок применение РКУ может быть оправдано только регулированием температуры перегретого пара или увеличения электрической и тепловой мощности ПГУ в максимум нагрузок. Применение РКУ с такой целью представляется технико-экономически обоснованным, так как дополнительные затраты в пароперегревательные поверхности на получение единицы пиковой электрической и тепловой мощности будут существенно в 2-3 раза меньше, чем затраты, связанные с соответствующим увеличением мощности газотурбинной установки ПГУ.

В целом же, как показали проведенные исследования, применение ПГУ с РКУ при реконструкции действующих ТЭЦ является абсолютно выгодным с учетом вытеснения за счет этого как пиковой, так и базовой части тепловых нагрузок паротурбинных ТЭЦ.

Объяснить это можно тем, что подводимая в пароперегревателе РКУ теплота топлива в случае рассматриваемых ПГУ с ППТ используется с коэффициентом использования теплоты дожигаемого топлива Кит=100%, поскольку дожигание производится в среде газов без подачи дополнительного воздуха и практически (если пренебречь увеличением расхода газов на величину дополнительного расхода топлива) не приводит к увеличению потерь теплоты с уходящими газами котла-утилизатора.

Схожий эффект получается при дожигании топлива в “хвосте” котла-утилизатора, что широко используется в схемах зарубежных теплофикационных ПГУ для обеспечения пиковых тепловых нагрузок. Однако, в рассмотренном выше случае применения “расщепленного” котла-утилизатора не только достигается значение Кит≈1, но и обеспечивается увеличение электрической мощности паротурбинной установки, а следовательно, и увеличение эффекта от теплофикации против раздельной схемы энергоснабжения.

Для дополнительного подтверждения достоверности методики исследования и полученных в табл.1 данных сопоставим режимы с Δqку=0 и максимальной величиной Δqку=11286,9кВт по общему балансу теплоты.

Для приятого расхода газов ГТУ Gг=100кг/с и tух=90оС, что соответствует энтальпии уходящих газов hух=100кДж/кг, общая величина утилизируемой теплоты в обычном КУ без дожигания топлива равна



В случае применения одноконтурного котла-утилизатора и мощности паровой турбины N10=8650.7 кВт тепловая нагрузка ПГУ составит

Qт10=Qут-N10=47000-8650.7=38349.3 кВт.

При применении РКУ с максимальной величиной подведенной теплоты в пароперегревателе Δqку=11286,9кВт суммарный расход утилизируемой теплоты



На этом режиме по данным табл.1 имеем мощность паровой турбины N1=12689.5 кВт. Следовательно, отпуск теплоты составит

.

Очевидно, более выгодным будет тот режим, при котором экономия теплоты против схемы замещения будет максимальной.

В случае применения обычного котла-утилизатора величина  равна

 При применении РКУ с максимальной величиной Δqку получим

 Как видно, разность в экономии теплоты топлива

,

что с учетом погрешности вычислений практически совпадает со значением Δqэк приведенным в табл.1.

Учитывая, что на величину



будут вытеснятся отборы турбин существующей ТЭЦ со значениями Wт=0,46 и =1,3, получим

