

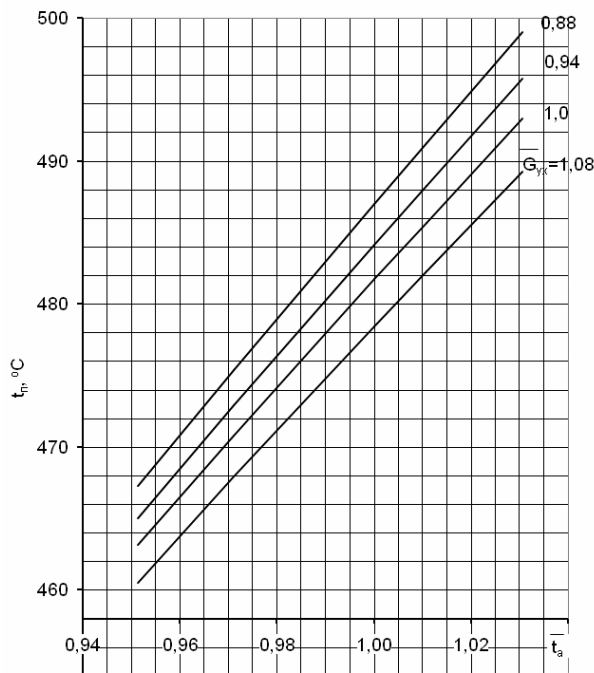
ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ КОТЛА-УТИЛИЗАТОРА ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК
НА НЕРАСЧЕТНЫХ РЕЖИМАХ

С точки зрения максимального использования потенциала топлива наиболее эффективной технологией получения тепловой и электрической энергии является парогазовая ТЭЦ. Оптимизация параметров теплофикационных ПГУ с учетом особенностей тепловой системы включает последовательный итерационный расчет тепловой схемы установки при характерных для данного региона температурах наружного воздуха и характерных режимах нагрузки; уточнение параметров оборудования и тепловой схемы по результатам расчетов с целью достижения требуемых показателей надежности и экономичности. Все это предполагает знание характеристик оборудования (газотурбинных установок, котлов-утилизаторов, паровых турбин) уже на первом этапе проектирования. В настоящей работе анализируются характеристики котла-утилизатора (такие как расход пара, температура пара), которые могут быть получены уже на стадии расчета тепловой схемы установки и использованы в алгоритме оптимизации ее параметров.

Рассматриваемая модель котла-утилизатора включает три основных поверхности нагрева: пароперегревательную, испарительную и экономайзерную. Работа котла-утилизатора на любом режиме описывается системой уравнений, включающей для каждой теплообменной поверхности уравнения теплового баланса, теплопередачи, материального баланса, соотношения, описывающие теплофизические свойства рабочих тел и критериальные зависимости для коэффициентов теплоотдачи. Созданная модель котла-утилизатора реализована в написанной программе, позволяющей определять влияние различных параметров на характеристики котла-утилизатора. При работе в составе ПГУ основными параметрами, воздействующими на характеристики котла, являются расход уходящих из ГТУ газов G_{yx} и температура газа за газовой турбиной t_a . Изменение этих параметров определяется характеристиками конкретной газотурбинной установки и программой ее регулирования. Для расчета режимов работы ПГУ удобно иметь характеристики котла утилизатора в виде зависимостей расхода пара G_n и температуры пара при выходе из котла t_n от расхода газа G_{yx} и температуры t_a при заданном давлении пара. В результате расчета определяются: температура уходящих газов t_{yx} , количество передаваемой теплоты Q , параметры, влияющие на надежность работы котла-утилизатора, например величина недогрева воды до кипения при выходе из экономайзера $\Delta t_{нед}$, а также все другие необходимые величины. Рассматриваемая модель рассчитывалась при условии постоянного давления в барабане.

На рис. 1,2 представлены основные характеристики котла-утилизатора с одним уровнем давления пара для теплофикационной парогазовой установки на базе GT13E2 фирмы Alstom, полученные по данной модели. Характеристики даны в диапазоне изменения t_a и G_{yx} , характерном для современных энергетических ГТУ при изменении температуры атмосферного воздуха от $+35^\circ\text{C}$ до -30°C и работе на номинальной для данной температуры мощности.

При расчете характеристик удобно использовать величину относительного расхода пара $d = G_n/G_{yx}$ вместо абсолютного G_n , поскольку при этом практически исключается масштаб установки, и полученные результаты могут быть распространены на целый класс котлов-утилизаторов с одинаковыми параметрами расчетного режима, но разными расходами газа. Зависимость, приведенная на рис. 1, представляет собой изменение относительного расхода пара от температуры и расхода газов. Основным фактором, определяющим изменение относительного расхода пара является температура газа при входе в котел t_a , причем эта зависимость практически линейная. Они могут быть



аппроксимированы

приближенным
уравнением:

Рис. 2. Влияние расхода и температуры газа на температуру перегретого пара

$$\bar{d} = 1,8367 \cdot \bar{t}_a - 0,8367 + 0,001 \cdot (\bar{G}_{yx} - 1).$$

Влияние расхода уходящих газов на изменение d обусловлено зависимостью от этого параметра величины минимального температурного напора и температуры пара t_n . Это влияние слабое. Данное уравнение может быть использовано также в качестве начального приближения при решении системы уравнений, описывающих режимы котла-утилизатора. Современные энергетические ГТУ, работающие в составе парогазовых установок, обычно имеют программу регулирования $t_a = const$. В этом случае, при расчете режимов котла с достаточной точностью можно считать $\bar{d} = const$ или определять его изменение по приближенному уравнению.

Температурная характеристика котла-утилизатора приведена на рис. 2. Температура газа перед котлом t_a и расход уходящих из ГТУ газов G_{yx} также влияют и на температуру пара: $t_n = f(G_{yx}, t_a) p = const$. Это влияние линейно и осуществляется в противоположных направлениях. С увеличением расхода газа через котел при постоянной температуре $t_a = const$ увеличивается расход генерируемого пара и количество теплоты, передаваемой в испарительной и перегревательной поверхностях котла, что приводит к снижению температуры пара. Увеличение температуры газа, при постоянном его расходе, влечет рост температуры пара.

Таким образом, во всем диапазоне рабочих температур под влиянием расхода и температуры газа режимные характеристики котла-утилизатора меняются линейно, либо не меняются вовсе. Данный метод позволяет также получить ограничения по режимам работы непосредственно котла-утилизатора, связанные с возможным кипением в экономайзере, перегревом пара на выходе из котла, недопустимой температурой уходящих газов и т.д.

Использованный подход может быть применен и при нахождении характеристик имеющихся котлов-утилизаторов, когда для их построения используются результаты испытаний котла на одном из режимов.