

РЕЖИМЫ ХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ КОТЛОВ ОТ НАКИПИ**А.М. Шувалов¹, К.А. Набатов², А.С. Максимов²***Лаборатория «Альтернативные источники энергии», ГНУ ВИИТиН (1);
кафедра «Электрооборудование и автоматизация», ТГТУ (2)**Представлена членом редколлегии профессором В.И. Коноваловым***Ключевые слова и фразы:** котел; концентрация кислоты; накипь; режимы; химическая очистка.**Аннотация:** Приведены результаты исследований процесса удаления накипи с рабочих поверхностей котельных установок и другого теплотехнического оборудования. Показана взаимосвязь факторов, оказывающих влияние на скорость удаления накипи. Приведены рациональные режимы кислотной очистки рабочих поверхностей.**Обозначения**

C – концентрация ингибированной соляной кислоты в промывочном растворе, %;	U – скорость движения промывочного раствора, м/с;
T – температура промывочного раствора, °С;	Δm – потери массы, %;
	τ – время очистки, ч.

В различных отраслях агропромышленного комплекса России редко какой-либо технологический процесс происходит без использования тепловой энергии. В настоящее время большая часть тепловой энергии вырабатывается котельными установками и передается потребителю с помощью теплотехнического оборудования (ТТО). В ходе их эксплуатации на теплопередающих поверхностях образуется накипь, которая обладает слабой теплопроводностью, вследствие чего происходит перерасход топлива и пережог труб котлов [1, 2]. Поэтому для сбережения топлива и продления ресурса работы ТТО периодически проводят очистку теплопередающих поверхностей. Широкое распространение получила химическая очистка от накипи методом принудительной циркуляции солянокислотного раствора по замкнутому контуру [1 – 4].

Прежде всего, надо отметить, что очистка данным способом – сложный физико-химический процесс. Известно [2, 4], что действие кислоты в процессе очистки не ограничивается растворением накипи. При очистке кислотный раствор, проникая к металлу через трещины и коррозионные вздутия в слое накипи, растворяет окисную пленку, нарушает связь накипи с металлом и принудительной циркуляцией удаляет ее с поверхности нагрева. Нерастворенные частицы в растворе образуют суспензию, которая также способствует удалению накипи с указанной поверхности.

При разработке технологии химической очистки ТТО обычно возникает задача выбора оптимальной величины основных технологических параметров: начальной концентрации, температуры раствора и скорости его движения.

От продолжительности очистки зависит ее качество. Затягивание процесса отмывки, особенно если отложения трудноснимаемые, может привести к увеличению потерь металла. В связи с этим допустимое время контакта кислоты не должно превышать 7 часов [1, 2, 4 – 6].

Основное требование, предъявляемое к химическим очисткам паровых водотрубных, барабанных и водогрейных эксплуатировавшихся котлов низкого и среднего давлений – это предельно допустимая загрязненность труб поверхностей нагрева после очистки, которая должна составлять не более 50...70 г/м² [1].

Для изучения совместного влияния температуры, концентрации, скорости движения раствора на продолжительность удаления накипных отложений и на коррозию металла нами был проведен многофакторный эксперимент.

При проведении экспериментальных исследований в качестве факторов, влияющих на ход очистки, на основании литературных источников [1 – 8] были приняты: концентрация ингибированной соляной кислоты, температура промывочного раствора, скорость движения промывочного раствора. Как начальные условия определены поверхность взаимодействия раствора кислоты с накипью, удельное количество отложений, состав отложений, состояние поверхности металла, покрытого накипью, сорт металла. Уровни варьирования факторов приведены в табл. 1.

Для оценки влияния факторов на продолжительность очистки был взят образец экранной трубы, покрытой накипью, вырезанной из работавшего котла Е-1/9 в зоне наибольшей теплонапряженности, то есть в месте, где образуется наиболее труднорастворимая накипь. Состав и характеристика накипных отложений на стенках образцов показаны в табл. 2.

Таблица 1

Уровни варьирования факторов

<i>C</i> , %	<i>T</i> , °С	<i>U</i> , м/с
8	70	1,9
5	45	1
2	20	0,1

Таблица 2

Состав и характеристика накипных отложений

Показатели	Слои			
	Обогреваемая сторона		Необогреваемая сторона	
	Мягкий	Твердый	Мягкий	Твердый
Средняя толщина, мм	0,5...1	3...4	0,5...1	1,5...2
Влажность, %	0,14	0,16	0,14	0,11
Прокаленный остаток, %	89,77	87,80	89,39	90, 10
Карбонаты, %	27,97	17,20	21,34	9,60
Соединения железа, %	49	60	56	70
Соединения кальция, %	11	9,80	10,5	10
Соединения магния, %	1,80	0,80	2	0,50

Для сравнительной оценки коррозии металла был взят чистый образец новой стальной водогазопроводной трубы (ГОСТ 3262–75), изготовленной из углеродистой стали (ГОСТ 380–94). Такие трубы применяются при изготовлении трактов теплотехнического оборудования и подвергаются воздействию кислоты при химических очистках. Исследования проводились на специальном стенде, обеспечивающем фиксацию факторов на заданном уровне.

С помощью компьютерных программ Curve Expert 1.3, Excel и MathCAD по экспериментальным данным были получены кривые динамики растворения накипи и металла. На рис. 1 представлены зависимости, полученные при скорости движения промывочного раствора $U = 1$ м/с. Из графиков видно, что процесс удаления накипи состоит из двух наиболее ярко выраженных зон:

1 зона – быстрое (около 1/4 от общего времени очистки) растворение до 80 % отложений;

2 зона – относительно медленное удаление оставшейся массы отложений.

Такое разделение на зоны обусловлено структурой и составом отложений. Верхние слои более мягкие с большим количеством карбонатных соединений, а нижние слои твердые, с преобладанием окислов железа, сильно сцепленные с металлом.

Из графиков (см. рис. 1) видно, что при увеличении температуры происходит более значительное сокращение времени очистки, чем за счет повышения концентрации. Так, при очистке 2 %-ной кислотой с температурой 20 °С время очистки составляет $39,6 \cdot 10^3$ с. С ростом температуры до 70 °С при той же концентрации время сокращается до $16,5 \cdot 10^3$ с, а при увеличении концентрации до 8 %-ной при неизменной температуре 20 °С процесс очистки занимает $19,8 \cdot 10^3$ с.

Для более полной оценки влияния варьируемых факторов на процесс удаления накипи были обработаны результаты эксперимента и представлены в виде аппроксимированных выражений, устанавливающих взаимосвязь между скоростью растворения накипи (K_n), металла (K_m) и исследуемыми факторами:

$$K_n = 3390,8 + 1199,8C + 1478,2T + 926,2U + 932,5CT + 814,8TU - 527,4C^2 + 431,0T^2; \quad (1)$$

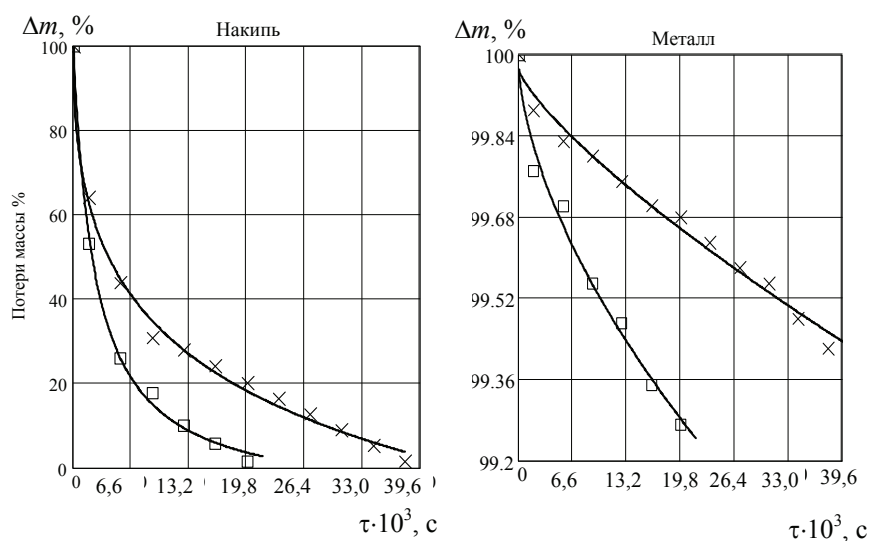
$$K_m = 39,57 + 11,6C + 22,23T + 17,134U + 12,45CT + 12,1TU - 5,034C^2 + 6,49U^2. \quad (2)$$

Из них, а также аналогичных графиков при скоростях движения раствора $U = 0,1; 1,9$ м/с следует, что процесс растворения как накипи, так и металла интенсифицируется с увеличением значений режимных факторов.

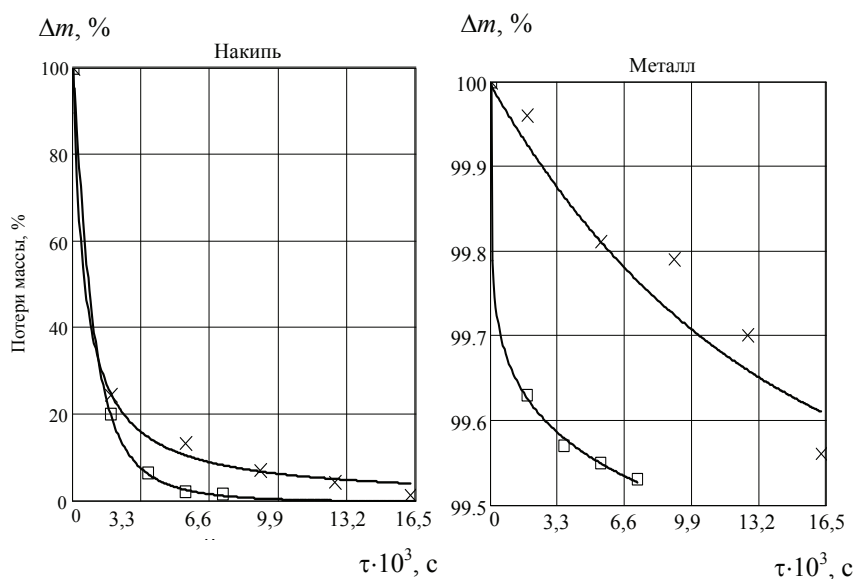
Однако определить из них зону рациональных режимов очистки затруднительно. С целью удобства нахождения этой зоны воспользуемся коэффициентом относительной скорости растворения металла и накипи за весь период очистки

$$K_0 = \frac{K_n / K_m}{\tau}. \quad (3)$$

В графической форме эти зависимости при скорости движения моющего раствора $U = 1$ м/с представлены на рис. 2.



a)



б)

Рис. 1 Динамика процессов растворения в ходе химической очистки:

a – температура промывочного раствора $T = 20$ °C;

б – температура промывочного раствора $T = 70$ °C;

—×— концентрация кислоты $C = 2$ %;

—□— концентрация кислоты $C = 8$ %

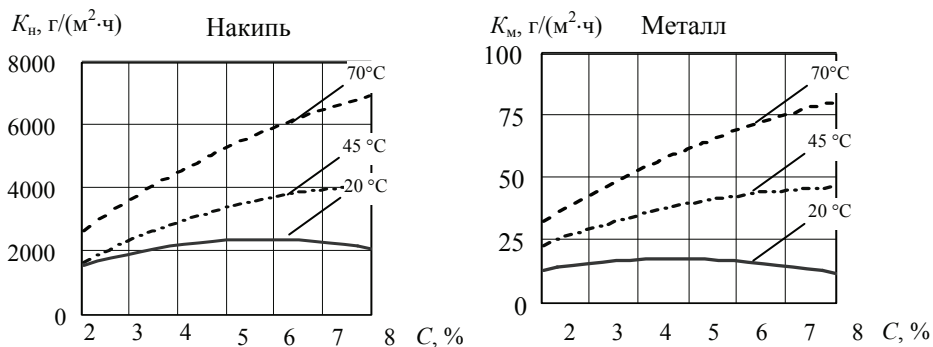


Рис. 2 Зависимости скорости растворения накипи и металла от режимных факторов

Величина K_0 показывает, во сколько раз скорость растворения накипи за все время очистки превышает скорость растворения металла за тот же период времени. Чем больше значение K_0 , тем процесс растворения накипи интенсивнее процесса растворения металла.

Математическая зависимость времени очистки от режимных факторов получена по экспериментальным данным в виде полиномиального выражения

$$\tau = 3,786 - 1,875C - 1,500T - 1U + 0,625CT + 1,464C^2. \quad (4)$$

Дополнительным оценочным показателем процесса очистки была принята величина S_y – качество поверхности очищенного образца от накипи. Он является ограничением для повышения интенсивности процесса растворения за счет режимных факторов даже при $K_0 \rightarrow \max$. S_y оценивали по балльной системе: 0 баллов – глубина язв металла более 0,3 мм; 5 баллов – глубина язв до 0,3 мм; 10 баллов – язв нет.

В результате обработки экспериментальных данных значение S_y определяли по формуле

$$S_y = 4,553 - 1,6625C - 1,875T. \quad (5)$$

Из рис. 3 видно, что качество очищенной от накипи поверхности падает с ростом значений концентрации кислоты в промывочном растворе и повышением температуры.

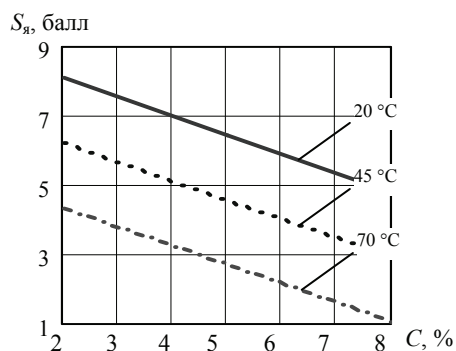


Рис. 3 Влияние режимных параметров на качество очищенной поверхности

Запас прочности труб котлоагрегата в 30...35 % [9] на весь период эксплуатации позволяет проводить очистки при оценке очищенной поверхности не менее 5 баллов. Концентрацию кислотного раствора 8 % при 20 °С можно применять только в исключительных случаях. Повышение температуры до 45 °С и выше при концентрации кислоты 8 % приводит к резкому снижению качества очищенной поверхности из-за интенсивного изъязвления металла.

При выполнении условия обеспечения прочности котловых труб на период их эксплуатации по полученным данным путем совместного анализа двумерных сечений поверхностей откликов K_0 и $S_{\text{я}}$ были определены режимы очистки ТТО от накипи (табл. 3).

Таблица 3

Рациональные режимы очистки

$C, \%$	$T, \text{°C}$	$U, \text{м/с}$	Примечание
2	40...70	0,45...1,45	–
5	20...35	1...1,9	–
8	20	1,45...1,9	Использовать, если при меньших концентрациях невозможно удалить имеющиеся отложения

Экспериментально полученные рациональные режимные параметры кислотной очистки могут быть использованы производителями при эксплуатационной очистке ТТО.

Список литературы

1. Водоподготовка и водный режим энергообъектов низкого и среднего давления: Справочник / Ю.М. Кострикин, Н.А. Мещерский, О.В. Коровина. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 254 с.
2. Рекомендации по очистке котлоагрегатов от накипи и нагара на предприятиях и в организациях агропромышленного комплекса. – М.: ВНИИТИМЖ, 1988. – 92с.
3. Отчет о НИР "Разработка установки для химической очистки теплотехнического оборудования от накипи" (№ 01.89.0054202). – Тамбов: ВИИТиН, 1988. – 156 с.
4. Маргулова Т.Х. Химические очистки теплоэнергетического оборудования / Т.Х. Маргулова – М.: Энергия, 1969. – 223 с.
5. Гликина Ф.Б. Влияние восстановителей и ингибиторов на процесс растворения железистоокисных отложений // Ф.Б. Гликина и др. – Теплоэнергетика, 1981, № 6. – С. 70–71.
6. Каган Д.Я. Руководящие указания по химической очистке от накипи теплосилового оборудования. – М.-Л.: Государственное Энергетическое Издательство, 1955. – 55 с.
7. Отчет по НИР "Химическая очистка поверхности нагрева теплообменных аппаратов" (№ 70054988). – Тамбов: ТИХМ, 1972. – 42 с.
8. Мельников С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Апелкин, П.М. Рощин– Л.: Колос, 1980. – 168с.
9. Справочник химика-энергетика. Под общ. ред. С.М. Гурвича. В 3-х т. Т. 1. Водоподготовка и водный режим парогенераторов. – М.: Энергия, 1972. – 456 с.

Modes of Chemical Cleaning of Boiler Scale

A.M. Shuvalov¹, K.A. Nabatov², A.S. Maximov²

Laboratory "Alternative Sources of Energy", All-Russian Scientific Research and Technology Designing Institute of Equipment and Oil Product Application in Agriculture, Tambov (1);

Department "Electrical equipment and Automation", TSTU (2)

Key words and phrases: acid concentration; boiler; chemical cleaning; modes; scale.

Abstract: The results of studying the process of scale removal from working surfaces of boiler units and other heat technology equipment are given. The interconnection factors influencing the velocity of scale removal is shown. The optimum modes of acid cleaning of working surfaces are suggested.

Regimes der chemischen Reinigung der Kesseln vom Kesselstein

Zusammenfassung: Es sind die Ergebnisse der Untersuchungen des Prozesses der Kesselsteinbeseitigung von den Arbeitsoberflächen der Kesselanlagen und von der anderen wärme-technischen Einrichtung angeführt. Es ist die Wechselbeziehung der auf die Geschwindigkeit der Kesselsteinbeseitigung einwirkenden Faktoren gezeigt. Es sind die Rationalregimes der Säurereinigung der Arbeitsoberflächen angeführt.

Régimes du nettoyage chimique des chaudières des incrustations

Résumé: Sont mentionnés les résultats des études du processus de l'élimination des incrustations de la surface de travail des chaudières et d'autre équipement thermo-technique. Est montrée l'interrelation des facteurs qui influencent la vitesse de l'élimination des incrustations. Sont cités les régimes du nettoyage acide des surfaces de travail.
