

УДК 621.52

**А. Н. ЖАРИКОВ**

*А. Н. ЖИГАЛОВ, д-р техн. наук, доц.*

**М. В. БАШАРИМОВ**

Институт технологии металлов НАН Беларуси (Могилев, Беларусь)

## **МЕТОД ЛОКАЛИЗАЦИИ НЕГЕРМЕТИЧНОСТЕЙ В ВАКУУМНЫХ СИСТЕМАХ**

### **Аннотация**

Разработан низкобюджетный метод локализации негерметичностей в вакуумных системах при помощи герметизирующих оболочек, позволяющий фиксировать утечки вакуума как на наружных поверхностях вакуумных систем, так и на внутренних поверхностях водяных рубашек вакуумных печей.

### **Ключевые слова:**

вакуум, вакуумная система, вакуумная печь, поиск утечек, течеискание, негерметичность.

В настоящее время к основным методам течеискания (определения и локализации негерметичности) можно отнести следующие [1]:

– метод контроля давления или же проверка герметичности по натеканию. Сущность данного метода заключается в фиксации зависимости давления от времени при отключенной системе откачки. Достоинством данного метода является отсутствие потребности в дополнительном оборудовании (достаточно штатного вакуумметра, которым, как правило, оснащена любая вакуумная система). Однако локализовать утечку (негерметичность) представляется крайне затруднительным, особенно если вакуумная система предполагает наличие большого количества параллельных ответвлений, которые поочередно выводить из измерительной зоны вакуумметра не представляется возможным. Поэтому данный метод более всего пригоден лишь для фиксации наличия течи;

– ультразвуковой метод предполагает использование ультразвуковых детекторов для обнаружения турбулентных зон в окрестностях утечки, которые порождают акустическое излучение, как правило, с доминирующей ультразвуковой частотой, несмотря на то, что с 2016 г. данный метод стал стремительно развиваться за счет создания устройств, оснащенных «зрением» (камера, фиксирующая изображение от видимого спектра электромагнитного излучения, окруженная множеством чувствительных микрофонов, до 124 шт., сигналы от которых преобразуются и накладываются на изображение, выводимое на экран). Такой ультразвуковой детектор (ультразвуковая акустическая камера) уже позволяет в режиме реального времени визуализировать утечку. Недостатком данного метода все же остается невысокая чувствительность (до  $10^{-2}$  мбар·л/с). Помимо этого, потребность в приобретении дополнительного оборудования, а для ультразвуковой акустической камеры и высокая цена (в эквиваленте золота в мерных слитках 240 г и более), также являются существенными недостатками;

– пузырьковый метод (обмыливание) предполагает создание в вакуумной системе избыточного давления и нанесение мыльного раствора либо иного раствора поверхностно-активного вещества на поверхности вакуумной системы. Появление пузырей в нанесенном растворе свидетельствует об утечке. Несмотря на то, что метод предполагает достаточную чувствительность к утечкам (до  $10^{-4}$  мбар·л/с), он все же может быть ограничен к применению при наличии конструктивных особенностей вакуумных систем, которые не позволяют обозреть место детектирования. Также применение может затруднять наличие поверхностей с покрытием, обладающим гидрофобным эффектом;

– изменение физических свойств остаточного газа в вакуумной системе. Данный метод предполагает внедрение некоторой дозы газа-индикатора в воздух вблизи предполагаемой течи, с предварительным размещением внутри вакуумной системы датчика, который фиксирует появление газа-индикатора. Метод весьма вариативен и может быть реализован посредством контроля изменения теплопроводности, либо сечения ионизации, либо массы остаточного газа (внутри вакуумной системы). Метод имеет высокую чувствительность при поиске утечек и в особенности вариация данного метода с контролем изменения массы (до  $10^{-12}$  мбар·л/с). Несмотря на это, метод имеет существенный недостаток, который обусловлен потребностью в наличии дорогостоящего оборудования, например, стоимость гелиевого течеискателя в эквиваленте золота в мерных слитках приблизительно равна 440 г.

Приняв во внимание все вышеизложенное, возникла потребность в разработке метода, который будет лишен недостатков, присущих рассматриваемым методам. Поэтому директором Института технологии металлов Национальной академии наук Беларуси, д-ром техн. наук А. Н. Жигаловым была поставлена задача в разработке низкобюджетного метода локализации негерметичностей в вакуумных системах.

Данная задача была принята к исполнению и в кратчайшие сроки предложено решение, предполагающее освоение метода, основанного на использовании неэластичных тонких (5...20 мкм) герметизирующих оболочек, плотность материала которых не превышает  $1000 \text{ кг/м}^3$ . Для этих целей подходят пакеты из ПВД или ПНД, либо их аналоги.

Его суть заключается в накачке (надувании) воздуха внутрь оболочки (пакета), что создает небольшое избыточное давление (близкое к атмосферному) и приводит к ее распрямлению, с последующим креплением посредством клейкой ленты в месте предполагаемой утечки (крепление следует реализовывать таким образом, чтобы очаг предполагаемой утечки оказался внутри герметизирующей оболочки). В некоторых случаях более удобным является первым этапом произвести частичное крепление герметизирующей оболочки, а после надувания произвести окончательное оклеивание. В таком случае удобнее прибегать к использованию насоса или компрессора. Далее при помощи системы откачки создается разрежение внутри вакуумной системы. По истечении интервала времени, приблизительно равному 2 ч, пакет, существенно не изменивший свое состояние (объем воздуха в пакете остается без видимых изменений), сигнализирует об отсутствии значимой негерметичности в данном

месте, а пакет с явно изменившимся объемом воздуха внутри (стенки пакета сблизившиеся или слипшиеся) сигнализирует о наличии значимой негерметичности. Предполагаемая чувствительность метода при поиске утечек не менее  $4,7 \cdot 10^{-3}$  мбар·л/с.

Разработанный метод показал свою эффективность при локализации негерметичностей вакуумной печи на базе Института технологии металлов Национальной академии наук Беларуси.

Предпосылкой для разработки и апробирования данного метода явилась неспособность системы откачки создать внутри вакуумной печи требуемое разряжение (уровень вакуума не достигал значения, заявленного в технической документации на данное оборудование), а при отключении системы откачки наблюдался резкий и постоянный рост давления внутри вакуумной системы, что указывало на наличие утечки.

Для поиска утечки использовались следующие принадлежности: фасовочные ПВД-пакеты ( $24 \times 37$  см, 12 мкм); изоляционная лента ПВХ (изолента); упаковочная клейкая лента (скотч) из полипропилена.

Испытание проводилось на вакуумной системе, которая включает в себя: вакуумную печь с эффективной зоной нагрева  $300 \times 300 \times 500$  мм, пластинчатороторный вакуумный насос производительностью 70 л/с, вакуумный насос Рутса производительностью 300 л/с, диффузионный вакуумный насос производительностью 4600 л/с (задействован не был). Вакуумная система рассчитана на предельный вакуум  $-6,5 \cdot 10^{-3}$ .

После того, как были определены предполагаемые места утечек, эти места были освобождены от электрических проводов и от шлангов теплоносителя, произведен слив воды из водяной рубашки печи для проверки ее внутренней поверхности посредством крепления пакетов на ее штуцера. После закрепления пакетов ко всем намеченным местам (рис. 1) был произведен запуск системы откачки.

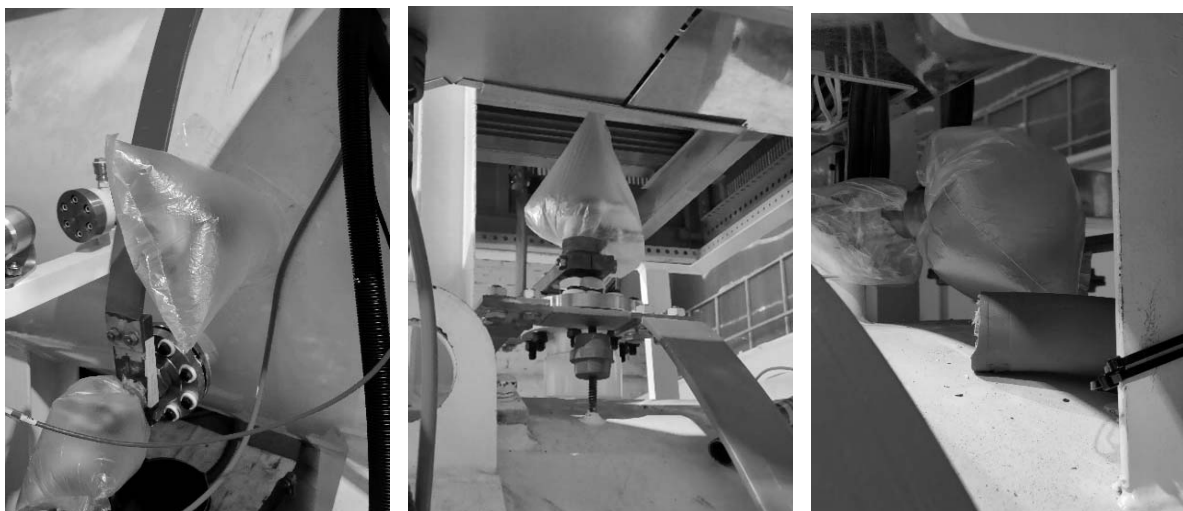
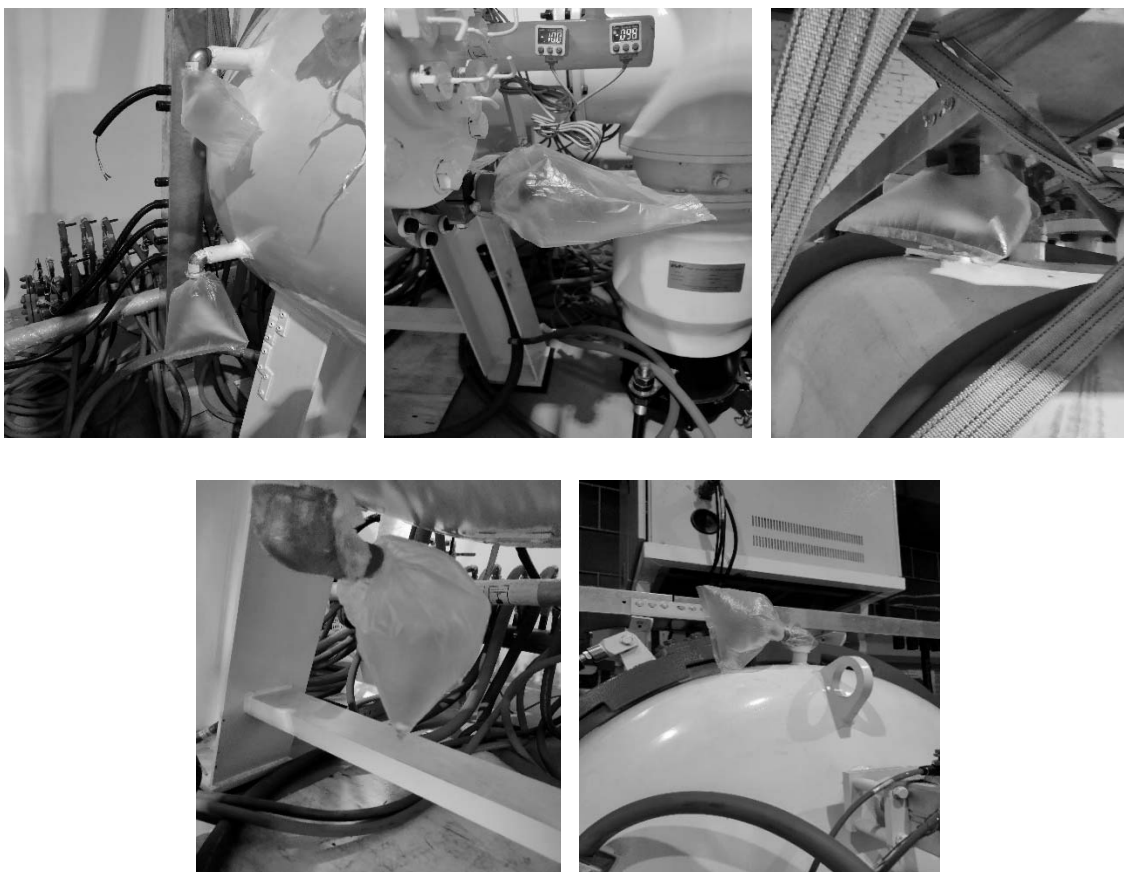


Рис. 1. Примеры крепления герметизирующих оболочек



Окончание рис. 1

В течение 10 мин ( $\tau = 10$  мин) в вакуумной системе происходила интенсивная откачка до вакуума с уровнем 5 Па. Далее график изменения давления приобрел вид, приближенный к графику константной функции. После 30 мин работы системы откачки ( $\tau = 30$  мин) у одного из пакетов значительно изменился объем внутреннего воздуха, что было заметно визуально (давление 1,7 Па), а по истечении времени  $\tau = 45$  мин стенки пакета слиплись (давление 1,4 Па), что явило собой очевидный маркер наличия негерметичности в данном месте. Динамика изменения объема воздуха внутри герметизирующей оболочки приведена на рис. 2.



Рис. 2. Динамика изменения объема воздуха внутри герметизирующей оболочки



Окончание рис. 2

Таким образом, пользуясь данным методом, удалось локализовать негерметичность вакуумной системы и в последующем устранить течь при помощи сварки. Это позволило в кратчайшие сроки и практически без затрат вернуть оборудование в эксплуатацию. По всей видимости подавляющее большинство значимых утечек в вакуумных системах можно находить с использованием рассмотренного метода, что позволит экономить большое количество временного и финансового ресурса.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Клочков, А. В.** Современные методы поиска негерметичностей вакуумных и криогенных систем: методическое пособие к лабораторной работе для бакалавров по направлению «Радиофизика», обучающихся по профилям «Физика магнитных явлений» и «Квантовая радиофизика и квантовая электроника» / А. В. Клочков, М. С. Тагиров. – Казань: ИФ КФУ, 2013. – 24 с.

Контакты:

artyom\_zhan@mail.ru (Жариков Артем Николаевич);

jigalovb@mail.ru (Жигалов Анатолий Николаевич);

basharimovfilm@gmail.com (Башаримов Максим Владимирович).

***A. N. ZHARIKAU, A. N. JIGALOV, M. V. BASHARIMOV***

#### **METHOD OF LOCALIZATION OF LEAKS IN VACUUM SYSTEMS**

##### **Abstract**

A low-cost method for localization of leaks in vacuum systems is developed, which allows to detect vacuum leaks both on the external surfaces of vacuum systems and on the internal surfaces of water jackets of vacuum furnaces.

##### **Keywords:**

vacuum, vacuum system, vacuum furnace, leak detection, leak testing, leakage.