

УДК 621.565

В.А. Наєр, А.В. Роженцев, Хасан Весам Анвар Али

Одеська національна академія харчових технологій, навчально-науковий інститут холоду, кріотехнологій та екоенергетики, вул. Дворянская, 1/3, Одеса, 65082, Україна

КРИОХИРУРГІЧНІ АПАРАТИ – АКУМУЛЯТОРИ ХОЛОДУ

В статті розглядаються кріохірургічні апарати з фазовими переходами робочого тіла «рідина-пар» (азотні апарати) та «рідина-тверде тіло» (робоче тіло – етиловий спирт). Розглянуто схеми та конструкції апаратів з підводом робочого тіла безпосередньо до наконечнику та через кріозонд, виготовлений із мідного стрижня та у вигляді теплової труби. Показані переваги та недоліки таких апаратів. Вказані перспективні області застосування.

Ключові слова: Кріохірургія – Кріозонд – Теплова труба – Азот – Етиловий спирт – Фазовий перехід

В.А. Наєр, А.В. Роженцев, Хасан Весам Анвар Али

Одесская национальная академия пищевых технологий, учебно-научный институт холода, кріотехнологий и эконоэнергетики, ул. Дворянская, 1/3, Одесса, 65082, Украина

КРИОХИРУРГИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ – АКУМУЛЯТОРЫ ХОЛОДА

В статье рассматриваются кріохірургические аппараты с фазовыми переходами робочего тела жидкость - пар (азотные аппараты) и жидкость - твердое тело (робочее тело этиловый спирт). Рассмотрены схемы и конструкции аппаратов с подводом робочего тела непосредственно к наконечнику и через кріозонд, выполненный в виде сплошного медного стержня и в виде тепловой трубы. Показаны преимущества и недостатки этих аппаратов. Указаны перспективные области применения.

Ключевые слова: Кріохірургія – Кріозонд – Тепловая труба – Азот – Этиловый спирт – Фазовый переход



This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

I. ВВЕДЕНИЕ

Кріохірургические аппараты – аккумуляторы холода представляют собой, в общем случае, теплоизолированный контейнер, заполненный рабочим телом-хладоносителем, в которое погружен кріозонд со съёмным рабочим наконечником. Объем контейнера определяется требуемым запасом холода и теплофизическими свойствами робочего тела.

Запасать холод можно, используя фазовые переходы робочего тела. Наиболее часто в качестве робочего тела используется жидкий азот с энергоёмким фазовым переходом жидкость-пар. Основная особенность таких аппаратов состоит в том, что из-за большого различия в объемах жидкости и пара контейнер выполняется не герметичным и образующийся пар выходит из него.

После использования всего запаса робочего тела контейнер нужно повторно зарядить хладоносителем. Такие азотные аппараты очень просты и используются там, где имеется возможность перезарядить контейнер жидким азотом.

II. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

На рисунке 1 показан азотный кріохірургический аппарат [1]. Основные узлы аппарата: 1 – внешний корпус, 2 – внутренний теплоизолированный контейнер, 3 – теплоизоляция.

Из-за теплопритоков жидкий азот в контейнере разогревается, давление в контейнере повышается, азот сквозь трубку 4 выдавливается через кріозонд 6 в рабочий наконечник 14. В наконечнике азот кипит, охлаждая или замораживая объект, и образовавшиеся пары азота отводятся в окружающую среду через каналы 9 и 5. На конце кріозонда расположен наконечник с резьбой 8 и электронагреватель 7. В верхней части аппарата установлена кнопка 11 включения нагревателя 7. Жидкий азот заливается во внутренний контейнер через горловину 12. В нижней части аппарата установлен разъем 13 для подключения электропитания.

Аппараты с жидким азотом описаны подробно, а аппараты с твердым рабочим телом изучены недостаточно. Поэтому далее приводятся

схемы и конструкции таких аппаратов. Сначала нужно выбрать рабочее тело-хладоноситель, используемое в аппарате. Для криохирургических аппаратов необходима рабочая температура наконечника в диапазоне ниже $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$. В работе [2] показано, что для получения фазового перехода «жидкость-твердое тело» при указанных температурах можно использовать такие вещества как ацетон, спирты, толуол. Наиболее перспективным является этиловый спирт с температурой плавления-замерзания $-114\text{ }^{\circ}\text{C}$ и теплотой плавления равной 108 кДж/кг .

Для замораживания этилового спирта необходима холодильная машина, обеспечивающая такую температуру. В работе [3] приведена схема такой машины, работающая на смеси холодильных агентов.

На рисунке 2 приведена схема аппарата, использующего этиловый спирт. Спирт через горловину 8 заливается в герметичный контейнер 7, в который вставлен медный стержень - хладопровод 2. На конце хладопровода имеется резьба, с помощью которой к хладопроводу подсоединяются рабочие наконечники 1 различной формы. Спирт в контейнере замораживается в холодильной камере, охлаждаемой холодильной машиной. При извлечении аппарата из камеры на него надевается теплозащитный чехол 4. Для интенсификации теплообмена между спиртом и хладопроводом последний оребрен ребрами 5, а для интенсификации теплообмена между спиртом и воздухом в камере на корпусе аппарата установлены ребра 6.

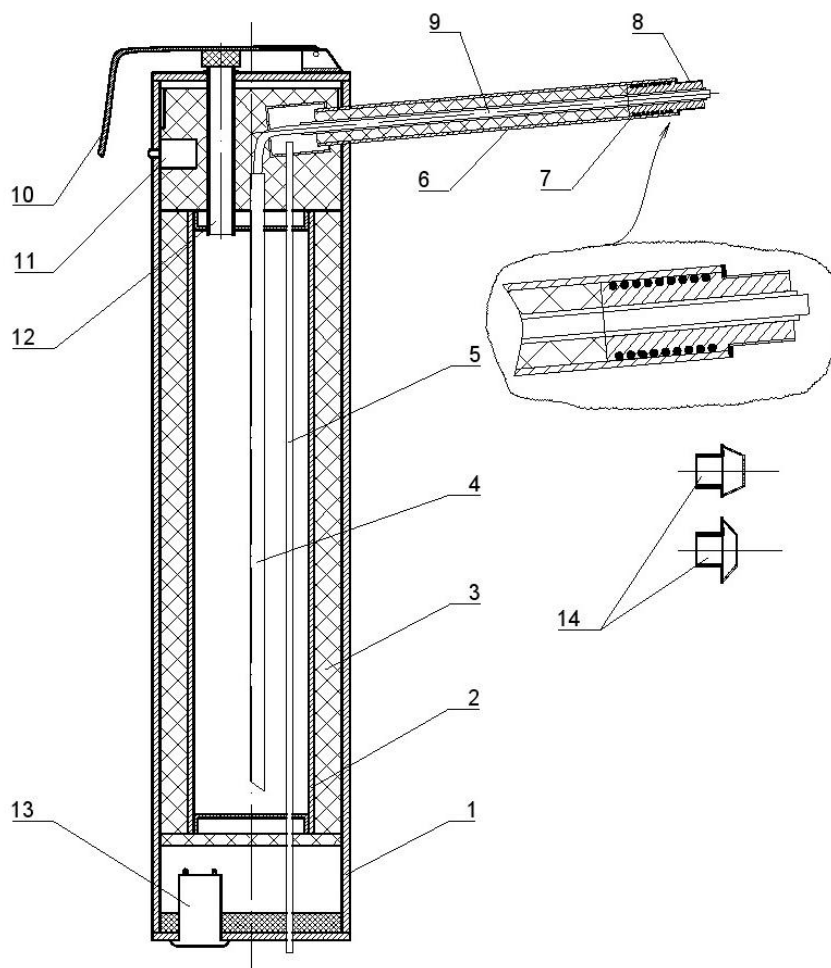


Рисунок 1 – Конструкция азотного криохирургического аппарата.

При подводе тепла к рабочему наконечнику вокруг погруженного в твердый хладоноситель криозонда начинает плавиться хладоноситель и появляется жидкая фаза с относительно большим термическим сопротивлением. Чтобы уменьшить температурные потери на этом участке необходимо оребрение криозонда. Однако, основной недостаток этой конструкции заключается в большой

температурной потере на неоребренном участке хладопровода между внешним корпусом аппарата и рабочим наконечником. Если принять, что выступающая часть хладопровода такая же как и у азотного аппарата, т.е. (100 ... 150) мм, и диаметр хладопровода равен (10 ... 15) мм, то при плотности теплового потока через хладопровод (10 ... 30) Вт/см², что имеет место при проведении

операций в гинекологии, онкологии, оториноларингологии, температурные потери на этом участке медного хладопровода могут достигать нескольких десятков градусов.

Если плотность теплового потока невелика (1 ... 3) Вт/см², что соответствует операциям в офтальмологии, дерматологии, стоматологии, то можно использовать медный криозонд. В этом случае температурные потери по внешней части криозонда длиной 10 см не превысят (5 ... 10) °С, что допустимо.

Избежать этих потерь можно двумя способами. Первый – сократить длину необреbranного хладопровода и второй – выполнить его в виде тепловой трубы. Сокращать длину выступающей части хладопровода можно при обработке легкодоступных органов, расположенных вблизи поверхности тела. Вторым способом следует применять при проведении операций в зонах, удаленных от поверхности тела, с обильным кровоснабжением.

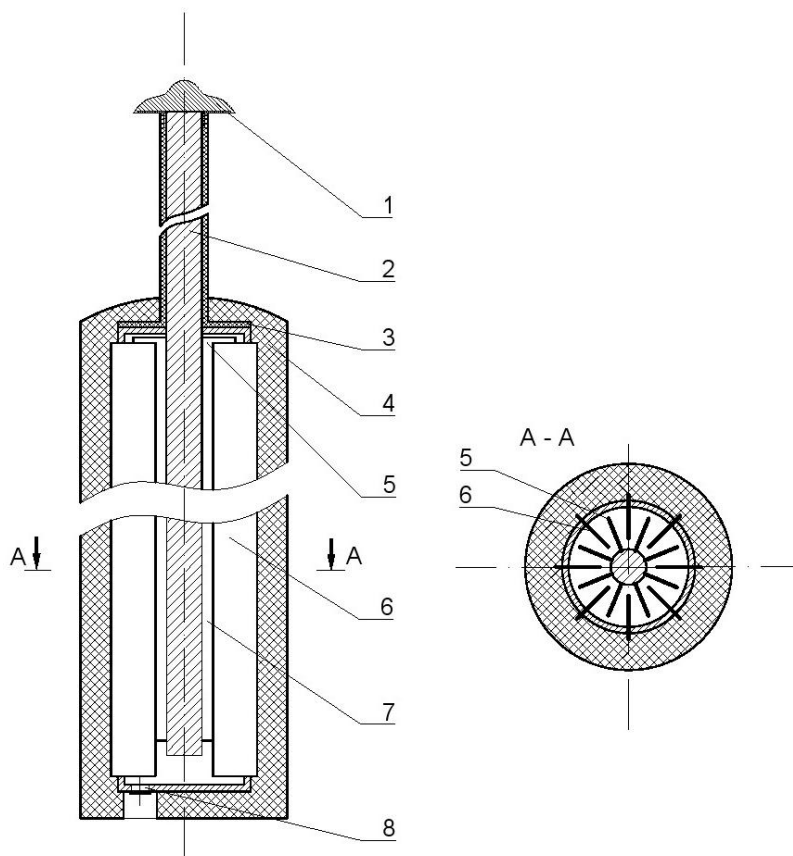


Рисунок 2 – Конструкция криохирургического аппарата, работающего на этиловом спирте, с медным стержнем-хладопроводом.

Таблица 1 – Теплофизические свойства веществ, применяемых в криозондах

Вещество	$P_{кр}$ бар	$T_{кр}$ °С	$r (T = -90^{\circ}\text{C})$ кДж/кг	$P_n (T = -90^{\circ}\text{C})$ бар	$P_n (T = 20^{\circ}\text{C})$ бар	T_z °С
Этан	48.8	32	481.8	1	40	-183
Этилен	51.6	9.5	452.5	2	-	-169.5
Метан	45.8	-83	230.4	37.5	-	-182
Пропан	42	96	440	0.1	8.7	-187
R- 12	41.9	28.8	189	0.029	5.69	-155
R- 13	49.9	28.7	152.8	0.63	31.8	-180
R- 13В1	41.3	67.5	128.3	0.158	14.3	-143.2
R-21	52.6	178.5	255.6	0.05	0.5	-135
R-22	50.8	96.1	261.5	0.048	9.09	-160
R-502	43	90	190.7	0.076	10.1	-

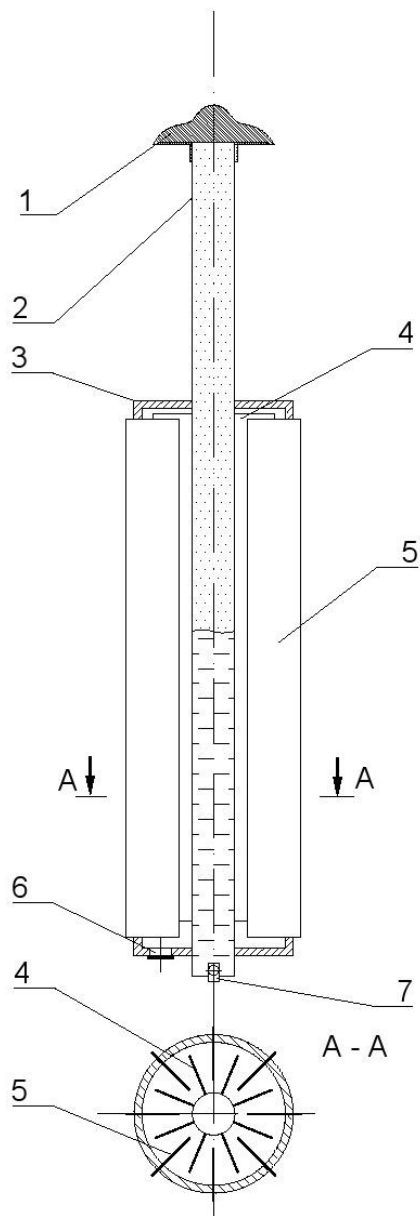


Рисунок 3 – Конструкция аппарата с хладопроводом в виде тепловой трубы: 1 – рабочий наконечник; 2 – тепловая труба; 3 – корпус; 4 – оребрение стержня; 5 – оребрение корпуса; 6 – заправочная горловина; 7 – заправочное устройство тепловой трубы.

После плавления рабочего тела в контейнере можно повторно заморозить без смены хладоносителя. При температуре окружающей среды хладоноситель находится в жидком состоянии. Таким образом, основное отличие этих двух видов криохирургических аппаратов заключается в том, что в одном случае после проведения операции меняется рабочее тело в контейнере, а в другом – оно повторно замораживается без изменения состава и массы рабочего тела.

На рисунке 3 показан аппарат с хладопроводом, выполненным в виде тепловой трубы.

Конструкция аппарата, в основном, такая же как и представленная на рисунке 2. В этом случае хладопровод выполнен полым. В полый криозонд заливается вещество, отличающееся от рабочего тела, находящегося в контейнере. В таблице 1 приведены некоторые теплофизические свойства веществ, которые могут служить в тепловых трубах криохирургических аппаратов. В таблице 1 обозначены: $P_{кр}$ – критическое давление, бар; $T_{кр}$ – критическая температура, °C; r – удельная теплота парообразования, кДж/кг; P_n – давление насыщения, бар; T_3 – температура замерзания, °C.

В тепловой трубе при подводе тепла к рабочему наконечнику вещество (этан, метан), находящееся в этой зоне, кипит и конденсируется в зоне хладопровода, находящейся внутри контейнера. Циркуляция кипящего и конденсирующегося вещества обеспечивает малые температурные потери по всему криозонду. При указанных выше плотностях тепловых потоков температурные потери по криозонду составляют около (3 ... 5) градусов.

При проведении операций в зонах с обильным кровоснабжением можно применять криоаппликаторы с тепловой трубой и полыми наконечниками (рисунок 4). Такое решение позволяет уменьшить тепловое сопротивление между криозондом и наконечником. На рисунке 4 показан такой наконечник. При навинчивании наконечника на криозонд стержень 6 отжимает шарик 3 и вещество, находящееся в тепловой трубе, поступает в полость наконечника и кипит в нем. Образовавшиеся пары возвращаются через то же перепускное отверстие в полости тепловой трубы, где снова охлаждаются и конденсируются. Пружина 5 позволяет вернуть шарик в исходное положение и отсечь полость наконечника от полости тепловой трубы.

Особенностью организации такого способа передачи холода является сложность подачи жидкости в верхнюю часть хладопровода при расположении рабочего наконечника выше уровня сконденсировавшейся жидкости в нижней части тепловой трубы. Эксплуатация такого аппарата не затруднена, если рабочий наконечник сориентирован в пространстве ниже контейнера и подача жидкости происходит самотеком за счет силы тяжести. В других случаях можно прибегнуть к использованию капиллярного эффекта и установить внутри трубы фитиль, позволяющий осуществить движение жидкости к рабочему наконечнику.

В нижней части тепловой трубы предусмотрено устройство 7 для периодической дозаправки трубы (рисунок 5). Такое устройство имеет смысл устанавливать, если аппарат работает с полым наконечником, т.е. имеют место постоянные утечки рабочего вещества в количестве, эквивалентном объему полости рабочего наконечника.

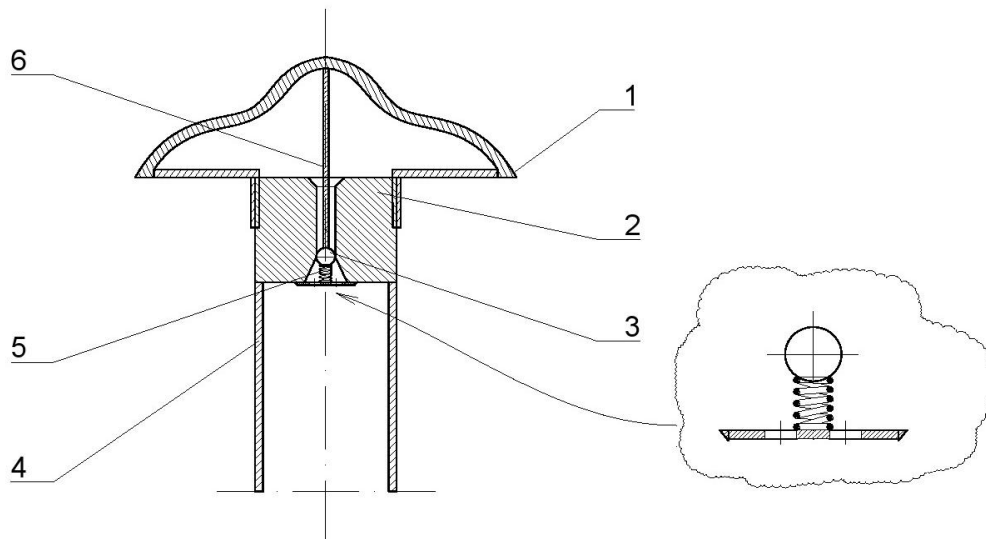


Рисунок 4 – Конструкция криоапликатора-аккумулятора холода с тепловой трубой:
 1 – рабочий наконечник; 2 – штуцер; 3 – шарик;
 4 – тепловая труба; 5 – пружина; 6 – шток.

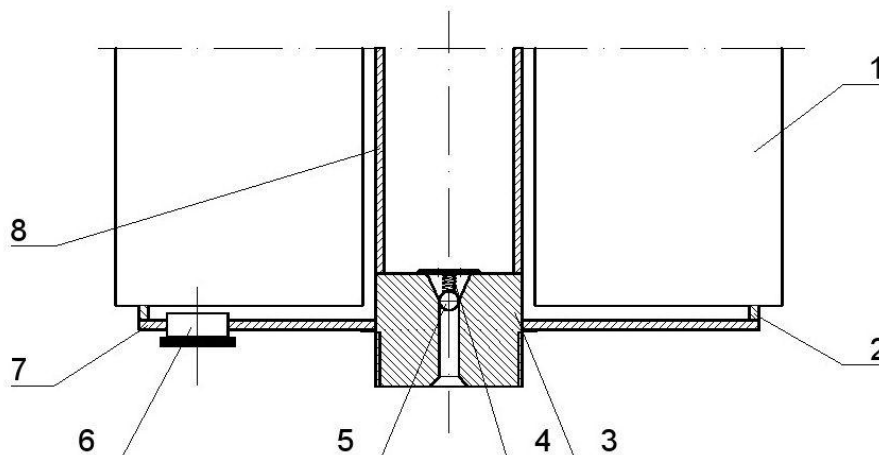


Рисунок 5 – Конструкция устройства для периодической дозаправки тепловой трубы:
 1 – ребро; 2 – обечайка корпуса; 3 – штуцер; 4 – пружина; 5 – шарик; 6 – заправочная
 горловина; 7 – днище корпуса; 8 – тепловая труба.

ВЫВОДЫ

Среди большого разнообразия криохирургических аппаратов наибольшее применение нашли азотные аппараты. Они используют самый эффективный фазовый переход – «жидкость – пар». Однако, их применение связано с расходом рабочего тела и возможно только там, где есть в наличии жидкий азот.

Рассмотренные криохирургические аппараты с фазовым переходом «жидкость – твердое тело» имеют как преимущества, так и недостатки. Применение медного криозонда перспективно в тех случаях, когда проведение криооперации связано с небольшими плотностями тепловых потоков (дерматология, стоматология, офтальмология, криопунктура).

В случаях, когда криохирургия проводится на органах с обильным кровоснабжением, в аппаратах должны применяться криозонды – тепловые трубы.

Предложены рабочие вещества для аппаратов с фазовым переходом «жидкость – твердое тело» в контейнере и для тепловых труб в криозондах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондаренко В.Л., Наер В.А., Симоненко Ю.М. Криогеника в современной медицине. – Холодильная техника и технология – №6 – 2007 – с. 1-7.
2. Наер В.А., Роженцев А.В., Хасан Весам Анвар Али. Рабочие вещества с фазовым переходом жидкость-твердое тело-жидкость для криохирургических аппаратов – Холодильная техника и технология – №6 – 2013 – с. 16-23.
3. V. Naer, A. Rozhentsev. Application of hydrocarbon mixtures in small refrigerating and cryogenic machines. – International Journal of Refrigeration – 27 (2004) – s. 484- 491.

V.A. Naer, A.V. Rozhentsev, Hasan Vesam Anvar Ali

Odessa National Academy of Food Technologies, Dvoryanskaya str., 1/3, Odessa, 65082, Ukraine

CRYOSURGICAL APPARATUSES – COLD ACCUMULATORS

Cryosurgical apparatuses exploiting a phase transition “liquid – vapour” of the working agent (nitrogen apparatus) and phase transition “liquid – solid state” of the working agent (ethanol apparatus) are considered in the paper. Schematics and design of the apparatuses with the heat load input directly to the operating nozzle/cap, through a special cryoprobe which was manufactured as a solid copper rode and in the form of heat pipe. The main distinctions of those apparatus imply that in the nitrogen apparatus the working agent (N₂) has to be replaced after every surgery unlike the ethanol apparatus where total amount of the working agent (ethanol) is steady and has to be just refreezed after surgery. Advantages and shortcomings of the considered designs are discussed. The prospects for the reported designs of the cryosurgical apparatus have been pointed out.

Key words: Cryosurgery – Cryoprobe – Heat pipe – Nitrogen – Ethanol – Phase transition.

REFERENCES

1. **Bondarenko V.L., Naer V.A., Simonenko Ju.M.** Cryogenics in modern medicine // Kholodilnaya tekhnika i tekhnologiya.[Refrigeration Engineering and Technology]. – 2007. – № 2. – P. 1-7. (Rus.).
2. **Naer V.A., Rozhentsev A.V., Hasan Vesam Anvar Ali.** Working agents with phase transition liquid-solid-liquid for cryosurgical apparatus // Kholodilnaya tekhnika i tekhnologiya.[Refrigeration

Engineering and Technology]. – 2013. – № 6. – P. 16-23. (Rus.).

3. **V. Naer, A. Rozhentsev.** Application of hydrocarbon mixtures in small refrigerating and cryogenic machines. International Journal of Refrigeration, 27. – 2004 – p. 484-491.

Отримана в редакції 09.09.2014, прийнята до друку 17.11.2014