

Экранированная вакуумная термоэлектрическая ловушка

© И.В. Зорин

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН,
194021 Санкт-Петербург, Россия
e-mail: lab.mass@mail.ioffe.ru

(Поступило в Редакцию 23 октября 2006 г.)

Описана вакуумная ловушка ЛВТЭ-1, содержащая охлаждаемые двухкаскадной термоэлектрической батареей защитные элементы в виде оптически непрозрачного набора колец и антимигратор в виде сильфона, соединяющего эти элементы с наружным корпусом ловушки. Для возможности замены без нарушения вакуума в рабочем объеме термобатарея расположена в отдельном герметичном отсеке со стороны атмосферы. Экономичность ловушки повышена за счет экранов, защищающих охлаждаемые элементы от внешнего излучения, а также охлаждения экранов и средних частей сильфонов антимигратора и отсека термобатареи ее менее холодным каскадом.

PACS: 85.80.Fi, 07.30.-t

Существенной причиной, ограничивающей возможность получения более глубокого и чистого вакуума является проникновение в откачиваемый объем паров вакуумного масла, используемого в вакуумном насосе, паров воды, а также других примесей, давление которых при рабочих температурах вакуумируемого объема слишком велико. Уменьшить это давление до достаточно низкого уровня можно, если сконденсировать эти пары и затем заморозить на охлаждаемых поверхностях в вакуумной ловушке. В качестве охладителя для ловушки эффективно использование термоэлектрических батарей [1].

Источником паров повышенного давления может быть также пленка жидкой фазы вакуумного масла, ползущая за счет капиллярных сил по внутренней стенке вакуумпроводов и наружного корпуса ловушки с охлаждаемыми защитными элементами. В этом случае пленка масла ползет по стенке антимигратора до ее более охлажденных участков и там затвердевает, что останавливает дальнейшее продвижение. Для уменьшения теплопритока длину стенки увеличивают, выполняя ее в виде сильфона [2].

Для увеличения экономичности работы автором была предложена конструкция экранированной вакуумной термоэлектрической ловушки [3]. Повышение экономичности в ней достигается за счет защиты охлажденных частей ловушки со всех сторон экранами от теплового излучения, идущего от более нагретых поверхностей как наружного корпуса, так и из отверстий вакуумпроводов.

Экономичность работы повышается также за счет перераспределения между каскадами охлаждающей термобатареи теплопритоков от излучения и теплопроводности конструктивных элементов, соединяющих части с различной температурой.

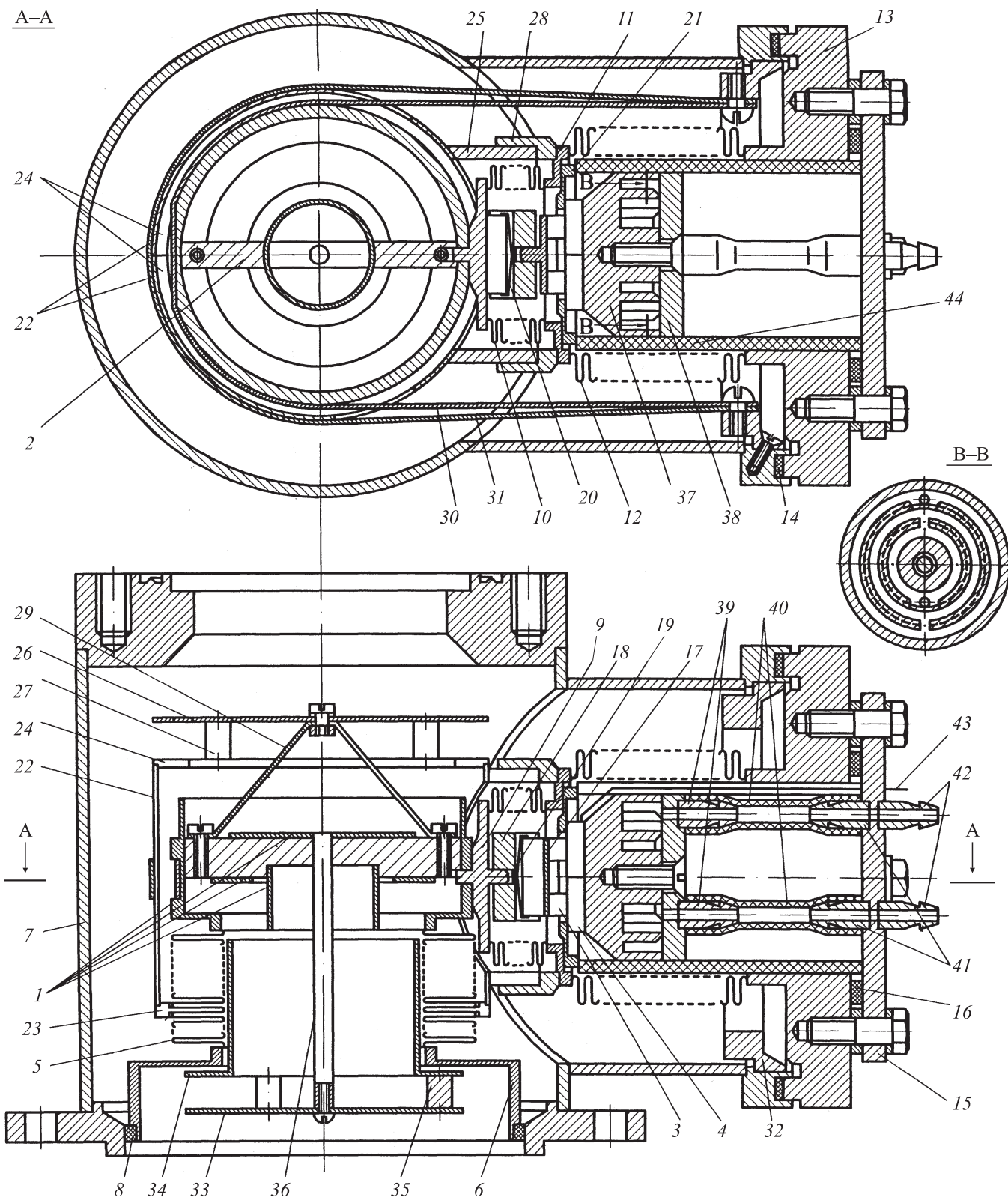
Кроме того, за счет дополнительных соударений с промежуточно охлажденными экранами часть паров масла оседает на них, улучшая защитную способность

ловушки, что особенно существенно в начальной пусковой период.

На основе этого предложения была разработана термоэлектрическая ловушка ЛВТЭ-1, показанная в разрезе на рисунке. Защитные элементы ловушки, на которых задерживаются пары вакуумного масла, выполнены в виде набора колец 1, спаянных с теплопроводящей стойкой 2. Они охлаждаются первыми каскадами 3 термобатареи, содержащей четыре стандартных двухкаскадных термоэлектрических модуля ТЭБ-2, расположенных в отдельном отсеке для возможности их замены без нарушения вакуума в основном вакуумируемом объеме. Охлаждение в них происходит за счет эффекта Пельтье, возникающего при прохождении тока через теплопоглощающие спаи полупроводниковых термоэлементов, из которых составлена термобатарея. Тепло выделяющие спаи термоэлементов первого каскада 3 охлаждаются вторыми каскадами 4, к которым они присоединены, что повышает эффективность работы термобатареи, так как общий рабочий перепад температур между спаями делится между каскадами.

К защитным элементам 1 одним концом плотно присоединен антимигратор 5 в виде сильфона, другой конец которого приварен роликовой сваркой к промежуточному кольцу 6. Так как была поставлена задача разместить ловушку в имеющемся наружном корпусе и обеспечить разборность узлов, то кольцо 6 было установлено в отверстии фланца наружного корпуса 7 на плотной посадке через уплотнительное кольцо 8 из фторопласта. Наружное кольцо защитных элементов 1 прижато ко дну 9 отсека термобатареи через слой индия, который имеет очень низкий предел текучести и легко пластически деформируется, обеспечивая хороший тепловой контакт.

Отсек термобатареи герметично отделен от внутреннего вакуумного пространства ловушки для возможности замены или ремонта термобатареи без нарушения вакуума в нем. Отсек образован соединенными между



собой дном 9, сильфоном 10, межсильфонным кольцом 11, сильфоном 12 и крышкой 13, прижимаемой к наружному корпусу 5 ловушки через уплотнение 14.

Для уменьшения теплопритока за счет теплопроводности стенки сильфонов 5, 10 и 12 выполнены из стали 1X18Н10Т, а сильфоны 10 и 12 спрессованы, чтобы разместить большее число гофр. Кроме того, сильфон 10, окружающий первые более холодные каскады 3 термобатареи, выполнен с меньшего диаметра, чем сильфон 12, окружающий ее вторые каскады 4.

Для того чтобы внутри отсека термобатареи на охлажденных поверхностях не было конденсации влаги из окружающего воздуха, отсек герметизируется дополнительной крышкой 15, прижимаемой к крышке 13 через уплотнение 16. Теплопоглощающие стороны 3 охлаждающей термобатареи объединены теплопроводящей пластиной 17, которая связана с 9 через подвижный теплопроводящий элемент 18, имеющий на концах взаимно перпендикулярно расположенные прорезы, в которые входят с минимальными зазорами своими боковыми поверхностями соответственно выступы дна и пластины 17. Зазоры заполняются для повышения теплопроводности смазкой с высокой вязкостью, не позволяющей ей вытекать.

При этом максимальная величина зазора между торцевыми стенками прорезей элемента 18 и входящих в них выступов соответствует максимальной величине перемещений вдоль оси 9 и 17 как от термического расширения, так и от допустимых монтажных сдвигов деталей. Аналогичные перемещения поперек оси, а также при наклонах осей дна 9 и 17 компенсируются поперечным сдвигом выступов этих элементов в прорезях 18. Таким образом обеспечивается развязка от механических напряжений в каскадах 3 при незначительных перепадах температуры между ними и дном.

Наименьшая суммарная величина перепада температур на теплопередающих зазорах элемента 18 достигается при равенстве площадей их боковых поверхностей. Это может быть обеспечено установкой 18 в среднее положение между 9 и 17 с помощью расположенных соответственно между ними и симметрично отталкивающих его от них пружин 19 и 20.

Теплопоглощающие стороны вторых каскадов 4 припаяны легкоплавким припоем к объединяющему их кольцу 21, которое через теплоконтактную пасту прижимается к межсильфонному кольцу 11.

Защитные элементы 1 ловушки окружены активным высокотеплопроводным экраном, состоящим из спаянных между собой полуколец 22–25 и диска 26, соединенного с торцевыми полукольцами 24 через стойки 27. Полукольца 25 плотно вставляются в объединяющее их кольцо 28, которое прижимается через слой индия к кольцу 11, обеспечивая тепловой контакт экрана со вторым каскадом 4 термобатареи и делая таким образом экран активным. Одновременно торцевые полукольца 23 плотно вставляются в гофры антимигранатора 5, ближе

к его теплому концу, обеспечивая с ним хороший тепловой контакт.

Защитные элементы 1 и окружающий их экран дистанцируются между собой с помощью тяг 29, а от провисания и сдвига в поперечном направлении под действием давления атмосферы на 9 и 11 — с помощью лент 30 и 31, закрепленных на кольце 32, упирающемся в корпус 7. Для уменьшения теплопритока тяги 29 и ленты 30 и 31 выполнены из малотеплопроводной стали 1X18Н10Т.

Первоначально активный экран 22–26 также дистанцировался от корпуса 7 соединенным с ним тягами, аналогичными 29, но оказалось, что воздействия атмосферного давления достаточно для фиксации экрана и дополнительные тяги не устанавливались.

Со стороны антимигранатора 3 торцовая часть защитных элементов 1 ловушки закрыта пассивными экранами 33 и 34, соединенными через стойки 35 и закрепленными на стойке 2 с помощью малотеплопроводной трубки 36.

Тепловыделения второго каскада 4 отводятся проточной водой с помощью теплообменника 37, внутри которого расположены концентрические ребра с разрывами на противоположных сторонах, образующие водяные каналы с резкими поворотами, что создает дополнительную турбулизацию протекающей по ней воды и увеличивает интенсивность теплообмена. Крышка 38 теплообменника припаяна к торцам его ребер, но может быть прижата к ним через уплотнение для возможной разборки.

Вода подается в теплообменник и отводится из него через штуцеры 39, которые соединены упругими шлангами 40 с расположенными на крышке 15 штуцерами 41.

На крышке 15 герметично закрепляются как внутренние штуцеры 41, так и внешние водяные 42, а также выводы питания 43 термобатареи. Выводы внутренних соединений между собой последовательно соединенных модулей ТЭБ-2, составляющих термобатарею, на чертеже не показаны. Прижим кольца 21 к 11 обеспечивается при уплотнении крышки 15 отсека термобатареи за счет сжатия шлангов 40 и упругого кольца 44, имеющего прорезь в верхней части, через который проходят выводы питания 43.

Так как в рабочем положении ось отсека термобатареи горизонтальна, то вес теплообменника 37 с присоединенными к нему деталями, воспринимается кольцом 44, на которое он свободно опирается. При этом не допускается опора кольца 21 на бортик кольца 11, чтобы исключить нежелательные напряжения среза в хрупких полупроводниковых элементах второго каскада термобатареи.

Ловушка ЛВТЭ-1 работает следующим образом. Защитные элементы 1 охлаждаются наиболее холодными спаями первого каскада 3 термобатареи. Пары вакуумного масла, идущие от диффузионного вакуумного насоса, расположенного снизу от ловушки, идут навстречу откачиваемому потоку газа. Дойдя до защитных элементов 1

(зазоры между ними выполнены оптически непрозрачными, а молекулы масла летят в молекулярном режиме течения по прямой, почти не сталкиваясь), они обязательно сталкиваются с охлажденными стенками защитных элементов 1, конденсируются и затвердевают на них. Также затвердевает и задерживается пленка вакуумного масла, ползущая по внутренним стенкам корпуса 7 ловушки, а затем — антимигратора 5.

Тепловое излучение, идущее к защитным элементам 1 от стенок корпуса 7 ловушки и из отверстий его фланцев от присоединенных к ним вакуумпроводов, задерживается системой активных и пассивных экранов. Меньшая часть излучения экранируется пассивными экранами 33, 34, т.е. экранами, температура которых устанавливается равновесной между температурами излучающей и поглощающей поверхностей соответственно равенству потоков тепла, поступающего к экрану с одной стороны и излучаемого им — с другой. Большая часть излучения экранируется активными экранами 22–26. Их температура понижается ниже равновесной для пассивных экранов за счет охлаждения менее холодным вторым каскадом 4 термобатареи, что уменьшает тепловую нагрузку от излучения экранов на защитные элементы 1 и разгружает первый каскад 3. При этом тепловая нагрузка на второй каскад 4 увеличивается, но так как он работает в более теплом диапазоне температур и, вследствие этого более экономично, чем первый каскад 3, то в общем выигрыш в экономичности больше.

Аналогичный эффект получается и от перераспределения между каскадами тепловых нагрузок от теплопроводности антимигратора 5 и сильфонов 10 и 12 отсека термобатареи. В антимиграторе 5 это происходит за счет того, что его гофры на оптимальном расстоянии по длине охлаждаются вторым каскадом 4, в качестве теплопровода используются подсоединенные к ним элементы активного экрана 22–25. В результате при увеличении теплового потока на 4 уменьшается тепловой поток к более холодному первому каскаду 3 за счет теплопроводности присоединенной к нему более длинной части 5.

Аналогично отвод тепла от межсильфонного кольца 11 присоединенной к нему теплопоглощающей стороной 4 разгружает 3 от теплопритока по сильфону 10 за счет добавки теплопритока ко второму каскаду 4 по сильфону 12. В сумме эти перераспределения также дают выигрыш в экономичности.

При испытаниях ловушки ЛВТЭ-1 в составе вакуумной системы масс-спектрометра ФТИАН-3 была получена температура защитных элементов -40°C при температуре окружающего воздуха 25°C и охлаждающей воды -12°C . При этом ловушка ЛВТЭ-1 потребляла 22 W, что значительно меньше по сравнению с применявшейся в этой системе термоэлектрической ловушкой, использующей в качестве термобатареи два стандартных термоэлектрических модуля К1-127-1/1.3 и не имеющей системы экранирования и перераспределения тепловых

нагрузок, которая не смотря на отсутствие антимигратора потребляла 82 W. Кроме того, более низкая температура защитных элементов, полученная у ЛВТЭ-1, а также наличие антимигратора позволяет получить более глубокий вакуум в системе масс-спектрометра и улучшить его возможности.

Список литературы

- [1] *Коленко Е.А.* Термоэлектрические охлаждающие приборы. Л.: Наука, 1967. 283 с.
- [2] *Бондарев В.С.* и др. Охлаждаемая ловушка. А.с. СССР № 350989. Кл. F04 F 9/06, Б.И. 1972, № 27.
- [3] *Зорин И.В.* Вакуумная ловушка. А.с. СССР № 1263917. Кл. F04 F 9/06, Б.И. 1986, № 38.