Journal of Surface Physics and Engineering, 2018, vol. 3, No. 3, pp. 100-105

УДК 628.166

ТЕРМОГРАФИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ УСТАНОВОК ДЛЯ ЛУЧЕВОГО ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОДЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

С. Е. Донец[1], В. Ф. Клепиков[1], В. В. Литвиненко[1], С. Н. Шаляпин[2]

[1]Институт электрофизики и радиационных технологий НАН Украины, ул. Гуданова, 13, 61024, Харьков, Украина
[2]ООО «Харьковская инженерная компания», проспект Науки, 60, офис 818, 61072, Харьков, Украина

E-mail: vvlytvynenko@ukr.net

Поступила в редакцию 20.08.2018

В работе предложен метод неразрушающего контроля и повышения надежности корпусов установок для обеззараживания воды ультрафиолетовым излучением. Описана концепция проектирования камеры облучения установок. Апробирован метод термографического контроля целостности камеры облучения. Проанализированы перспективы более широкого внедрения установок для предприятий промышленности и энергетики.
Ключевые слова: неразрушающий контроль, распределение дозы, целостность соединений, обеззараживание воды.

THERMOGRAPHY CONTROL OF UNITS FOR RAY DISINFESTATION OF WATER FOR INDUSTRIAL PLANTS

Stanislav Donets[1], Viacheslav Klepikov[1], Volodymyr Lytvynenko[1], Serhiy Shalyapin[2]

[1]Institute of Electrophysics & Radiation Technologies National Academy of Sciences of Ukraine, 13 Gudanova Str., 61024, Kharkiv, Ukraine
[2]«Kharkiv Engineering Company» Ltd, 60 Nauky Avenue, office 818, 61072, Kharkiv, Ukraine

The paper proposes a method of nondestructive testing and reliability of housings facilities for disinfecting water by ultraviolet radiation. The design concept of the radiation chamber of installations is described. The method of theormographic control of the integrity of the radiation chamber was tested. The prospects of a wider introduction of installations for industrial and energy enterprises are analyzed.
Key words: non-destructive testing, dose distribution, integrity of compounds, water disinfection.

ТЕРМОГРАФІЧНИЙ КОНТРОЛЬ УСТАНОВОК ДЛЯ ПРОМЕНЕВОГО ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ВОДИ ПРОМИСЛОВИХ СПОЖИВАЧІВ

С. Є. Донець[1], В. Ф. Клепіков[1], В. В. Литвиненко[1], С. М. Шаляпін[2]

[1]Інститут електрофізики і радіаційних технологій НАН України, вул. Гуданова, 13, 61024, Харків, Україна
[2]ТОВ «Харківська інженерна компанія», проспект Науки, 60, офіс 818, 61072, Харків, Україна

У роботі запропоновано метод неруйнівного контролю та підвищення надійності корпусів установок для знезараження води ультрафіолетовим випромінюванням. Описана концепція проектування камери опромінення установок. Апробований метод термографічного контролю цілісності камери опромінення. Проаналізовано перспективи ширшого впровадження установок для підприємств промисловості та енергетики.
Ключові слова: неруйнівний контроль, розподіл дози, цілісність з'єднань, знезараження води.

ORCID IDs
Stanislav Donets: https://orcid.org/0000-0002-1258-1434
Viacheslav Klepikov: https://orcid.org/0000-0003-0294-7022

@ С. Е. Донец, В. Ф. Клепиков, В. В. Литвиненко и др., 2018

Volodymyr Lytvynenko: https://orcid.org/0000-0003-4850-2555
Serhiy Shaliapin: https://orcid.org/0000-0003-3062-7835

ВВЕДЕНИЕ

Технология обеззараживания воды бактерицидным ультрафиолетовым излучением имеет более чем пятидесятилетнюю историю. На ранних стадиях создания принципов проектирования установок [1] одна из задач, заключалась в оценке равномерности обеззараживания воды в процессе прохождения через камеру с источниками ультрафиолетового излучения. Так, в работе [1] описан подход, основанный на использовании натурной модели камеры обработки, выполненной из оптически прозрачного материала, что позволяло наблюдать перемешивание красящего пигмента при внесении его на входе в камеру и, таким образом, оценивать траекторию единичного объема жидкости а, соответственно, и полученную им дозу облучения. Учитывая то, что в настоящее время различными производителями изготавливается широкая номенклатура установок, снабженных различными турбулизаторами, выполняющими функцию перемешивания воды в потоке, проведение подобных натурных испытаний влечет существенные дополнительные расходы ресурсов и времени на внедрение новых моделей. К тому же наличие шероховатостей поверхности у реальных изделий будет также влиять на режимы перемешивания жидкости, и, таким образом, они будут отличаться от полученных при модельном эксперименте.

Важной задачей является также оценка надежности сварных швов изделий, равномерности затяжки болтов на фланцевых соединениях. Данная задача решается проведением обязательных гидравлических испытаний, сводящихся к констатации целостности конструкции и ее прочности при подаче нормативной нагрузки. Однако эти испытания не способны оценить участки наиболее вероятного нарушения в будущем при истечении срока эксплуатации. Указанная проблема важна с точки зрения тенденций перехода к европейским стандартам качества и связанным с этим оперированием термином «управление старением», заключающегося в необходимости физически обоснованного прогнозирования вероятного сценария нарушения целостности сосуда под давлением [2]. Следует также отметить, что повышенные требования к качеству технической воды на АЭС а также к бактериологическому составу сбросовых вод открывает перспективы использования ультрафиолетовых установок в гидроцехах АЭС и, таким образом, предъявляет к ним повышенные требования по надежности и безопасности.

Вместе с тем вышеуказанные операции могут быть успешно дополнены оперативным и информативным методом на основе проведения дистанционного термографического контроля. Данный метод находит все большее применение в науке, промышленности, медицине, коммунальном хозяйстве, экологии, энергетике [3 – 6] и его интеграция в технологии диагностики аппаратов для ультрафиолетового (УФ) обеззараживания воды является, несомненно, актуальной.

Проведение термографических исследований связано с необходимостью учета возможных помех. Для решения задачи использования термографических измерений в повышении эффективности диагностики при стендовых испытаниях аппаратов УФ обеззараживания необходимо было: отработать технику проведения измерений, которая должна учитывать источники погрешностей; определить физические механизмы проявления возможных дефектов в температурном поле.

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ УСТАНОВОК

С появлением нового поколения бактерицидных УФ-ламп с высокими показателями стабильности параметров излучения и высоким коэффициентом выхода коротковолнового (обладающего наибольшим бактерицидным действием) УФ-излучения и микропроцессорной техники на рынке возник ряд

фирм, специализирующихся на производстве установок, сориентированных на локального пользователя с объемами потребления воды до 100 м^3/ч.

Основные подходы к проектированию и созданию УФ-установок изложены в работе [1]. Тем не менее, достижение максимальной технологической и экономической эффективности возможно опираясь на знание индивидуальных особенностей предприятия – заказчика. Как, отмечалось нами в работе [7] выбор оптимального варианта конструкции целесообразно проводить с использованием средств системного анализа [8], что требует разработки специального алгоритма технологии проектирования. Так, конструкция установки характеризуется совокупностью параметров x, реализация которых позволяет получить ряд эксплуатационных характеристик $F_i(x)$, $i = 0, 1, \ldots, N$, (например, стоимость обработки, равномерность облучения воды, коэффициент использования излучения и др.). Данные характеристики являются функционалами, достигающими заданных значений при определенных параметрах установки. Исходя из технических и экономических соображений, для ряда функционалов задается наиболее предпочтительная величина, которая достигается при некоторых значениях $\hat{x}$. Учитывая, что в реальной ситуации достичь оптимальных значений функционалов, как правило, не удается, налагается ограничение вида

$$F(x) \le (1+k)F(\hat{x}), \qquad (1)$$

где $0 < k << 1$. Затем на основе специально разработанного алгоритма строится сетка значений x_z, из которых конструктором выбираются наиболее реализуемые, и удовлетворяющие условию (1).

Одна из основных проблем – обеспечение равномерности облучения воды решается исходя из общего определения поверхностной дозы УФ-излучения, получаемой объемом потока воды, проходящей через камеру обработки.

$$D = \int_{r_1}^{r_2} \frac{I(r)}{s_r} \cdot t_r dr, \qquad (2)$$

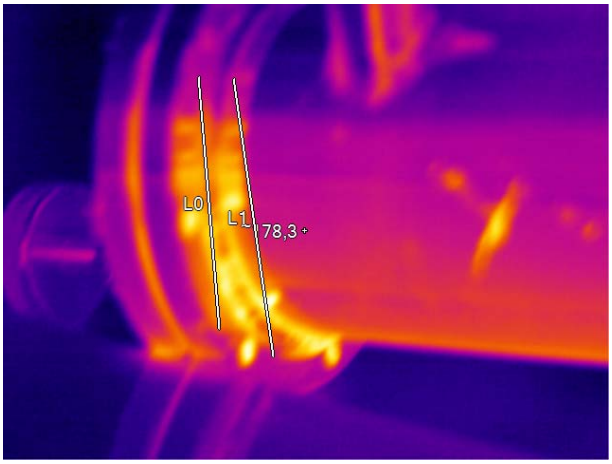
где r – обобщенная координата, пространства камеры облучения; $I(r)$ – интенсивность излучения в точке r; s_r площадь поверхности обрабатываемого объема; t_r – время пребывания элементарного объема в точке r; r_1, r_2 – пределы интегрирования, определяемые конструкцией камеры облучения и расположением в ней УФ-источников. Не случайно доза рассматривается как интегральная величина, получаемая поверхностью элементарного объема за время прохождения через камеру обработки, поле излучения в которой, как правило, распределено неравномерно. Существующие подходы к оценке дозы по среднему показателю или по наихудшему оправданы для обработки воды с невысоким значением коэффициента поглощения излучения α (0,1 – 0,2 см$^{-1}$) – характерным для воды из подземных источников. Проектирование установок для обработки вод из поверхностных источников или сточных вод (как правило, объем обработки 100 м^3/ч и более) связано с решением всех вышеупомянутых требований, причем их выполнение может быть взаимоисключающим. Например, неравномерность облучения снижается за счет установки турбулизаторов, которые, в свою очередь, увеличивают гидродинамические потери в сети. Проблема устранения неооблученных участков решается путем размещения нескольких излучателей, таким образом, что зоны, расположенные на границе пересечения полей отдельных УФ-источников имеют требуемую облученность благодаря эффекту сложения полей. При этом площадь недооблученных зон сводиться к внешним сегментам условной окружности, описывающей радиально расположенные УФ-источники. Этот недостаток устраняется путем вмонтирования дополнительных турбулизаторов, либо конструктивной геометрии камеры или установкой ламинаторов потока, обеспечивающих

увеличение времени пребывания воды в недооблученной зоне.

ЭКСПЕРИМЕНТ И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

В качестве тестовых объектов для получения термограмм были выбраны установки производительность 20 м^3/ч и 1 м^3/ч соответственно. Для проведения измерений температурного поля применялся тепловизор Fluke Ti32, имеющий такие характеристики: тип приемника излучения – матрица 320x240 в фокальной плоскости, неохлаждаемый микроболометр; тепловая чувствительность ≤ 0,045 °C (45 мК); спектральный диапазон ИК от 7,5 до 14 мкм.

Поскольку камеры выполнены из нержавеющей стали, имеющей, как известно, высокий коэффициент отражения измерения проводили в условиях отсутствия предметов, имеющих более высокую температуру и которые могли переизлучаться от стенок камеры. Камеру установок заполняли водой, имеющей температуру на 30 К выше температуры окружающей среды. Разница температур создавала тепловой поток через стенки камеры, что давало возможность для температурного проявления возможных дефектов в месте сварных швов. На рис. 1 и рис. 2 показано распределение температуры вдоль линий, проведенных по корпусу камеры в окрестности сварного шва.



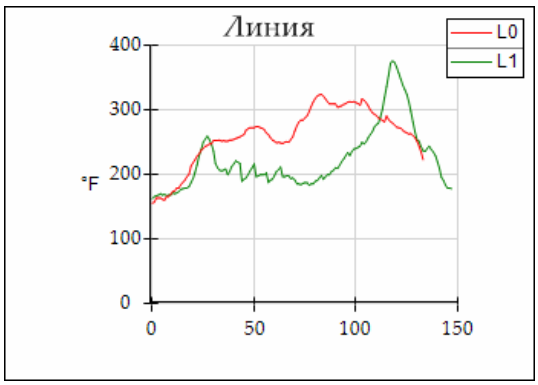
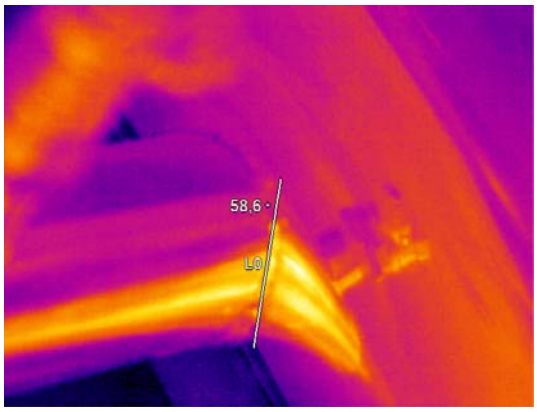


Рис. 1. Распределение температуры сварного шва (корпус-фланец) установки в условиях динамического нагрева

Как видно из термограмм температура швов достаточно равномерна, при этом прослеживается граница заполнения камеры подогретой водой. В случае выявления участков с температурными всплесками целесообразно привлекать дополнительно средства толщинометрии. Очевидно, что преимущество термографического контроля состоит в оперативности обнаружения мест возможного утонения.



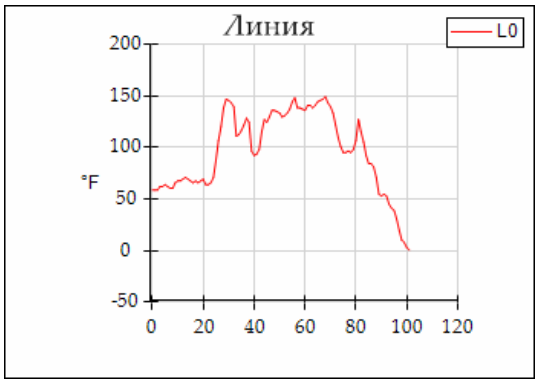
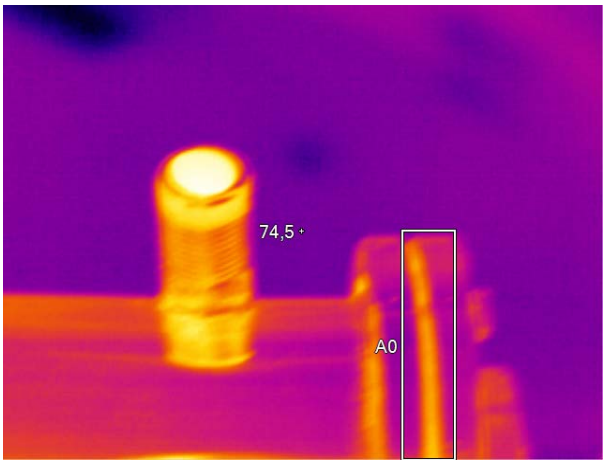


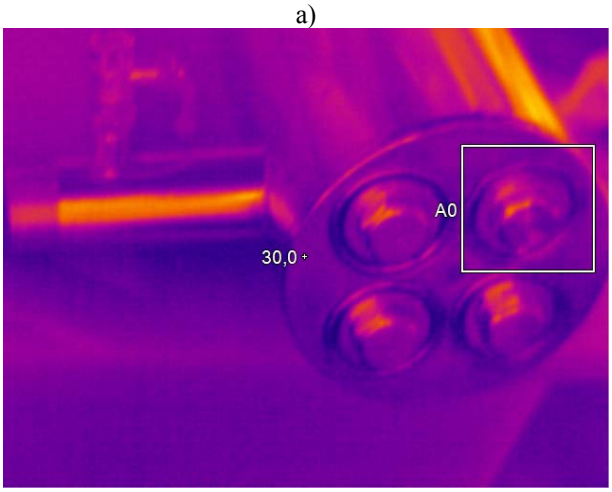
Рис. 2. Распределение температуры на фрагменте сварного шва (корпус – выходной патрубок) установки

На рис. 3 приведены термограммы, на которых видны уплотнения фланцевых соединений и мест герметизации посадочных мест кварцевых цоколей. Равномерное температурное поле подтверждает однородность уплотнения.

Отдельного рассмотрения требует состояние материала уплотнительных прокладок а также нипелей, используемых в качестве держателей датчиков интенсивности излучения. Применяемые технологии отливки латунных заготовок не всегда обеспечивают равномерное прогревание, вследствие чего происходит преимущественное испарение меди на локальных участках, и материал получается пористым. Как пример, на рис. 4 приведем фрактограмму излома экспериментального образца.

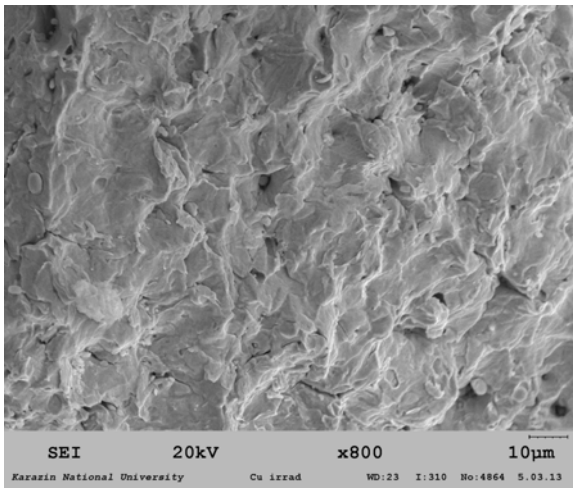


а)

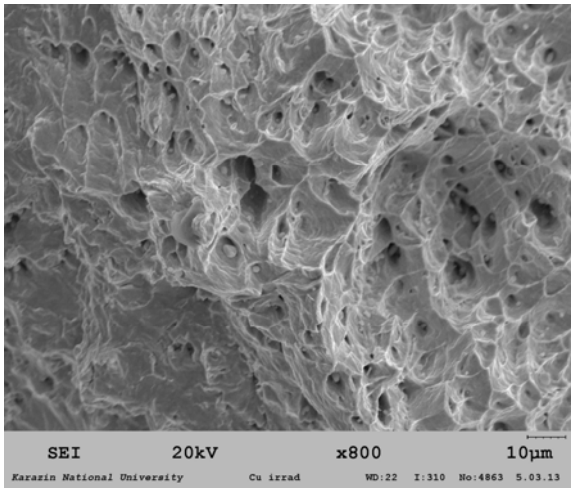


б)

Рис. 3. Распределение температуры фланцевого уплотнения установки (а); распределение температуры в окрестности крепления кварцевого чехла установки (б)



а)



б)

Рис. 4. Фракторамма латунного образца подвергнутого интенсивному облучению электронным пучком в вакууме: а) исходный образец; б) облученный образец

Различие характера излома на рис. 4 говорит о существенных различиях ресурса материала, которому предстоит эксплуатироваться в условиях статических механических напряжений и воздействия коррозионно-активных сред.

ВЫВОДЫ

Метод термографического контроля и диагностики установок для ультрафиолетового обеззараживания воды позволяет:

- контролировать качество сварных швов корпусных элементов из нержавеющей стали, выявлять возможные трещины и области несплошности сварных швов а также качест-

ва уплотнительных прокладок, штуцеров, мест посадки держателей измерительных приборов;

- контролировать качество фланцевых соединений, выявлять зоны разгерметизации и микротечей;
- контролировать тепловой режим и распределение интенсивности источников ультрафиолетового излучения непосредственно в процессе работы установок;
- на этапе конструирования новых установок для ультрафиолетового обеззараживания воды оптимизировать гидравлическую, тепловую и обеззараживающее схемы камеры облучения, повышать технико-экономические показатели установок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соколов В. Ф. Обеззараживание воды бактерицидными лучами. 2-е изд. перераб. и доп. М., 1964. – 234 с.
2. Гетман А. Ф. Концепция безопасности «течь перед разрушением» для сосудов и трубопроводов под давлением АЭС. – М.: Энергоатомиздат, 1999. – 228 с.
3. Клепиков В. Ф., Прохоренко Е. М., Колесникова В. В., Морозов А. И. Тепловизионная диагностика для контроля поверхности противотеплового оборудования // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2011. – № 2/6(50). – С. 65-68.
4. Брюховецкий В. В., Базалеев Н. И., Клепиков В. Ф., Литвиненко В. В. Тепловизионная акустотермографическая дефектоскопия конструкционных материалов // Вопросы атомной науки и техники. – 2011. – № 2(72), вып. 97. – с.178-185.
5. Базалєєв Н. И., Бандурян Б. Б., Брюховецький В. В., Клепіков В. Ф., Литвиненко В.В. Концепція розвитку неруйнівних методів контролю енергетичного обладнання АЕС на основі кореляційної ІЧ-радіометрії // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2008. – №4/5(34). – С. 10-16.
6. Базалеев Н. И., Бандурян Б. Б., Клепиков В. Ф., Литвиненко В. В. Тепловизионный мониторинг технического состояния компрессорного и энергетического оборудования как метод эффективного решения проблемы энергосбережения // Компрессорное и энергетическое машиностроение. – 2006. – № 1(3). – С. 60-65.
7. Базалеев Н. И., Клепиков В. Ф., Литвиненко В. В., Шаляпин С. Н. Электрофизические лучевые технологии: новая концепция обеззараживания воды ультрафиолетовыми лучами // Наука та інновації. – 2005. – Т. 1, № 1. – С. 99-109.
8. Моисеев Н. Н. Математические задачи системного анализа. – М.: Наука, 1981. – 488 с.

REFERENCES

1. Sokolov V. F. Obezzarazhivanie vody bakteritsidnyimi luchami. 2-e izd. pererab. i dop. M., 1964. – 234 s.
2. Getman A. F. Kontseptsiya bezopasnosti «tech pered razrusheniem» dlya sosudov i truboprovodov pod davleniem AES. – M.: Energoatomizdat, 1999. – 228 s.
3. Klepikov V. F., Prohorenko E. M., Kolesnikova V. V., Morozov A. I. Teplovizionnaya diagnostika dlya kontrolya poverhnosti protivoteplovogo oborudovaniya // Vostochno-evropeyskiy zhurnal peredovyih tehnologiy. – 2011. – # 2/6(50). – S. 65-68.
4. Bryuhovetskiy V. V., Bazaleev N. I., Klepikov V. F., Litvinenko V. V. Teplovizionnaya akustotermograficheskaya defektoskopiya konstruktsionnyh materialov // Voprosyi atomnoy nauki i tehniki. – 2011. – # 2(72), vyp. 97. – S.178-185.
5. Bazaleev N. I., Banduryan B. B., Bryuhovetskiy V. V., KlepIkov V. F., Litvinenko V.V. Kontseptsiya rozvitku neruynivnih metodiv kontrolyu energetychnogo obladnannya AES na osnovi korelyatsiynoi ICh-radIometrii // Vostochno-evropeyskiy zhurnal peredovyih tehnologiy. – 2008. – #4/5(34). – S. 10-16.
6. Bazaleev N. I., Banduryan B. B., Klepikov V. F., Litvinenko V. V. Teplovizionnyiy monitoring tehnicheskogo sostoyaniya kompressornogo i energeticheskogo oborudovaniya kak metod effektivnogo resheniya problemy energosberezheniya // Kompressornoe i energeticheskoe mashinostroenie. – 2006. – # 1(3). – S. 60-65.
7. Bazaleev N. I., Klepikov V. F., Litvinenko V. V., Shalyapin S. N. Elektrofizicheskie luchevyie tehnologii: novaya kontseptsiya obezzarazhivaniya vodyi ultrafioletovyimi luchami // Nauka ta Innovatsii. – 2005. – T. 1, # 1. – S. 99-109.
8. Moiseev N. N. Matematicheskie zadachi sistemnogo analiza. – M.: Nauka, 1981. – 488 s.