
ЖЫЛУ ФИЗИКАСЫ ЖӘНЕ ТЕОРИЯЛЫҚ ЖЫЛУ ТЕХНИКАСЫ

ТЕПЛОФИЗИКА И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА

УДК 621.7

Б.Р.Нусупбеков

Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова

КАЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОГИДРОИМПУЛЬСНОГО СПОСОБА ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТИ

Құбыр ішіндегі пайда болатын қатты қақтардан тазарту жолдары қазіргі кезде келелі мәселелердің бірі екендігі баршамызға мәлім. Пайда болған қақтар жылу алмастырғыш қондырғылардың негізгі параметрлерін, оның ішінде жылу беру пәрменділіктерін азайтып қана қоймай, сонымен қатар отын шығынының көбейюіне де алып келеді. Сондықтан осы мақалада тәжірибе жүзінде алынған нәтижелердің мәліметтері мен негізгі графиктер келтірілген. Бу көпіршіктерін электрогидроимпульстік әдіспен бірге қолданған кезде құбыр ішінде пайда болған қақтар жылдам жойылып қана қоймай, әрі жақсы тазалатындығы көрсетілген. Электрогидроимпульстік қондырғының тұрақты электрлік параметрлеріне талдау жүргізілген. Құбыр қабырғасында пайда болған қақтардың құбыр температурасына әсері зерттелген.

In the given article the outcomes of experimental researches of intensification of thermoexchange and main lab tests on destruction trumpet of deposits are submitted. The experimental researches are conducted with the purpose of definition of a capability of electrohydraulic technology for mechanical destruction. The work is devoted to an effective utilization of natural resources, reduction of hydraulic, thermal losses and increase improve of heat exchange in boiler of small and average capacity. The technical and economic estimations of application of electrohydraulic effect for clearing bunches of pipes are shown. The dependences heat feedback of a pipe and diagram of dependence reduction of the areas of a heated up surface from thickness adjournment are received.

Внедрение эффективных методов теплообмена в каналах и трубах, уменьшение гидравлических, тепловых потерь и повышение интенсификации теплообмена и оптимальное использование топливно-энергетических запасов также являются основными проблемами современной теплоэнергетики [1–3].

Если в качестве рабочей среды в котельной установке используется техническая вода, то интенсивность появления накипи на внутренней поверхности трубы экрана и парогенерирующего пучка труб зависит от состава и степени очистки воды, наличия механических примесей и растворенных в ней солей. Однако работа теплообменных аппаратов сопровождается постепенным образованием отложений накипи на поверхности, соприкасающейся с теплоносителями и растворами. Это приводит к снижению производительности оборудования и увеличению расхода топлива [2].

При современных способах очистки воды образование накипи считается ничтожно малым и в расчетах его термическим сопротивлением пренебрегают. Однако, как показывает практика эксплуатации котлов малой и средней мощности, вследствие объективных трудностей соблюдения водно-химического режима подготовки теплоносителя (в т.ч. сезонные изменения состава воды, трудности проведения регулярного и надлежащего контроля состава воды, проблемы со своевременной поставкой дорогостоящих химических реактивов и др.) неизбежно образуются внутритрубные отложения. Увеличение толщины слоя отложений, естественная шероховатость поверхности приводят к нежелательным результатам: увеличению термосопротивления стенки, уменьшению расхода теплоносителя, увеличению гидродинамического сопротивления. Очевидно, что перечисленные факторы снижают интенсивность теплообменного процесса при неизменных начальных условиях.

Следовательно, поиск новых методов удаления отложений с теплопередающих поверхностей становится актуальной технико-экологической задачей.

Накипные отложения на теплопередающих поверхностях представляют собой не что иное как минеральные новообразования, обязанные своим происхождением природе и человеку. Одной из наиболее часто встречающихся рабочих сред, используемых в теплообменниках, является вода. В частности, в системах теплоснабжения применяются в основном поверхностные речные и подземные воды. В природных водах содержатся грубо дисперсные примеси, легко растворимые соли: NaCl, Na₂SO₄, MgSO₄, бикарбонат железа Fe(HCO₃)₂, а также угольная кислота H₂CO₃ [1–3].

Обладая низкой теплопроводностью, слои ржавчины, накипи и других отложений резко ухудшают передачу тепла в паровых и водогрейных котлах, вызывая перерасход топлива. Например, слой накипи толщиной в 1 мм влечет за собой увеличение расхода топлива на 2,5 %, а толщиной в 4 мм — на 7,5 %, что для котла ДКВР-4 соответствует перерасходу мазута в 770 кг/сутки. При обработке глинозема толщина отложений накипи колеблется от нескольких миллиметров (в подогревателях пульпы) до двух метров (в карбонизаторах), что вынуждает останавливать оборудование для очистки от накипи 5–25 раз в месяц [1–3].

В следующей таблице представлены полученные нами результаты перерасхода условного топлива (для котлоагрегатов на номинальной нагрузке) за месяц при образовании накипи толщиной ($\delta_{отл}$) до 2 мм.

№ п/п	Тип котла	Часовой расход, кг/ч	Перерасход за месяц, кг	
			$\delta_{отл} = 1,5$ мм	$\delta_{отл} = 2$ мм
Жидкое топливо				
1	ДКВР-2,5	200	11520	13680
2	ДКВР-4	320	18432	21888
3	ДКВР-6,5	550	31680	37620
4	ДКВР-10	840	48384	57456
5	ДКВР-20	1940	111744	132696
Твердое топливо				
6	Е1/9	80	4608	5472
7	ДКВр-4–13ПМЗ-РПК	354	20386	24216
8	ДКВр-6,5–13ПМЗ-РПК	608	35038	41587

Образование в водогрейных котлах и теплообменниках отложений, нарушающих их нормальную работу, приводит к необходимости периодической очистки поверхностей нагрева.

Загрязнение поверхности нагрева котла со стороны воды повышает температуру стенки водогрейной, дымогарной или жаровой трубы, причем повышение температуры стенки будет тем больше, чем толще слой накипи и чем меньше её коэффициент теплопроводности. На рисунке 1 показано изменение температуры стенки ($t_{ст}$, %) водогрейной экранной трубы, расположенной в топочном пространстве (1100 °С), в зависимости от толщины ($\delta_{отл}$) накипи.

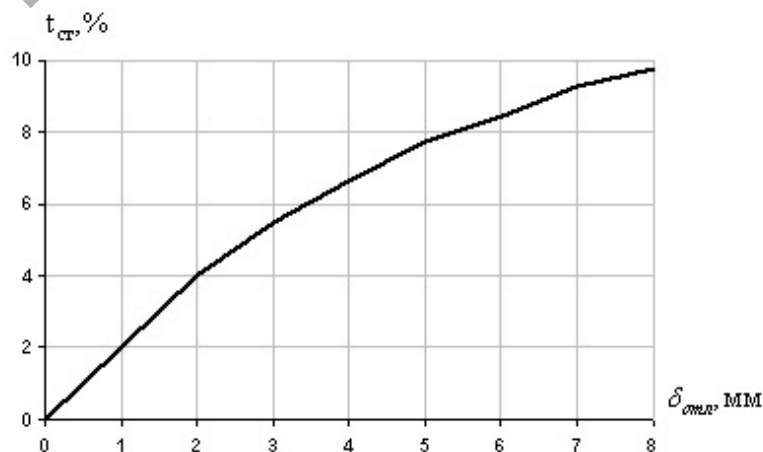


Рис. 1. Влияние толщины слоя накипи на температуру стенки трубы

Повышение температуры стенки трубы ($t_{ст}$) вызывает снижение как предела прочности металла, так и предела текучести. Вследствие этого происходит разрыв труб или образование свищей, т.е. таких явлений, которые вызывают выход котла из строя. В оборотных и пролетных котлах при перегреве металла жаровой трубы из-за отложения на ней твердой накипи (в особенности в верхней её части) может произойти «посадка» трубы (выпучина в сторону топки).

Однако опыт эксплуатации показывает, что не все вещества, проникающие в котельный агрегат, остаются в нем в виде шлама или накипи, часть их выводится продувочной водой. Успешное решение проблемы борьбы с накипью и подавление процесса накипеобразования в теплообменных аппаратах и трубах возможно только на основе комплексных исследований с использованием современных физико-химических и электрогидравлических методов.

Как показывает практика, структура накипи также в значительной степени зависит от солевого состава питательной и котловой воды и от физико-химических условий, при которых протекают процессы образования накипи в паровых котлах. Химический анализ позволяет узнать род окислов и их относительное количество. Химический состав накипей, образующихся в паровых котельных агрегатах, весьма разнообразен. Однако они могут быть разделены на четыре группы: щелочноземельные, железоокисные, медные и силикатные накипи [4]. Следовательно, для эксплуатации теплообменного агрегата важно знать состав отложений, так как он часто позволяет вскрыть причину их образований.

Классические способы борьбы с накипью связаны с удалением из питательной воды солей жесткости (поглощением их различными ионитами) или добавлением к воде химических веществ (например, фосфатов). Эти способы очень дороги, а поэтому и применяют их в основном на крупных теплообменных устройствах. Многочисленный парк котлов, водоподогревателей и других теплообменных устройств малой и средней мощности зачастую питается обыкновенной сетевой водой. Как результат: быстрое образование на стенках аппаратов накипи. Для удаления образовавшихся отложений применяются различные приспособления и устройства, в том числе и механические, химические и другие, но они либо недостаточно эффективны или экологически вредны. Кроме того, на многих технологических предприятиях используются трубы из дорогостоящих металлов, которые после загрязнения трудно поддаются очистке, а в ряде случаев просто вырезаются и удаляются вместе с отложениями, что очень дорого. Поэтому необходимость в эффективной очистке полостей труб является в настоящий момент актуальной задачей не только в Республике Казахстан, но и в странах СНГ и дальнего зарубежья.

В связи с указанным выше, на наш взгляд, достаточно перспективными являются основанные на электрогидравлическом эффекте (ЭГЭ) установки [5–9] для очистки внутренних поверхностей труб. Элементарная оценка на основе модели многослойной цилиндрической стенки [1] показывает, что два слагаемых суммарного коэффициента термосопротивления соответственно растут пропорционально и по логарифмическому закону, с увеличением толщины отложений, при постоянных слагаемых. Если не рассматривать предельные случаи, когда проходные сечения отдельных трубок оказываются полностью забитыми твердыми отложениями, специальные тестовые эксперименты показывают, что в зависимости от толщины накипи трубки конденсаторов и котельных установок теряют до 50 % теплообменных качеств. Следовательно, важным требованием, вытекающим из условий обеспечения надежной работы современных котлов, является проведение периодической очистки теплообменных поверхностей.

В ходе экспериментов состояние подвергнутой обработке поверхности $d = 38$ мм контролировалось микроскопическими наблюдениями (под микроскопом «МЕТАМ-81» при 80-кратном увеличении), которые установили отсутствие трещин или иных заметных деформаций. В процессе очистки под воздействием ударной волны отложения растрескиваются и скалываются фрагментами, размер которых колеблется в широких пределах (максимальный измеренный размер скопа составляет 17×28 мм) и затрудняет продвижение очищающего кабеля-электрода (рис. 2).

На очищенной поверхности трубы отмечены прижоги: точечные, в виде пятен, диаметрами $(0,5 \div 3,0) \cdot 10^{-3}$ м, и продолговатые, в виде полос шириной $(0,3 \div 1,0) \cdot 10^{-3}$ м, длиной $(6 \div 15) \cdot 10^{-3}$ м. Поверхность металла в местах прижогов была более шероховатая, чем исходная, максимальная высота микронеровностей достигает $0,086 \cdot 10^{-3}$ м.

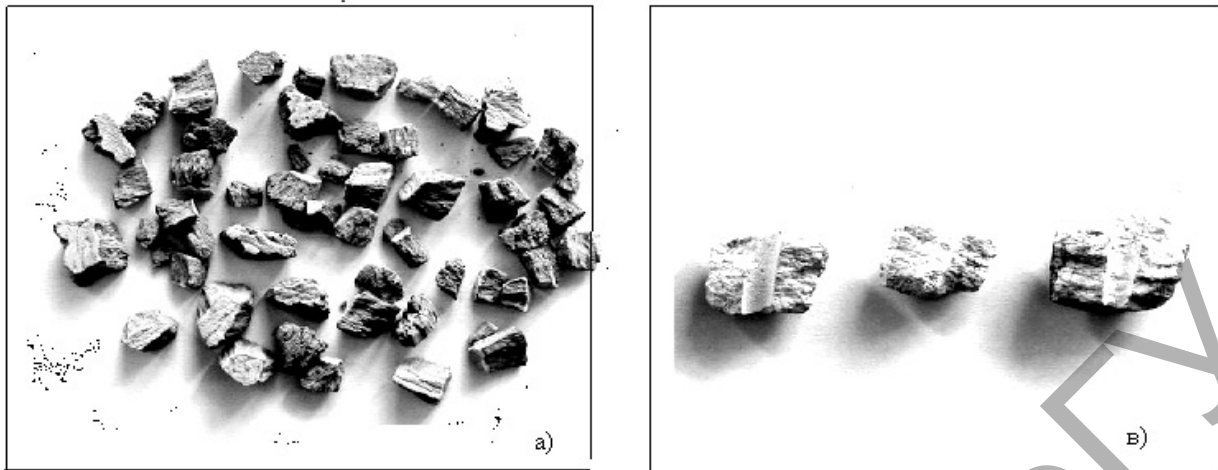


Рис. 2. Виды накипных отложений: *a* — отложения в котловых трубах $d = 51$ мм; *б* — отложения морских солей на выпарных аппаратах $d = 38$ мм опреснителей Мангышлакского атомного энергокомбината

Концентрация точечных прижогов колебалась в пределах $(1 \div 10) 1/\text{см}^2$ и зависела от положения подвижного электрода в момент прохождения участка трубы и скорости его перемещения. В местах прижогов поверхность оплавлена и заметны вкрапления меди (материала электрода) круглой формы, диаметрами $(0,032 \div 0,055) \cdot 10^{-3}$ м. Экспериментально доказано отсутствие влияния прижогов и вкрапления материала электрода отмеченных размеров на эксплуатационные свойства теплообменных труб.

Воздействие электрогидравлического удара и паровых пузырьков определенной концентрации на эффект удаления от твердых отложений исследовалось при импульсном напряжении на коммутирующем устройстве $10 \div 45$ кВ; при этом емкость конденсаторной батареи 0,1; 0,25 мкФ. Межэлектродный промежуток изменялся от 5 до 20 мм при длинах передающего кабеля 25 м. В результате проведенных работ для каждого эксперимента подобрана оптимальная мощность электрогидравлического удара и частота следования импульсов. Экспериментальные измерения проводились для труб диаметром 33; 38; 73 мм с толщиной накипи от 0,5 мм до 15 мм и длиной от 1,0 м до 3,0 м.

Очистка различных труб происходит под воздействием ударной волны, образующейся при высоковольтном разряде в жидкости, зависит от электрических параметров установки, кавитации парового пузыря и направлена из парожидкостного генератора в очищаемую среду.

На рисунках 3 и 4 представлены основные электрические параметры электрогидроимпульсной установки и влияние концентрации паровых пузырьков на степень очистки (F / F_0) труб.

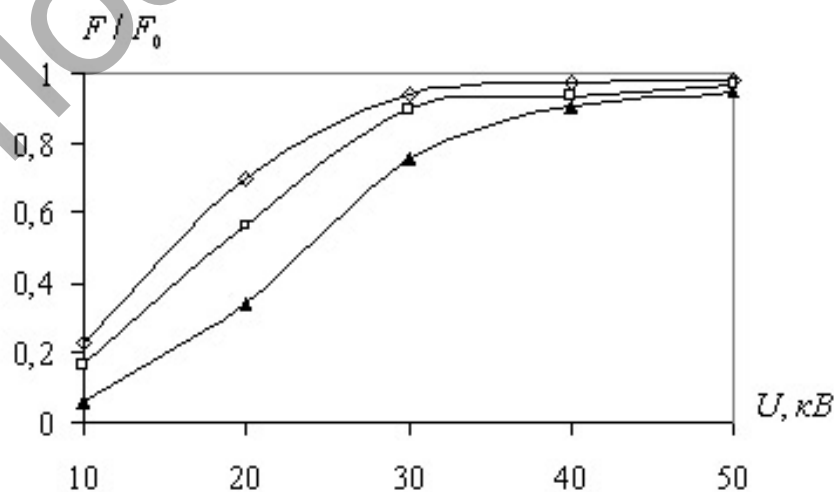


Рис. 3. График зависимости степени очистки труб от импульсного напряжения на коммутирующем устройстве: $\eta = 0,2\%$; $\delta_{\text{отл}} \approx 4$ мм; d : \diamond — 33 мм; \square — 38 мм; \blacktriangle — 73 мм

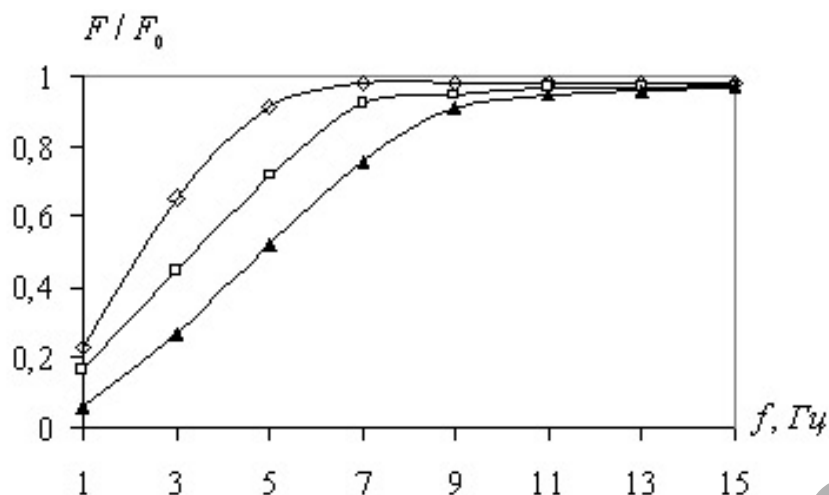


Рис. 4. Зависимость степени очистки труб от частоты следования разрядов для различных труб: $\eta = 0,25\%$; $\delta_{отл} \approx 5$ мм; $d = \diamond$ — 33 мм; \square — 38 мм; \blacktriangle — 73 мм

Из полученных результатов (рис. 3 и 4) видно, что для полной очистки труб импульсное напряжение на коммутирующем устройстве должно иметь величину $150 \div 360$ Дж, а концентрация паровых пузырьков $\eta = 0,2\%$. Максимальное рабочее напряжение, необходимое для разрушения отложений, во время эксперимента составляет порядка $23 \div 45$ кВ, и устойчивая работа установки достигалась в диапазоне рабочих напряжений от 25 до 35 кВ. Для обеспечения нормальной скорости очистных работ (порядка 3 м/мин до 5 м/мин) частота следования разрядов устанавливалась из опытных данных порядка 7 Гц.

Чистота проведенных работ проверялась только с помощью микроскопа МЕТАМ-81, и при повторном прохождении кабель-электрода отложения практически отсутствовали. Как показывает анализ результатов, ударная волна, возникающая при искровом разряде в интервале значений импульсного напряжения на коммутирующем устройстве, не влияет на структуру поверхности труб.

Таким образом, практика подтверждает, что очистка теплообменных поверхностей от твердых отложений с помощью электрогидроимпульсной установки в настоящее время является наиболее эффективным и экологически безвредным способом.

Список литературы

1. Исаченко В.П. и др. Теплопередача // МЭИ. — 1981.
2. Четкин А.В., Занемонец Н.А. Теплотехника. — М.: Высш. шк., 1986. — 386 с.
3. Жукаускас А.А. Конвективный перенос в теплообменниках. — М.: Наука, 1982. — 472 с.
4. Швейко А.Б., Бубликов Р.З. Влияние материала поверхности на отложения в теплообменном оборудовании систем технической воды // Теплоэнергетика. — 2002. — № 7. — С. 62–66.
5. Гулий Г.А. Научные основы разрядно-импульсных технологий // АН УССР ПКБ электрогидравлики. — Киев: Наук. думка, 1990. — 280 с.
6. Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект, применение в промышленности. — Л.: Машиностроение. Ленингр. отд., 1986. — 252 с.
7. Кусаинов К.К. Гидродинамика, теплообмен и электрогидравлические явления при движении двухфазных сред в трубах. — Караганда: Изд-во КарГУ, 1998. — 112 с.
8. Кусаинов К., Нусупбеков Б.Р., Турлыбекова Р.С. Изучение микроструктуры котельных накипей // Вестн. развития науки и образования. — 2009. — № 2. — С. 7–10.
9. Нусупбеков Б.Р. Исследования эффективности очистки поверхностей электрогидравлическим методом // Тр. КарГТУ. — 2008. — № 3(32). — С. 67–70.