

Выводы

1) при увеличении коэффициента теплофикации ухудшаются показатели теплофикационной выработки электроэнергии на ПГУ-ТЭЦ из-за роста температуры сетевой воды на выходе из сетевой установки турбины с соответствующим увеличением параметров теплофикационного пара и недовыработкой электрической мощности паротурбинной установкой. При увеличении $a_{\text{ТЭЦ}}$ от 0,25 до 1,0 электрическая мощность ПТУ снижается от 60,4 до 34,23 (на 43,3 %), удельный расход условного топлива повышается от 0,182 до 0,196 (на 7,7%). При этом число часов использования максимума тепловой нагрузки ПТУ падает от 5500 до 2577;

2) не зависимо от $a_{\text{ТЭЦ}}$ комбинированная выработка на ПГУ-ТЭЦ наиболее экономична по сравнению с отдельной. Экономия топлива в энергосистеме составляет от 5 до 35 % при разных значениях удельного расхода условного топлива на замещающих КЭС;

3) оптимальное значение $a_{\text{ТЭЦ}}$ зависит от тепловой экономичности замещающей КЭС. С ростом удельного расхода условного топлива на замещающей КЭС оптимальное значение $a_{\text{ТЭЦ}}$ повышается;

4) для варианта высоко-экономичной ПГУ-КЭС оптимальное значение $a_{\text{ТЭЦ}}$ составляет 0,25. Для вариантов замещающей КЭС с удельным расходом условного топлива (0,270–0,340) кг у.т./кВтч оптимальное решение лежит в диапазоне (0,4–0,63).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Трухний А.Д. Парогазовые установки электростанций: учеб. пособие для вузов. – М.: Издательский дом МЭИ. – 2013.
2. Бекмансуров А.В. Анализ возможных путей расширения Томской ТЭЦ-3 // магистерская диссертация. – Томск, 2020. –155 с.

Научный руководитель: к.т.н. О.Ю. Ромашова, доцент НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ ТПУ.

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА СКОПЛЕНИЯ НАКИПИ НА ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЯХ ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ, ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ АГРЕГАТОВ

Д. Супуева

Томский политехнический университет
ИШЭ, НОЦ И.Н. Бутакова, группа 5Б95

Вместе с ростом населения и улучшением уровня жизни развивается коммунально-бытовой сектор, что ведет за собой повышение спроса на теплоэнергию. Стабильное обеспечение населения теплом – одно из важнейших условий поддержания жизнедеятельности человека в бытовых условиях.

Одной из первостепенных задач в системе теплопотребления является получение качественно очищенной воды. Всем известно, что люди на 80 % состоят из воды и при несоответствии необходимым критериям не смогут полноценно существовать, так и системы теплоснабжения не смогут долгое время прослужить при её плохом качестве. Неудовлетворительная химическая обработка и несвоевременное очищение теплового оборудования снижают производительность агрегатов на 50 %.

На теплоэнергетических объектах применяется горячая вода, которая нагревается в энергосистемах. Системы горячего водоснабжения подпитывают водой из водопроводов или из природных источников, это делается с целью возмещения потерь воды, сопряженных с ее бытовым и производственным использованием [1]. При неправильной обработке воды растворенные в ней примеси активно выпадают в твердую фазу и формируют внутритрубные отложения (или более привычно – накипь).

В зависимости от состава отложения делят на несколько групп [2]:

1. Отложения соединений меди. В состав элементов насосов входит медь, которая в результате коррозии проявляется в питательной воде в виде оксидов меди. Отложение меди происходит на участках с тепловыми потоками при процессе дистилляции. При существенной разности потенциалов и контакте с железом ионы меди восстанавливаются до чистой меди.

2. Щелочноземельные отложения. С добавочной водой в состав питательной попадают соединения магния и кальция. При превышении концентрации Ca^{2+} и анионов растворимости происходит быстрое отложение соединений кальция. Существует два вида щелочноземельных отложений: карбонатная (CaCO_3 – более 50 %) и гипсовая (CaSO_4 – до 50 %), при этом характер отложений карбонатных: от аморфного порошка до котельного камня, а гипсовые оседают в виде твердых, плотных частиц.

3. Железооксидные отложения. Продукты коррозии железа также входят в состав отложений и составляют более 90 %. Доля железооксидных отложений растет по мере улучшения системы водоподготовки и увеличения давления. Основой отложений является преобразующийся в питательной воде магнетит Fe_3O_4 . Большая часть оксидов находится в дисперсном состоянии, так как из-за роста температуры снижается растворимость.

4. Отложение быстрорастворимых соединений. В питательной воде после умягчения подпиточной воды по средству Na-катионирования присутствуют соединения натрия. На поверхностях нагрева при химическом воздействии и адсорбции соединения натрия входят в состав отложений.

5. Алюминиевые отложения. В составе данного вида отложений преобладает свободная SiO_2 . Содержание в составе накипи SiO_2 составляет более 25 %, находятся в виде твердых частиц. При эксплуатации аппаратов концентрации кремниевой кислоты изменяются в пределах: 10 – 1000 мкг/кг. В результате повышения показателей давления SiO_2 вступает в химические реакции с оксидами (оксиды железа вступают в реакцию, образуя при этом ферросиликаты) [2].

Образование отложений происходит при насыщении котловой воды роггизитовыми примесями. Соли жесткости в виде кристаллов выпадают в нижние слои. Центрами кристаллизации являются шероховатости на поверхности нагрева. Как правило, является плотной и трудно удаляемой. Толщина слоя может достигать вплоть до 10 мм, ощутимо уменьшая проходное сечение.

По мере роста толщины слоя образований, температура начинает значительно превышать критические показатели прочности и предела текучести металлов труб. При этом образуются следующие механические повреждения: а) с щелевидными сквозными пробоями вдоль поверхности труб, через которые с высокой скоростью начинает просачиваться поток воды; б) с образованием локальной деформации трубы в виде вздутия стенок.

Накипи присущи низкие показатели коэффициента теплопроводности, что оказывает непосредственное влияние на теплообменные процессы. Согласно данному обстоятельству, тонкая прослойка отложений приводит к росту температуры. Отложения накипи также являются недопустимыми в водогрейных котлах и экономайзерах, однако само увеличение температуры вдоль поверхности труб никак не влияет на безопасность работы, но производительность тепловых аппаратов уменьшается, кроме того, падает мощность в результате значительного снижения коэффициента теплопередачи и связанного с этим повышением температуры выходящих газов [4].

При проектировании систем теплоснабжения, выполняют гидравлический и тепловой расчеты, которые позволяют также рассчитать экономическую стоимость проекта. В результате проведенных анализов производится выбор основного и вспомогательного оборудования для систем теплоснабжения. Необходимость предусмотреть качество и жесткость воды, является важным фактором при проведении таких расчетов [3].

Для определения воздействия отложений на теплопередачу, применяют одно из основных выражений:

$$k_f = \frac{1}{\frac{S_a}{S_i a_i} + \frac{S_a}{S_i} R_{\mu} + \frac{S_o \ln\left(\frac{d_o}{d_i}\right)}{2\pi\lambda L} + R_{\rho} + \frac{1}{a_o}}, \quad (1)$$

где λ – теплопроводность стали; d_i и d_o – внутренний и внешний диаметры поверхности теплогенераторов, м; a_o , a_i – коэффициенты теплоотдачи теплоносителя и газа; R_{ρ} , R_{μ} – тепловое сопротивление отложений со стороны теплоносителя и продуктов сгорания, К/Вт; S_i , S_a – площади поверхностей нагрева продуктов горения и теплоносителя, м² [2,4].

Из (1) следует, что термические сопротивления отложений на наружных и внутренних поверхностях зависят от теплопроводности и толщины отложений, при этом снижение коэффициента теплопередачи вносит избыточное термическое сопротивление.

Далее рассмотрим выражение, позволяющее найти скорость образования отложений A [5]:

$$A_i = k \cdot C_i \cdot q^n, \quad (2)$$

где k – коэффициент пропорциональности; C_i – концентрация примеси, мг/дм³; q – тепловой поток, Вт/м²; показатель n зависит от химического состава отложений и варьируется от 1 до 3.

Для анализа зависимости (2) были смоделированы топочные процессы в испарительных элементах энергообъекта [5]. Были получены значения тепловых потоков в пристеночной зоне по всей высоте труб. Значения тепловых потоков представлены в таблице 1.

В результате полученных данных были построены графики тепловых потоков в испарительных элементах, которые представлены на рисунке 1.

На рисунке 2 изображены графики скорости отложений продуктов коррозии железа, построенные по данным таблицы 1 с учетом выражения (2).

Таблица 1. Тепловые потоки q (кВт/м²) [5]

Труба	№1	№2	№3	№4	№5	№6
X, м	0,0960	0,4808	1,3256	1,536	2,1704	2,3816
Y, м						
0,1	847	849	827	810	734	702
1,1	739	784	823	815	749	718
1,5	695	751	817	813	756	726
1,8	656	717	802	802	754	726
2,2	608	670	765	767	728	701
2,4	568	628	723	727	692	667
2,6	535	593	686	690	659	635
2,8	490	544	632	637	611	590
3,1	439	489	570	575	555	536
3,3	387	432	506	513	498	483
3,5	334	375	445	452	444	432
3,7	283	321	389	397	395	385
3,9	228	262	331	340	345	338
4,3	156	186	263	274	287	284
4,6	104	129	211	224	243	242
4,9	78	97	174	187	208	209
5,3	69	84	150	162	182	184
5,4	67	81	141	153	173	175

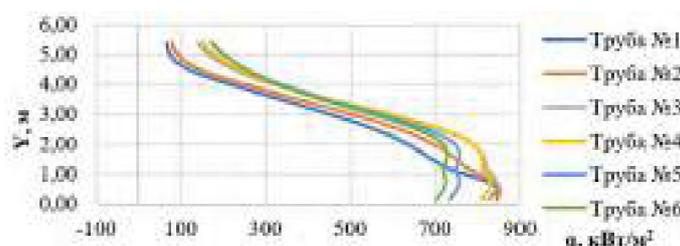


Рис. 1. График тепловых потоков в испарительных элементах

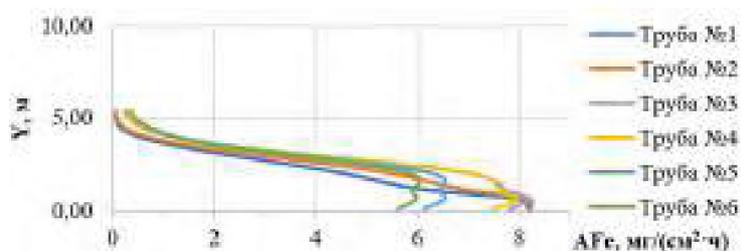


Рис. 2. График скоростей образования отложений продуктов коррозии железа в испарительных элементах

Благодаря данным расчетам, предполагается прогнозировать время работы энергетического оборудования до образования критического количества отложений различных примесей. Результаты данного исследования позволят прогнозировать нештатные ситуации и аварийные риски, связанные именно с повреждением труб экранных поверхностей нагрева.

В результате проделанного анализа выяснилось, что коррозионная прослойка и отложения влияют на надежность, эффективность и функциональность теплообменных аппаратов и трубопроводов, увеличивая потребление горючего топлива и др.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Галковский В.А., Анализ снижения коэффициента теплопередачи теплообменных аппаратов вследствие загрязнения поверхности / В.А. Галковский, М.В. Чупова // Интернет журнал «Науковедение» – 2017. – Том 8, № 2. – С 61.
2. Терембилов С.В., Образование отложений накипи на поверхностях нагрева в жаротрубных котлах / С.В. Терембилов, А.Г. Михайлов, Е.Н. Слободина, А.В. Васильев // Омский научный вестник – 2017. – № 3. – С 74.
3. Верховинский И.Л., Использование магнитного преобразователя накипи для повышения эффективности работы котлоагрегатов / И.Л. Верховинский, Н.Д. Накардидзе, Е.А. Кривобок // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки – 2014. – № 5. – С 27.
4. Kakac S. Heat exchangers: selection, rating and thermal design. Taylor Francis Inc, Unated States. – 2012. – 491p.
5. Evaluation of scale formation in waterwall heated surfaces / T.S. Taylasheva [et al.] // MATEC Web of Conferences. – 2017. – Vol. 92: Thermophysical Basis of Energy Technologies (ТВЕТ-2016). – 4 p.

Научный руководитель: к.т.н. Т.С. Тайлашева, доцент НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ ТПУ.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ И СХЕМЫ ОДНОКОНТУРНОГО ЭНЕРГОБЛОКА С ГЕЛИЙОХЛАЖДАЕМЫМ РЕАКТОРОМ

О.В. Кульбида

Томский политехнический университет
ИШЭ, НОЦ И.Н. Бутакова, группа 5072

Создание нового направления в реакторостроении в крупнопромышленном масштабе требует, в первую очередь, анализа негативных сторон внедрения энергоустановок с газоохлаждаемыми реакторами в энергетику. К таким сторонам можно отнести: необходимость использования дорогостоящих жаростойких сталей и сплавов, создание и организация промышленного изготовления новых видов оборудования (гелиевой арматуры, турбомашин замкнутого цикла и т. д.) и применение в качестве теплоносителя дорогостоящего гелия.