

ЖЫЛУ ФИЗИКАСЫ ЖӘНЕ ТЕОРИЯЛЫҚ ЖЫЛУ ТЕХНИКАСЫ ТЕПЛОФИЗИКА И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА

УДК 621.165

В.Л.Исаев, А.Р.Алибекова

*Карагандинский государственный технический университет
(E-mail: asem.alibekova@bk.ru)*

Повышение теплоотдачи конвективной поверхности котла

Статья посвящена изучению теплоотдачи в котлах. Было отмечено, что на теплоотдачу влияет образование накипи в трубах. Рассмотрены общие характеристики и параметры теплоотдачи конвективной поверхности котлов. Выделены пути интенсификации теплоотдачи в котлах. Особое внимание авторами обращено на повышение теплоотдачи путем оребрения труб.

Ключевые слова: теплоотдача, котел, теплопередача, термическое сопротивление, оребрение.

В энергетике химической, нефтехимической, металлургической, нефтеперерабатывающей и других отраслей промышленности широко используются традиционные кожухотрубные, змеевиковые, спиральновитые, пластинчатые и другие типы теплообменных устройств для жидких и газообразных сред.

Теплообменные устройства служат для подогрева дымовыми газами, паром (водой) сетевой воды, используемой для отопления, вентиляции, горячего водоснабжения потребителей, воздуха и подпиточной воды котлов. При их проектировании и разработке режимов эксплуатации приходится выполнять сложные расчеты по определению тепловой или экономической эффективности теплообменников. Известно, что при прямоточных и оборотных системах охлаждения (нагрева) на внутренних поверхностях труб образуются отложения солей накипи и продуктов коррозии, что приводит к снижению производительности аппаратов на 30–40 % и уменьшению их тепловой эффективности.

По температурной зоне образования отложения подразделяются на отложения на низкотемпературных и на высокотемпературных поверхностях нагрева. Первые формируются в зоне умеренных и низких температур дымовых газов на поверхностях нагрева, имеющих сравнительно низкую температуру стенки (экономайзеры и «холодный» конец воздухоподогревателя). Вторые образуются в зоне высоких температур стенки топочной камеры, на экономайзерах котлов с высокими параметрами пара, пароперегревателях, горячем конце воздухоподогревателя.

По характеру связи частиц и механической прочности слоя отложения подразделяются на сыпучие, связанные рыхлые, связанные прочные и сплавленные (шлаковые).

По минеральному и химическому составам различают щелочно-связанные, фосфатные, алюмосиликатные, сульфитные и отложения с большим содержанием железа. В зависимости от места нахождения по периметру омываемой газовым потоком трубы отложения делятся на лобовые, тыльные и отложения в зонах минимальной толщины пограничного слоя [1].

Поверхности нагрева работающего котла покрываются со стороны газов горения шлаком, золой и сажой. Твердые осадки из уходящих газов на поверхностях нагрева называются внешними загрязнениями, а отложения, скапливающиеся на поверхностях нагрева, — внешними отложениями. По стороне пара и воды возможно покрытие внутренней поверхности труб накипью, котловой грязью и водорастворимыми солями. В этом случае имеем дело с внутренними загрязнениями и внутренними отложениями.

Как внешние, так и внутренние отложения уменьшают коэффициент теплопередачи поверхностей теплообмена. Из-за отложений происходит меньшее охлаждение уходящих газов горения и, таким образом, уменьшаются КПД и тепловая мощность котла. Внешние загрязнения забивают газовый тракт котла и увеличивают его аэродинамическое сопротивление, из-за чего увеличивается расход электроэнергии дымососами.

Наиболее интенсивным внешнее загрязнение бывает при сжигании твердого топлива, при сжигании жидкого топлива — менее интенсивным, и еще меньшая интенсивность наблюдается при сжигании газообразного топлива.

Внешние загрязнения могут быть рыхлыми и находиться на поверхностях нагрева внасыпную, не связанными, а могут быть твердыми и быть сильно связанными с поверхностью нагрева. Между этими двумя крайними формами отложений существует множество промежуточных состояний. Какие отложения образуются на поверхностях нагрева (трубах), зависит от:

- вида сжигаемого топлива, особенно от состава его минеральной части;
- метода сжигания;
- температуры газов горения и поверхности нагрева;
- скорости газов горения;
- способа и частоты очистки поверхностей нагрева.

Если с внутренними загрязнениями в настоящее время умеют достаточно успешно справляться, то образование внешних отложений неизбежно и котлы следует оборудовать обдувочными аппаратами.

Эрозионный (механический) износ наружных поверхностей труб конвективной поверхности происходит из-за истирания труб абразивной золой. Интенсивность износа зависит от скорости дымовых газов, концентрации и абразивности содержащихся в них частиц топлива и пылезолоуноса, что приводит к снижению теплоотдачи конвективной поверхности.

Современные аспекты котлостроения предусматривают повышение теплоотдачи теплообменных поверхностей, в частности, конвективных поверхностей котла [2].

Теплота сгорания, образующаяся в результате горения топлива, переносится от продуктов сгорания через металлические поверхности нагрева (стенка трубы) к воде, пароводяной смеси и предварительно подогреваемому воздуху. Теплообмен на внешней и внутренней стороне поверхностей нагрева происходит посредством теплопроводности, конвекции и излучения. Эти процессы происходят одновременно. От продуктов горения теплота переносится на внешнюю поверхность нагрева излучением и конвекцией (теплоотдачей). Через материал поверхности нагрева (металл), а также через слои внешних и внутренних отложений теплота передается теплопроводностью. С внутренней поверхности трубы тепло передается воде, пару или воздуху конвекцией или теплоотдачей.

При движении газов горения (уходящих) от топки по направлению к дымовой трубе соотношение передаваемой лучистой теплоты и теплоты, передаваемой конвекцией, меняется. В топке доля лучистой теплоты составляет около 90 %.

В конвективных поверхностях нагрева большая часть тепла от дымовых газов переносится путем конвекции. В расчетах следует учитывать и относительно малое количество лучистой теплоты. Удельный тепловой поток q от дымовых газов к теплоносителю, движущемуся внутри трубы, пропорционален температурному напору $t_1 - t_2$ [3]:

$$q = k (t_1 - t_2), \text{ W/m}^2, \quad (1)$$

где k — коэффициент теплопередачи, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

$$k = 1 / (1/\alpha_1 + \delta_{s,sad}/\lambda_{s,sad} + \delta_m/\lambda_m + \delta_{v,sad}/\lambda_{v,sad} + 1/\alpha_2), \quad (2)$$

где α_1 и α_2 — коэффициенты теплоотдачи от дымовых газов к внешней поверхности нагрева и от внутренней поверхности нагрева к нагреваемой среде (воде, пару, воздуху), $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; $\delta_{s,sad}$, δ_m , $\delta_{v,sad}$ — толщина внешних загрязнений, стенки поверхности нагрева (трубы), внутренних загрязнений, м; $\lambda_{s,sad}$, λ_m , $\lambda_{v,sad}$ — коэффициенты теплопроводности, $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$; t_1 — средняя температура газа в рассматриваемой части, °С; t_2 — средняя температура нагреваемой среды в рассматриваемой части поверхности нагрева, °С.

При нормальной эксплуатации котлов толщина накипи и других внутренних отложений не должна быть такой, чтобы значительно влиять на теплоотдачу, поэтому термические сопротивления внутренних отложений $\delta_{s,sad}/\lambda_{s,sad}$ принимают равными нулю (в отдельных случаях, если их толщина значительна, при расчете их следует учитывать).

При толщине труб (0,002...0,004 мм) и высокой теплопроводности металла термическое сопротивление δ_m/λ_m — тоже малая величина и ею можно пренебречь.

В некоторых случаях внутренний коэффициент теплоотдачи (от стенки к теплоносителю) настолько велик, что термическим сопротивлением $1/\alpha_2$ тоже можно пренебречь (например, если теплоноситель — вода, или в трубе происходит парообразование).

Термическое сопротивление внешних загрязнений $\delta_{v.sad}/\lambda_{v.sad}$ существенно уменьшает коэффициент теплопередачи k , и его учитывают или коэффициентом загрязнения $\varepsilon = \delta_{v.sad}/\lambda_{v.sad}$, или коэффициентом эффективности поверхности нагрева $\psi = k_{saast}/k$, где k_{saast} и k — коэффициенты теплопередачи загрязненной и чистой поверхности нагрева [3].

Как следует из приведенного выше, у каждой поверхности нагрева есть свои особенности, которые необходимо учитывать при расчете теплообмена. При этом возможно делать одни или другие упрощения. Поэтому для каждой конвективной поверхности теплообмена необходимо выводить индивидуальные формулы расчета коэффициента теплопередачи k .

Возможности интенсификации теплоотдачи в котлах в топке позволяют увеличить количество передаваемого тепла на единицу поверхности нагрева за счет увеличения температуры пламени и уменьшения внешних загрязнений поверхностей нагрева в топке. Увеличить температуру в топке можно путем предварительного подогрева воздуха и увеличения температуры уходящих газов [1].

Поднять температуру пламени можно уменьшением присосов в котле, оптимизацией коэффициента избытка воздуха и теплопотерь от химического и механического недожога в топке. Поскольку коэффициент избытка воздуха и теплопотери от химического и механического недожога зависят друг от друга, то в топке следует поддерживать оптимальное значение коэффициента избытка воздуха. Коэффициент теплопередачи конвективного теплообмена пропорционален увеличению скорости газов горения в 0,6...0,8 степени. Поэтому увеличить теплоотдачу в конвективных поверхностях нагрева можно увеличением скорости уходящих газов.

С увеличением скорости уходящих газов и пылезолоуноса увеличивается аэродинамическое сопротивление газового тракта (аэродинамическое сопротивление растет пропорционально квадрату скорости газов), что увеличивает расход электроэнергии на работу дымососов. Увеличение скорости газов горения приводит к интенсификации абразивного износа поверхностей нагрева.

Уменьшение диаметра труб поверхностей нагрева увеличивает конвективный коэффициент теплоотдачи — (зависимость коэффициента теплоотдачи обратно пропорциональна диаметру трубы в степени 0,4...0,2).

Поскольку теплоотдача со стороны газов гораздо меньше, чем по стороне воды, то очень важно улучшить условия теплоотдачи именно по газовой стороне.

Количество теплоты, воспринимаемое поверхностью нагрева в единицу времени:

$$Q = \alpha_1(t_1 - t_p)A, \quad (3)$$

где t_p — температура поверхности, °С; t_1 — температура газов, °С; A — площадь тепловоспринимающей поверхности нагрева, м².

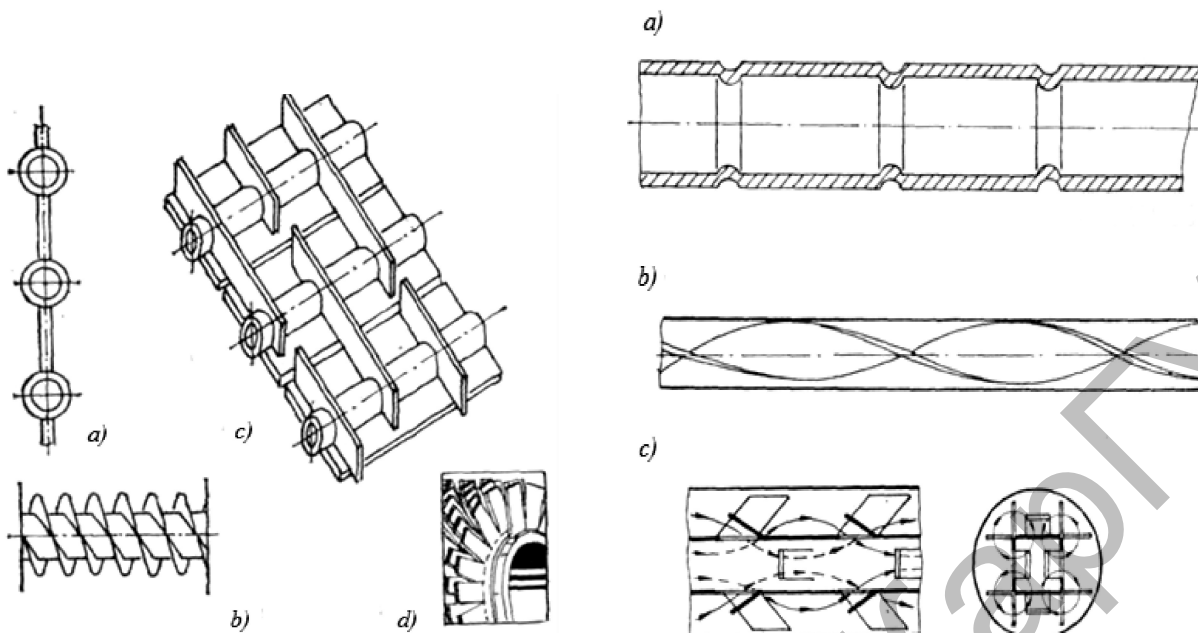
Поскольку помимо коэффициента теплоотдачи α_1 и температурного напора $t_1 - t_p$ на количество теплоты влияет ещё площадь поверхности нагрева, одним из мероприятий по увеличению теплоотдачи по газовой стороне является увеличение площади поверхности нагрева путем оребрения труб [3]. В настоящее время оребрение труб в поверхностях нагрева по газовой стороне применяется довольно широко.

В случае жаротрубных котлов, когда газы движутся внутри труб, для увеличения теплоотдачи находят применение различные завихрители и турбулизаторы газового потока [1].

Оребрение трубных элементов теплообменников широко распространено в промышленности и имеет много конструктивных решений и технологических способов. Например, оребрение, выполненное набором ребристых элементов на трубе и дальнейшее их соединение сваркой, пайкой либо насадкой под натягом; поперечно-винтовое, выполненное прокаткой или навивкой ленты с различными методами ее закрепления на трубе [1].

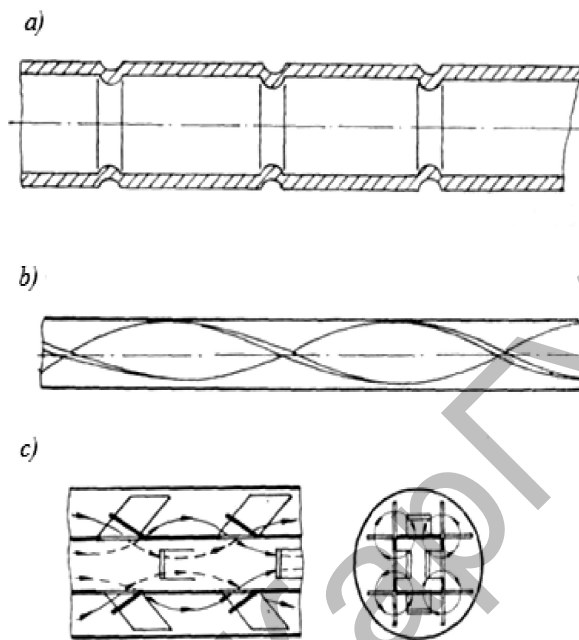
Преимущества оребренной поверхности нагрева перед гладкотрубными:

- коэффициент теплопередачи увеличивается до 50 %;
- расход труб сокращается до 50 %;
- общий вес теплообменников снижается на 30–40 %;
- ресурс работы поверхности нагрева увеличивается в 2–3 раза.



- a* — мембранная поверхность нагрева;
b — спиральное оребрение;
c — плавниковое оребрение;
d — спиральное оребрение с вырезами

Рисунок 1. Виды оребрений труб



- a* — кольцевые диафрагмы; *b* — завихрители, изготовленные из изогнутой жестяной спирали; *c* — изогнутые с вырезами жестяные завихрители; *d* — прямые жестяные завихрители

Рисунок 2. Турбулизаторы газового потока в жаровых трубах

Выводы

1. Широкое распространение в промышленности получили трубчатые, конвективные теплообменники.
2. Основными задачами проектировщиков при проектировании конвективных теплообменников являются повышение теплоотдачи конвективной наружной поверхности труб, снижение абразивного износа их поверхности и отложений на внутренней поверхности трубы.
3. Одним из способов увеличения теплоотдачи конвективной поверхности является оребрение этих поверхностей.

Список литературы

- 1 Кузнецов Н.В., Щербаков А.З. Загрязнение золой поверхностей нагрева // Теплоэнергетика. — 1954. — № 1. — С. 33.
- 2 Исаев В.Л., Деметьев Д.В. Современные аспекты котлостроения // Наука и образование — ведущий фактор стратегии Казахстан–2030. Сагиновские чтения: Тр. междунар. науч. конф. — 2010. — № 3. — С. 58–60.
- 3 Темирбаев Д.Ж. Тепломассообмен: Учеб. пособие для вузов. — Алматы: TST-company, 2009. — 251 с.

В.Л.Исаев, А.Р.Әлибекова

Қазандықтың конвекциялық бетінің жылу бөлінуінің жоғарлауы

Мақала қазандықтан жылу бөліну және оны жоғарлату жолдарына арналған. Жылу берудің арнайы құбырларындағы қаттамашықтарының жиналуының айрықша әсер етуі тексерілуден өткен. Қазандықтың жылу беру конвекциялық бетінің ортақ сипаттамасы және параметрлері қарастырылған. Қазандықтың қарқындыруларының жылу беру жолдары белгіленген. Жылу бөлірудің жоғарлауы құбырлардағы қабырғалары себебінен екендігіне айрықша көңіл бөлінген.

V.L.Isaev, A.R.Alibekova

Increase heat transfer convective surfaces of boiler

The paper is concerned with to the study of heat transfer in boilers, and as ways to increase them. Was studied that heat transfer that particularly affects the formation of scale in pipes. The article deals with the general features of the convective heat transfer surfaces of the boiler. It is reported that ways of intensifying heat boilers. Much attention is given to improving the heat transfer through the finned tubes.

References

- 1 Kuznetsov N.V., Shcherbakov A.Z. *Teploenergetika [Heat Power Engineering]*, 1954, 1, p. 33.
- 2 Isaev V.L., Dement'ev D.V. *Nauka i obrazovanie — veduschiy factor strategii Kazakhstan–2030. Saginovskie chteniya [Science and Education — a leading factor in the strategy Kazakhstan–2030. Saginov's readings]*, Int. Conf. Proc., 2010, 3, p. 58–60.
- 3 Temirbaev D.Zh. *Heatmasstransfer: Tutorial for university*, Almaty: TST-company, 2009, 251 p.

Сведения об авторах

Исаев В.Л. — доцент, PhD, Карагандинский государственный технический университет.
Алибекова А.Р. — магистрант, Карагандинский государственный технический университет.

Information about authors

Isaev V.L. — Associate Professor, PhD, Karaganda State Technical University.
Alibekova A.R. — Undergraduate, Karaganda State Technical University.