

ДОИНИКОВ Б. Д.,
кандидат технических наук

К РАСЧЕТУ ЦИРКУЛЯЦИИ ПАРОВЫХ КОТЛОВ С ДВУХСВЕТОВЫМИ ЭКРАНАМИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО И ПРОМЫШЛЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В работах [1, 2] дано подробное описание конструкций и схемы работы паровых котлов сельскохозяйственного и промышленного назначения, оснащенных двухсветовыми пространственными экранами. Особенность этих конструкций и их работа заставляют более внимательно подойти к вопросу расчета циркуляционного контура пространственных экранов, ибо от этого во многом зависит надежность и безопасность работы паровых котлов с пространственными экранами.

Двухсветовой пространственный экран обычно помещается в зоне высоких температур топочной камеры котла, поэтому в основу расчета циркуляционного контура экрана должно быть заложено влияние тепловой нагрузки топки на циркуляцию. Существующие до сего времени материалы ЦКТИ и ВТИ по расчету паровых котлов не содержат необходимых исходных данных по этому вопросу.

Одним из основных условий безопасной работы верхнего коллектора экрана является правильный выбор кратности циркуляции или скорости пароводяной эмульсии в экране [1, 2]. Как известно, двухсветовой пространственный экран имеет самостоятельный контур циркуляции. В связи с этим при проектировании необходимо обращать особое внимание на соответствие тепловой нагрузки топки и гидродинамического режима двухсветового экрана.

Известно, что количество тепла, воспринимаемое поверхностью нагрева экрана (Q_3), равно теплоте парообразования r , умноженной на паропроизводительность экрана D_3 [1, 2, 5],

$$Q_3 = r D_3. \quad (1)$$

Паропроизводительность экрана можно выразить

$$D_3 = \frac{G_3}{n}, \quad (2)$$

где G_3 — количество воды, проходящей через экран;
 n — кратность циркуляции в экране.

Подставляя выражение (2) в (1), имеем

$$Q_3 = r \frac{G_3}{n} . \quad (3)$$

В свою очередь количество тепла, передаваемое экрану,

$$Q_3 = (1 - \varepsilon) Q_p^n \gamma_{\text{т}} B, \quad (4)$$

где Q_p^n — теплота сгорания топлива;

$\gamma_{\text{т}}$ — коэффициент полезного действия топки;

ε — видимый коэффициент излучения топки;

B — часовой расход топлива.

Подставляя выражение (4) в (3), находим значение кратности циркуляции

$$n = \frac{r G_3}{(1 - \varepsilon) Q_p^n \gamma_{\text{т}} B} . \quad (5)$$

Вследствие того, что $(1 - \varepsilon) Q_p^n \gamma_{\text{т}} B = Q_{\text{л}}$,

где $Q_{\text{л}}$ — количество тепла, передаваемое лученосителем, то выражение (5) примет вид.

$$n = \frac{r \cdot G_3}{Q_{\text{л}}} . \quad (6)$$

Помножим и разделим выражение (6) на поверхность нагрева экрана F_3 и так как $\frac{Q_{\text{л}}}{F_3} = q_3$, то уравнение (6) преобразуется в следующее:

$$q_3 = \frac{r G_3}{n F_3} , \quad (7)$$

где q_3 — тепловая нагрузка экрана.

Уравнение (7) устанавливает связь между тепловой нагрузкой двухсветового экрана и кратностью циркуляции в нем. Из данного выражения видно, что тепловая нагрузка обратно пропорциональна кратности циркуляции.

Проведем некоторый анализ выражения (7) для различных паровых котлов. Так, например, для прямоточных паровых котлов, где кратность циркуляции равна единице, q_3 точно соответствует количеству тепла, воспринимаемому поверхностями нагрева. Если же взять водогрейные котлы, то для них теплота парообразования равна нулю и уравнение (7) тоже равно нулю и как бы теряет смысл. Данный случай является крайним или особым случаем. В водогрейных котлах, где нет парообразования, гравитационный напор, являющийся в данном случае основ-

ным, обеспечивает необходимую кратность циркуляции воды. Указанная кратность циркуляции обеспечивается не за счет теплоты парообразования, а за счет разности удельных весов. В данном случае расчет циркуляции не может быть произведен за счет напора, создаваемого разностью удельных весов (пароводяной эмульсии и питательной воды). Поэтому в уравнении (7) вместо теплоты парообразования следует понимать теплосодержание либо воды (для водогрейных котлов), либо произведение теплоемкости на разность температур. Следует также отметить, что внимательное изучение уравнения (7) приводит к некоторой неопределенности. Действительно, при наличии большой кратности циркуляции из уравнения (7) получаем, что тепловая нагрузка экрана должна быть незначительной, а это неправдоподобно. Как известно, наиболее обогреваемый контур котла является источником теплового движения в котле или циркуляции (что соответствует второму закону термодинамики). По-видимому, наличие указанного несоответствия между тепловой нагрузкой и кратностью циркуляции в уравнении (7) послужило причиной, в результате которой при существующей методике расчета циркуляционных контуров паровых котлов совершенно не учитывается кратность циркуляции. Постараемся исправить этот недостаток.

Исходное уравнение (3), а следовательно, и (7) являются калориметрическими и не отражают физические особенности процесса, поэтому уравнение (7) должно быть конкретизировано. Вследствие того, что количество тепловой энергии, воспринимаемое двухсветовым экраном, должно лимитировать потери энергии на сопротивления, уравнению (7) можно придать следующий вид:

$$\gamma_3 q_3 = AhG_3, \quad (8)$$

где γ_3 — коэффициент полезного действия экрана;
 A — термический эквивалент работы;
 h — создаваемый напор, m .

Коэффициент полезного действия экрана может быть определен из следующего известного выражения:

$$\gamma_3 = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}, \quad (9)$$

где

$$Q_1 = (i_1 - i_2) G_3, \quad (10)$$

Здесь i_1 — теплосодержание паропроводящей эмульсии на выходе из двухсветового экрана;
 i_2 — теплосодержание воды на входе в экран (или i_B).

Вследствие того, что

$$Q_1 - Q_2 = Q_{гр}, \quad (11)$$

$$Q_2 = Q_1 - Q_{гр}. \quad (12)$$

Подставляя значение выражений (11) и (12) в выражение (9), получим:

$$\tau_{гэ} = \frac{Q_{гр}}{Q_1}. \quad (13)$$

Как известно,

$$Q_{гр} = AhG_э. \quad (14)$$

Ниже будет доказано, что величина напора равна выражению

$$h = \frac{H_p}{n}, \quad (15)$$

где H_p — высота от уровня воды в барабане котла до точки закипания в двухсветовом экране.

С учетом выражений (14) и (15) отношение (13) примет следующий вид:

$$\tau_{гэ} = \frac{H_p AG_э}{nQ_1}. \quad (16)$$

Теплосодержание пароводяной эмульсии определяется из соотношения:

$$i_1 = \frac{i_n}{n} + \frac{n-1}{n} i_b. \quad (17)$$

С учетом выражений (10) и (17) после преобразований уравнение (16) примет следующий вид:

$$\tau_{гэ} = \frac{AH_p}{i_n - i_b}. \quad (18)$$

Решая совместно уравнения (7) и (8), имеем:

$$h = \frac{rh_э}{AnF_э}. \quad (19)$$

или с учетом выражения (18)

$$h = \frac{rH_p}{(i_n - i_b)nF_э}. \quad (20)$$

С другой стороны,

$$h = \Sigma h_{\text{пот}} = \Sigma h_{\text{тр}} + \Sigma h_{\text{м.с.}}, \quad (21)$$

где $\Sigma h_{\text{пот}}$ — общие потери, включающие в себя потери на трение $\Sigma h_{\text{тр}}$ и местные сопротивления ($\Sigma h_{\text{м.с.}}$) как для водяной части циркуляционного контура, так и контура прохождения пароводяной эмульсии.

Решая совместно выражения (20) и (21), имеем:

$$\Sigma h_{\text{пот}} = \frac{rH_p}{(i_n - i_v) n F_3}. \quad (22)$$

Уравнение (22) позволяет произвести гидродинамический расчет циркуляционного контура двухсветового пространственного экрана. Расчет циркуляционного контура экрана можно вести двумя путями. Можно предварительно задаться кратностью циркуляции и из уравнения (22) определить величину потерь контура. Если же в уравнении (22) задаться суммарным сопротивлением потерь $\Sigma h_{\text{пот}}$, то можно определить кратность циркуляции.

Однако при проектировании циркуляционного контура использование уравнения (22) может вызвать некоторые осложнения, так как определение границы начала парообразования в пространственном экране несколько затруднительно. Поэтому применение уравнения (22) сводится к расчету методом последовательного приближения. Можно расчет циркуляционного контура вести иным способом, если ввести некоторый фактор, дающий возможность исключить кратность циркуляции, но характеризующий надежность работы циркуляционного контура. При этом, если располагаемый напор, подсчитанный по разности удельных весов воды и пароводяной эмульсии и расчетной высоты, окажется больше выбранного фактора, то система циркуляции окажется надежной. С целью выбора указанного фактора поступаем следующим образом.

Известно, что кратность циркуляции входит в качестве расчетной величины в гидродинамическое уравнение расчета циркуляции

$$G_{\text{эм}} = G_{\text{в}} n + D_3 (1 - n), \quad (23)$$

где $G_{\text{эм}}$ — вес пароводяной эмульсии;

$G_{\text{в}}$ — вес воды.

После соответствующих преобразований

$$\gamma_{\text{эм}} = \frac{\gamma_n}{n} + \gamma_{\text{в}} \left(1 - \frac{1}{n} \right), \quad (24)$$

где соответственно

$\gamma_{эм}$; $\gamma_{п}$; $\gamma_{в}$ — удельный вес пароводяной эмульсии, пара и воды.

В свою очередь напор можно определить из выражения:

$$\Delta p = H_p (\gamma_{в} - \gamma_{см}). \quad (25)$$

Подставляя выражение (24) в (25) и пренебрегая величиной $\frac{\gamma_{п}}{n}$, поскольку в паровых котлах малой мощности и низкого давления удельный вес пара значительно меньше по сравнению с удельным весом воды, имеем

$$\Delta p \approx \frac{H_p \gamma_{в}}{n} \quad (26)$$

или

$$h \approx \frac{H_p}{n}. \quad (27)$$

Из выражений (27) и (19) видно, что создаваемый напор h , полученный по уравнению (27), должен быть больше, чем определенный по выражению (19), ибо только в этом случае циркуляция в контуре двухсветового пространственного экрана будет безопасной.

Решая совместно уравнения (27) и (19), приходим к неравенству:

$$H'_p < \frac{r h_3}{AF_3}. \quad (28)$$

Полученное уравнение (28) является основным при оценке надежности работы циркуляционного контура, причем кратность циркуляции в нем отсутствует. Практически при расчете циркуляционного контура следует поступать следующим образом. Если принять H'_p за высоту от середины пространственного экрана до уровня поверхности воды в барабане парового котла и сопоставить эту величину с результатом, полученным по выражению (28), то если эта высота окажется меньше, чем по выражению (28), система циркуляции будет работать надежно.

Спроектированные по предлагаемой методике расчета циркуляции циркуляционные контуры пространственных экранов в условиях производства работают надежно и безаварийно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дойников Б. Д. Исследование теплообменных процессов и водного режима паровых котлов малой мощности. Минск, РИО БПИ, 1961.
2. Дойников Б. Д. Докторская диссертация. БИМСХ, 1964.
3. Михеев А. М. Основы теплопередачи. Госэнергоиздат, 1956.
4. Стырикович М. А., Катковская К. Я., Серов Е. П. Котельные агрегаты. Госэнергоиздат, 1959.
5. Труды КИИ. Куйбышев, 1957.
6. Смирнов В. П. Котельные установки. Госэнергоиздат, 1959.