Для цитирования: А.В. Шакуров, Л.М. Колышкин, Н.А. Андреев. Состояние и перспективы развития технического обеспечения криотерапевтического воздействия. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2020;47 (3):26-38. DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-3-26-38

For citation: A.V. Shakurov, L.M. Kolyshkin, N.A. Andreev. State and prospects of development of technical support for cryotherapy treatment. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2020;47(3):26-38.(In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-3-26-38

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, METAЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ MAШИНОСТРОЕНИЕ POWER, METALLURGICAL AND CHEMICAL MECHANICAL ENGINEERING

УДК: 621.565.82

DOI: 10.21822/2073-6185-2020-47-3-26-38

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КРИОТЕРАПЕВТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

А.В. Шакуров, Л.М. Колышкин, Н.А. Андреев

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (Национальный исследовательский университет)», 105005, г. Москва, ул. Бауманская 2-я, д. 5, стр. 1, Россия

Резюме. Цель. Общее криотерапевтическое воздействие на тело человека охлаждающим газом (ОГКВ) — физиотерапевтический метод, положительный эффект которого доказан более чем 40 годами использования (в том числе и в России, является одним из лидеров в данной области). Целью исследования являлась оценка перспектив развития технического обеспечения криомедицинского воздействия на органы человека. Метод. В работе представлены обзор и анализ текущего состояния технического обеспечения данного криометода. Результат. Показаны перспективы развития метода и направления для совершенствования оборудования. Отмечается, что развитие ОГКВ ограничивают, в первую очередь, недостаточная точность проведения криовоздействий и относительно высокая их стоимость. Вывод. Низкотемпературное терапевтическое оборудование потенциально может располагаться не только в медицинских, косметологических, спортивных учреждениях, но и в офисных центрах. Ключевым в данном направлении является развитие возможностей технического обеспечения, которое в дальнейшем позволит практикующим специалистам осуществить следующий импульс развития методик применения ОГКВ в направлении массового использования данного физического фактора в медицине.

Благодарности. Исследование выполняется при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых — кандидатов наук (МК-1838.2020.2).

Ключевые слова: криовоздействие, криотерапия, общая криотерапия, криосауна, криоагент, ПКХМ, исполнительное устройство, контроль воздействия, мониторинг температуры, автоматизация

STATE AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF TECHNICAL SUPPORT FOR CRYOTHERAPY TREATMENT

A.V. Shakurov, L.M. Kolyshkin, N. A. Andreev

Bauman Moscow State Technical University (National Research University), 2 Baumanskaya St., 5 buil., Moscow 1105005, Russia

Abstract. Objective. General cryotherapy effect on the human body with cooling gas is a physiotherapy method, the positive effect of which has been proven for more than 40 years of use (including in Russia, which is one of the leaders in this field). The objective of the study was to assess the prospects for the development of technical support for cryomedical effects on human organs. Methods.

The work presents an overview and analysis of the current state of the technical support of this cryomethod. **Results.** The prospects for the method development and directions for improving the equipment are shown. It is noted that the development of the method is limited primarily by the lack of accuracy of cryotherapy and relatively high cost. **Conclusion.** Low-temperature therapeutic equipment can potentially be located not only in medical, cosmetology, sports facilities but also in office centers. The key in this direction is the development of technical support capabilities, which will further allow practitioners to impulse the development of methods for applying cryotherapy with cooling gas in the mass use of this physical factor in medicine.

Acknowledgements. The research is supported by a grant from the President of the Russian Federation for State Support of Young Russian Scientists – Candidates of Science (MK-1838.2020.2).

Key words: cryotherapy, general cryotherapy, cryosauna, cryoagent, vapor compression refrigerating machine, executive device, impact control, temperature monitoring, automation

Введение. Использование холода в медицине известно с древних времен. Это один из нескольких традиционных методов оздоровления и облегчения физических страданий. В древней Греции, Персии, Римской империи, на Руси снег, смеси воды со льдом, холодная вода и другие источники холода, применялись (как и могут применяться сегодня) для профилактики и лечения широкого спектра травм и заболеваний [1, 11, 17, 19]. С течением времени, по мере развития цивилизации, техническое обеспечение данного вида физиотерапии развивалось. Наибольший импульс роста, как применения, так и развития такого оборудования наблюдался во второй половине XX века [2,18]. Следствием развития техники было развитие методик ее применения.

Постановка задачи. С развитием конкурирующих с холодом фармакологических средств, а также других физиотерапевтических методов в настоящее время область применения криомедицинского метода сузилась, однако сохраняются перспективы к его преобразованию для удовлетворения потребностей медицины будущего, для раскрытия которых необходимо повышать степень автоматизации и индивидуализации криовоздействия, чтобы «искусство врачевания» в данном случае становилось «ремеслом» [3, 21].

В зависимости от необходимости, охлаждать человека возможно, как локально (отдельную область организма), в целях терапии, криохирургии, криоконсервации, гипотермии и т.п., так и большую его часть – осуществлять общее охлаждение организма (только внешней его поверхности – с терапевтическими целями, либо вглубь – с целью осуществления общей гипотермии). Возможны также промежуточные методы общего охлаждения (например, моржевание – регулярное зимнее плавание в ледяной воде) [1,2,14].

С точки зрения низкотемпературной техники наибольший интерес вызывает терапевтическое общее газовое криовоздействие (ОГКВ, иначе называемое общей криотерапией), при проведении которого используется специализированное оборудование. ОГКВ - кратковременное охлаждение газом поверхности тела человека (за исключением наиболее чувствительных к холоду частей, закрытых защитной экипировкой и иногда головы и шеи, находящихся в таком случае в обычных условиях окружающей среды). Учитывая естественные преграды для теплообмена (например, в виде волосяного покрова), всего криовоздействию подвергается более половины поверхности тела пациента. Характерная длительность – 3 минуты. Цель – осуществить неглубокое охлаждение, понизив температуру поверхности тела до минимально безопасных значений, и одновременно с этим добиться неспецифического для человеческого организма понижения температуры покровных биологических тканей (кожи, жира, мышц, а также рецепторов нервной системы и капилляров сердечно-сосудистой системы), сопровождающегося последующим ответом организма. Эффективность применения охлаждающего газа по сравнению с водой обусловлена его низкой теплоемкостью, которая позволяет снижать опасность общего переохлаждения. Однако она же требует интенсификации конвективного теплообмена, например, значительного увеличения температурного напора между охлаждающим газом и пациентом (начальный температурный напор может превышать 170°C).

Основоположником ОГКВ считается японский врач Тосимо Ямаучи. Основными странами-разработчиками стали Германия (Р. Фрике), Польша (З. Загробельный) и СССР (Г.А. Головко, А.Ю. Баранов, Е.В. Майстрах, Ю.М. Губачев, И.С. Чернышев) [З, 7, 10]. ОГКВ применяется в различных областях профилактики и медицинской помощи [З, 4, 7, 10, 19], вызывает как локальные эффекты (положительное влияние на суставы, кожный покров и т.п.), так и общеукрепляющие (эффект нейрокриостимуляции — воздействия на нервную систему с целью закаливания организма). ОГКВ остается перспективным, но дорогим в применении и недостаточно оптимизированным с точки зрения точности дозирования методом.

Методы исследования. Установки ОГКВ состоят из трех основных частей [13]: исполнительного устройства (в котором находится человек, ИУ), блока охлаждения газа (БО) и блока управления (БУ). Исполнительные устройства применяются двух типов – с закрытым верхом – в них воздействию подвергаются в том числе голова и шея (рис.1, «whole body cryotherapy») и открытым верхом (рис. 3, за рубежом такое применение называется «partial body cryotherapy». Также они проектируются для проведения индивидуальных и групповых процедур. БО применяются на основе жидкого азота (температура газа на входе в кабину до минус 140 °С) и каскадных холодильных машин (температура газа в камере до минус 105 °С). Блоки управления современных установок имеют минимальный функционал для обеспечения выполнения программ охлаждения, оттайки и захолаживания, а также реализации человеко-машинного интерфейса.

Первыми, в 70-е годы XX века, в Японии по аналогии с низкотемпературными холодильными камерами были разработаны большие установки с азотными газификаторами, сосудами Дьюара большой емкости. ИУ таких установок похоже на сауну, они получили название «криосаун» (рис. 1).



а) Установка KRUOCAMBER (жидкий азот)



- б) Установка ARCTIC (жидкий воздух)
- b) ARCTIC unit (liquid air)

a) Installation KRUOCAMBER (liquid nitrogen)



- в) Установка ARCTIC (жидкий воздух)
- c) ARCTIC unit (liquid air)

Рис. 1. Установки общего газового криовоздействия (запас жидкого хладоагента, групповое ИУ)

Fig. 1. Installations of general gas cryoinfluence (stock of liquid refrigerant, group IV)

Высокая стоимость такого криогенного оборудования и потребность в поставках жидкого азота послужили импульсом для применения каскадных холодильных машин (Германия). Однако, и в данном случае, как высокие капитальные и эксплуатационные затраты при применении установок с групповыми ИУ, так и накопленный опыт их медицинской эксплуатации, привели к разработке индивидуальных установок с применением жидкого азота (в начале 90-х годов XX века) или с двухкаскадной холодильной машиной (в Германии в начале XXI века). В РФ параллельно были разработаны два типа таких установок (жидкий азот): в Санкт-

Петербурге д.т.н., проф. А.Ю. Барановым, и в Москве под руководством доктора Чернышева Е.В. Первая установка осуществляет «partial body cryotherapy» (производитель НПП «Крион», многократно копировались различными зарубежными производителями, и являются наиболее распространенными на мировом рынке), вторая — «whole body cryotherapy» (текущий производитель ГРАНД-Крио). Сегодня в разных странах применяются практически все ранее разработанные серийные и опытные образцы установок ОГКВ. Основные производители такого оборудования: НПП Крион, ГРАНД-Крио (Россия), МЕСОТЕС, Zimmer Medizin Systeme (Германия), ЈИКА, Asperia Group, Kriosystem Life, МЕТRUМ (Польша), Стуо Мапиfacturing (Франция). Установки также производят другие компании в США, Китае, Корее, Украине, Финляндии, Франция, Швеции и других странах [10, 11, 19].

Примером установки ОГКВ (жидкий азот, жидкий воздух) с групповыми ИУ (рис. 1) является польская KRUOCAMBER. Источником холода для таких установок является запас жидкого азота или воздуха (установка ARCTIC [22]), поступающего в теплообменный аппарат из криогенного резервуара за пределами здания. Сравнение энергозатрат при проведении ОГКВ в подобных групповых и индивидуальных азотных криосаунах [9] показало, что на одну процедуру в такой установке требуется в 1,5 раза больше электроэнергии и криоагента. Потребляемая электрическая мощность 1-2 кВт. Установка рассчитана на одновременное посещение 6 пациентами, имеет предкамеру с температурой минус 60 °С и основную камеру - от минус 100 до минус 150 °С. Рабочей средой в камере является воздух, охлаждаемый в теплообменном аппарате, расположенном за фальш-панелями в стене камеры.

Установки ОГКВ (трехкаскадные холодильные машины) с групповыми ИУ. Примером такой установки (рис. 2) является CrioSpaceCabin компании «Zimmer MedizinSysteme GmbH» (Германия).



a) общий вид установки «CrioSpaceCabin»
a) general view of the "CrioSpaceCabin" installation
(1 — процедурная камера treatment chamber; 2 — предкамера antecedent; 3 — трехкаскадная холодильная машина three-stage refrigerating machine; 4 — электрошкафы силового управления- power control electrical cabinets; 5 - конденсатор сарасitor)



б) внешний вид холодильного агрегата установки b) appearance of the refrigeration unit of the installation

Рис.2. Установки общего газового криовоздействия (трехкаскадные холодильные машины, групповое ИУ)

Fig. 2. Installations of the general gas cryoinfluence (three-stage refrigerating machines, group IU)

Источником холода в установке является трехкаскадная холодильная машина. На практике установку приходится захолаживать один раз на несколько дней непрерывной работы. Потребляемая электрическая мощность до 20 кВт. ИУ может быть выполнено в виде двух или трех камер (шлюзы) с различной температурой. Установка рассчитана на одновременное посещение 5-ю пациентами. Основная камера рассчитана на температуру среды до минус 110 °C (воздух в конце процедуры нагревается до -90°С...-85°С). Испаритель располагается под потолком и вдоль стены основной камеры. Воздух при этом циркулирует через решетки в стенках на уровне пола. Это позволяет добиться достаточно равномерного распределения температур в ИУ. Опыт процедур показывает, что при таких температурах пациент может дышать холодным

воздухом без вреда для здоровья, однако из-за большого количества инея в воздухе видимость при воздействии недостаточная. В РФ всего около 20 установок такого типа.

Установки ОГКВ (жидкий азот) с индивидуальным ИУ



а) внешний вид установкиа) installation appearance



б) криовоздействие b) cryotherapy

Рис.3. Установка КАЭКТ-01 (НПП «Крион», г. Санкт-Петербург) Fig. 3. Installation KAEKT-01 (NPP «Krion», St. Petersburg)

В установках типа «КАЭКТ-01-Крион» (рис.3) охлаждение газа происходит путем смешения комнатного воздуха с кипящим азотом в контактном тепломассообменном аппарате, в результате чего температура газа на входе в ИУ составляет от минус 130 до минус 150°С [7-10, 20]. Время выхода установки на режим составляет от 3 до 5 минут. Голова пациента не контактирует с газовой смесью, ИУ выполнено в виде теплоизолированного бассейна и в верхнем сечении свободно сообщается с атмосферой. На одну процедуру требуется от 5 до 6 литров жидкого азота.

Блок управления установки имеет следующий функционал: автоматическая осушка; таймер процедуры, запуск и выключение вентилятора; индикация температуры. Имеет в составе: пульт дистанционного управления, индикатор температуры, датчики (термопары на входе, выходе из кабины, в жидком азоте).

НПП «Крион» произвело более 800 установок. Опытный образец наиболее простой конструкции (рис. 4, а) - Криофуро Головко. ИУ такого аппарата имеет вид прямоугольного бассейна. Преимуществами данной конструкции являлись простота, быстрый выход на режим, мобильность. Недостатками: отсутствие возможности регулировать и контролировать воздействие, риск удушья, низкая эргономичность. Данная конструкция не получила широкого распространения.

Установка Icequeen («ГРАНД-Крио», (рис. 4, б-г) реализует принцип «whole body cryotherapy». Охлаждение происходит смесью азота и воздуха (в контактном тепломассообменном аппарате происходит смешивание воздуха и кипящего азота). В сосуде Дьюара создается избыточное давление и жидкий азот поступает в теплообменник колонны системы подготовки криогенного газа [15]. Полученный таким образом криогенный газ нагнетается внутрь ИУ по системе каналов и с помощью сопел, расположенных вертикальными рядами в верхней и средней частях ИУ, равномерно распределяется вдоль внутренней поверхности стенок корпуса ИУ, воздействуя на кожные покровы пациента.



а) Криофуро Головко a) Kriofuro Golovko



- в) внешний вид
- v) appearance



- б) Человеко-машинный интерфейс
- b) Human-machine interface



- г) схема
- g) scheme

Рис. 4. Криофуро Головко и установка Icequeen («ГРАНД-Крио», г. Москва) Fig. 4. Cryofuro Golovko and Icequeen installation (GRAND-Cryo, Moscow)

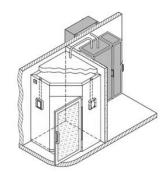
В рабочем пространстве могут поддерживаться температуры от минус 130 до минус 160°С. Данная установка является модернизацией установки Криомед-20/150-01 [16]. По данным [6] разность температур по высоте таких установок составляет около 20 °C, что подтверждает более равномерное распределение температуры в установках такой конструкции. Кроме того, Криомед-20/150-01 была снабжена тремя штатными датчиками температуры, два из которых расположены в ИУ и один на выходе из теплообменного аппарата. Это позволяет следить за температурой газа в течение процедуры, однако контроля температуры тела пациента не предусмотрено.

Новая установка совершеннее старой по времени выхода на режим и выполнена современнее в части дизайна. Расход азота составляет около 5 л на процедуру. Блок управления содержит современный человеко-машинный интерфейс (рис. 4 б) и выполнен из современных комплектующих.

Установка ОГКВ (двухкаскадная холодильная машина) с индивидуальным ИУ (рис.5). Последним концептуальным нововведением в данной области низкотемпературной техники был переход к применению индивидуальных ИУ в установках с каскадными холодильными машинами в 2005 г. компанией MecoTec GmbH в Германии (заправка R404a – 2,5 кг, R508b – 2,9 кг, потребляемая электрическая мощность 8-10 кВт). Однако, в данных камерах под тепловой нагрузкой криовоздействия температура воздуха повышается с -85 до -60..-70 °C, что не обеспечивает необходимого теплоотвода от пациента в условиях, приближенных к естественной конвекции (необходимо отводить не менее 1,5-2 кВт).

Согласно результатам вычислительного эксперимента, такой уровень температур и скоростей газа не позволяет получить полезный эффект при проведении процедуры ОГКВ [5], тем не менее установка применяется в медицинской практике. Холодильная машина располагается отдельно от камеры в металлическом шкафу, испаритель находится в потолочной части.

Подобная конструкция имеет потенциал для регулирования режимов охлаждения, что немаловажно для более эффективного проведения ОГКВ. В установке также учтена возможность визуального контроля процедуры за счет наличия стеклянной двери с электроподогревом для предотвращения конденсации влаги. Установка имеет штатный датчик температуры среды, однако контроля температуры объекта не предусмотрено.



a) структура установки a) installation structure



в) иней в ИУ v) frost in the IC



д) внешний вид холодильного агрегата d) appearance of the refrigeration unit



б) фото криовоздействия b) photo of cryotherapy



г) температура газа в конце воздействия g) gas temperature at the end of exposure



e) холодильный агрегат e) refrigeration unit

Рис.5. Установка Criohome (MecoTec GmbH, Германия) Fig. 5. Criohome plant (MecoTec GmbH, Germany)

Основные современные тенденции в разработке новых образцов оборудования ОГКВ (рис. 6-7): повышение мобильности установок, применение современных информационных технологий человеко-машинного интерфейса, расширение типов объектов охлаждения, совершенствование внутренних элементов конструкции и её внешнего вида.





а) внешний вид мобильных установок (Франция, Германия)

The state of the s

б) Установка RevoCryo (США): мобильная, с надувным ИУ

a) The appearance of mobile units (France, Germany) b) RevoCryo installation (USA): mobile, with inflatable PS

Puc.6. Тренды в развитии мобильных установок общего газового криовоздействия Fig. 6. Trends in the development of mobile installations for general gas cryoinfluence



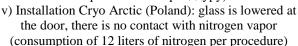
а) Установка CryoCabin (Финляндия) с установленной тепловизионной камерой и большим человеко-машинным интерфейсом а) Installation CryoCabin (Finland) with an installed thermal imaging camera and a large man-machine interface



производительности для ветеринарии
b) Plant REVIVE (Dubai) of high performance
for veterinary medicine



в) Установка Cryo Arctic (Польша): у двери опускается стекло, нет контакта с парами азота (потребление 12 литров азота на процедуру)





г) Установка компании СтуоЕсо (Франция), индивидуальное ИУ, трехкаскадная холодильная машина (до -110°С, потребляемая мощность 5,5 кВт). g) Installation by CryoEco (France), individual IU, threstage refrigeration machine (down to -110 ° C, power consumption 5.5 kW).

Puc.7. Тренды в развитии установок общего газового криовоздействия Fig. 7. Trends in the development of general gas cryoinfluence units

Обсуждение результатов. С точки зрения анализа блоков охлаждения установок

ОГКВ, крупные установки, использующие массивные теплообменные аппараты (жидкий азотвоздух или жидкий воздух-воздух) ввиду высоких капитальных и эксплуатационных затрат на данный момент устарели. Сегодня, в установках с индивидуальным ИУ применяют два типа тепломассобменных аппаратов БО. В установке КАЭКТ-01 применяется принцип подхватывания потоком более теплого газа из канала рециркуляции кипящего жидкого азота. Аппарат показал свою работоспособность, однако имеет большие габариты и теплоемкость (материалоемкость). Тепломассообменный аппарат установки Icequeen более компактен, он содержит смесительную камеру («циклон»), в которой распыляется жидкий азот, поступающий под избыточным давлением из сосуда Дьюара, содержащего электронагреватель. В аппарате и системе подачи газа в ИУ применяются современные материалы (сам корпус ИУ и боковые колонны аналог пластиковой гидромассажной ванны). В этом направлении перспективно проводить исследования в части регулирования работы БО. Что касается применения ПКХМ, применяются стандартные холодильные агрегаты, без их модификации для учета особенностей ОГКВ. Их основное преимущество, по сравнению с азотными системами – отсутствие необходимости организовывать доставку криогенной жидкости. Недостатки следующие. Каскадные (или смесевые) циклы с температурой кипения от -90 до -110 °C плохо подходят для условий кратковременных непостоянных воздействий.

Стоимость холодильных агрегатов значительно выше, чем стоимость азотного тепломассобменного аппарата и его обвязки (табл. 1).

Таблица 1.Основные характеристики установок общего газового криовоздействия Table 1. The main characteristics of the installations of the general gas cryotherapy

Показатели Indicators	КАЭКТ-01 «Кри-	Icequeen	CRIOHOME	Cryo Space Cabin
	0н»			
Ориентировочная стоимость	от 1,5	3	более 14,0	более 20,0
установки по ценам 2020				
года, млн. руб.				
Estimated cost of installation				
at 2020 prices, mill.rubl.				
Расход азота на процедуру,	до 6	до 5	-	=
кг				
Nitrogen consumption for the				
procedure, kg				
Время запуска установки,	от 3 до 5	около 3	от 120 до 240	от 240 до 400
мин				
Installation start-up time, min.				
Средняя температура в ка-	-120130	-130140	-70	-100
мере при процедуре, °С				
Average temperature in the				
chamber during the procedure,				
° C				
Потребляемая электриче-	1,5	1,5	8,5	15,0
ская мощность, кВт				
Consumed electric power, kW				

В этом направлении перспективно проводить исследования по повышению температуры охлаждающего газа с целью добиться применения одноступенчатого холодильного цикла и рассматривать такие БО как альтернативные азотным. Альтернативой же применению ПКХМ может быть применение разомкнутых циклов ВХМ. Однако прецедентов их использования в установках ОГКВ не выявлено.

Исполнительное устройство установок ОГКВ является теплообменным аппаратом, предназначенным для кратковременного захолаживания поверхности объекта с высоким внутренним влагосодержанием (следовательно, относительно высокой теплоемкости). Ключевыми недостатками их конструкций являются низкая степень учета особенностей объекта охлаждения (неравномерность теплового потока по его внешней поверхности, различные размеры объекта

ектов и т.п.) и высокая степень влияния внешнего теплопритока из помещений. Также температура газа в ИУ нерегулируема. Решением данных проблем может быть рассмотрение их конструкции с точки зрения решения задач проектирования систем жизнеобеспечения типа «воздухораспределение в компактном помещении». То есть, перспективно было бы локально организовывать различную подачу газа к объекту охлаждения. А также с точки зрения повышения энергоэффективности, необходимо применять меры по снижению влияния смешения холодного газа из ИУ с воздухом комнатной температуры (их плотность может отличаться до 3-х раз).

Исторически, первыми ИУ были стандартные холодильные камеры. Их преимуществом остается достаточная для дыхания концентрация кислорода (дыхание должно быть медленное, через маску, чтобы не было переохлаждения дыхательных путей). В них не предусмотрено индивидуального подхода к подаче газа, однако интенсивность охлаждения можно менять, используя относительное движение объекта по отношению к газу (передвижение пациента). Однако, для этого пространства низкотемпературных камер недостаточно. Для снижения теплопритока применяются шлюзовые камеры (значительно увеличивают объем установки). Устройств «запирания потока» типа устройств воздушной завесы дверного проема не применялось. В таких камерах потенциально возможно установить локальные побудители потока (например, вентиляторы), для выполнения требований учета особенностей объекта охлаждения. С появлением индивидуальных ИУ азотных установок ОГКВ, конструкция их ИУ стала постепенно специализироваться, все более напоминая специализированный аппарат. Ключевым недостатком открытых сверху в атмосферу ИУ является повышенная степень неравномерности охлаждения поверхности объекта охлаждения (снизу интенсивно охлаждается, сверху охлаждения нет). А ИУ с профилированным окном не позволяют объекту охлаждения двигаться, перемещаться, что также повышает неравномерность его охлаждения и несет за собой организационные трудности. Их текущее развитие находится на этапе теоретического исследования [5].

С точки зрения **блоков управления** установок ОГКВ, ключевыми их недостатками являются отсутствие возможности обеспечивать различные программы охлаждения, а также отсутствие мониторинга температуры объекта охлаждения. Потребитель нуждается в наличие различных «сценариев» охлаждения (от предельно простого и безопасного, до специфических физиотерапевтических вариантов).

В рассмотренных установках (табл. 1) имеется в основном автоматизация пуска, стабилизация режима подачи газа, сушка, таймер и быстрая остановка.

Нет функций регулирования, контроля интенсивности охлаждения во время воздействия (что важно для развития методической базы применения ОГКВ на практике), не учитывается, что есть разные объекты (телосложение и др. возможные варианты группировки объектов охлаждения). Следовательно, нет автоматического контроля качества ОГКВ, и ввиду недостатка автоматизации оборудование на местах эксплуатируется часто неграмотно, целевые режимы не соблюдаются.

Вывод. ОГКВ не направлено на лечение пациентов, имеющих диагнозы из ряда наиболее социально значимых заболеваний. Однако, наиболее перспективные задачи данного метода — не допустить угрожающего ухудшения здоровья пациента, либо без использования фармакологических лекарственных средств осуществлять локальное лечение покровных тканей, что обязательно должно быть среди приоритетных задач медицины будущего. Общий тренд процесса научно-технического развития заключается в снижении издержек при выполнении актуальных для общества задач, что в данном случае выражается в снижении требований к индивидуальной подготовке оператора оборудования (медицинского персонала) и в общем снижении потерь экономики ввиду выявления заболеваний только на поздних стадиях их развития за счет проведения профилактических мер и лечения без отрыва от профессиональной деятельности.

Низкотемпературное терапевтическое оборудование потенциально может располагаться не только в медицинских, косметологических, спортивных учреждениях, но и в офисных центрах. Однако, недостаточный учет особенностей различных людей (объектов охлаждения) ве-

дет к неоптимальной парадигме использования данного относительно дорогостоящего метода лечения. В этом тренде, дальнейшее развитие ОГКВ ограничивают в первую очередь: недостаточная точность проведения воздействий (для учета индивидуальных особенностей различных пациентов и различных направлений применения метода, каждое из которых имеет свои особенности), что лежит в общем тренде потребности в повышении степени автоматизации криовоздействий, и относительно высокая стоимость, как процедур, так и оборудования. Ключевым в данном направлении является развитие возможностей технического обеспечения воздействия, которое бы позволило практикующим специалистам осуществить следующий импульс развития методик применения ОГКВ в направлении массового использования данного физического фактора в медицине.

Библиографический список:

- 1. Баранов А.Ю., Василенок А.В., Соколова Е.В., Шестакова О.А. Теплофизические основы производства эффективной аппаратуры для общего криотерапевтического воздействия. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2018. №3. С. 39-57.
- 2. Баранов А.Ю., Осина А.А., Синькова В.А. Энергетические и конструктивные условия эффективности аппаратов для общего криотерапевтического воздействия. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2016. №4. С. 25-33.
- 3. Баранов А.Ю. Искусственный холод на службе здоровья. Вестник Международной академии холода. 2006. № 1. С. 12-14.
- 4. Баранов А.Ю. Криотерапия в спорте: технологии комментарии прогнозы. Медицина и спорт. 2006. № 5. С. 38.
- 5. Баранов А.Ю. Научные основы разработки аппаратуры для общего криотерапевтического воздействия: дис. ... доктора технических наук: 05.04.03 / Баранов Александр Юрьевич // Санкт-Петербург, 2014.
- 6. Баранов А.Ю. Проекту «Криотерапия в России 30 лет». В сборнике: Криотерапия в России Материалы IX Международной научно-практической конференции. 2017. С. 5-19.
- Баранов А.Ю. Разработка техники и технологии криогенной терапии. Холодильная техника. 2006. № 12. С. 34-39.
- 8. Баранов А.Ю. 25 лет научно-исследовательской работы в области техники и технологии общей криотерапии // Сборник докладов IV международной конференции «Криотерапия в россии». СПБ. 2011. С. 3-10.
- 9. Баранов А.Ю., Савельева А.В., Сидорова А.Ю. Оценка энергозатрат при работе установки общего криотерапевтического воздействия. Криотерапия в России. 2009. С. 164-177.
- 10. Баранов А.Ю., Шестакова О.А., Василёнок А.В. Двадцать лет клинической эксплуатации отечественных аппаратов для общего криотерапевтического воздействия. Холодильная техника. 2018. № 5. С. 30-35.
- 11. Бурков И.А., Жердев А.А., Пушкарев А.В., Шакуров А.В., Пушкарев А.В. Теплофизические параметры гипотермии. Медицинский вестник Башкортостана. 2014. Т. 9. № 6. С. 119-123.
- 12. Жердев А.А., Сергеева А.А. Взаимосвязь механизмов теплообмена и терморегуляции человека в низкотемпературных камерах // Холодильная техника. 2007. № 6. С. 44-47.
- 13. Жердев А.А., Шакуров А.В., Щелчков А.А. Способы реализации общей криотерапевтической процедуры. Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. 2012. № 5 (5). С. 14.
- 14. Исмаилов Т.А., Рагимова Т.А., Хазамова М. А. Криотермоаппликационная терапия в неврологии с использованием термоэлектрических преобразователей энергии. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2016. №3. С. 73-82.
- 15. Криотерапевтическое устройство [Текст]: пат. 130836U1 Рос. Федерация: МПК A61B 18/02 A61F 7/00.
- 16. ООО «Мед-Крионика». История проектов российских аэрокриотерапевтических комплексов. Сопоставительный анализ. URL: cryomed.ru.
- 17. Пушкарев А.В., Цыганов Д.И., Шакуров А.В., Шафранов В.В. Экспериментальное исследование малогабаритного криодеструктора для детской хирургии. Детская хирургия. 2016. Т. 20. № 5. С. 259-263.
- 18. Цыганов Д.И. Криомедицина: процессы и аппараты. Москва: САЙНС-ПРЕСС, 2011. С. 304.
- 19. Bouzigon, R., Grappe, F., Ravier, G., Dugue, B. Whole- and partial-body cryostimulation/cryotherapy: Current technologies and practical applications (2016) Journal of Thermal Biology, 61, pp. 67-81.
- 20. Leonov V.P., Kolishkin L.M., Voronov V.A., Shakurov A.V. Experimental and computational study of the vertical axis temperature gradient of the liquid nitrogen individual cryo-cabin.
- 21. Shakurov A.V., Pushkarev A.V., Pushkarev V.A., Tsiganov D.I. Prerequisites for developing new generation cryosurgical devices (review). Sovremennye tehnologii v medicine 2017; 9(2): 178–189, https://doi.org/10.17691/stm2017.9.2.23.
- 22. Strnad, Petr, Lenka Forýtková and Wieslawv Brojek. The Liquid Air Cryochambers for Whole-Body Cryotherapy. In Proceedings 10th Cryogenics 2008 International Conference. 2008. ISBN 978-2-913149-62-5.

References:

- 1. Baranov A.YU., Vasilenok A.V., Sokolova Ye.V., Shestakova O.A. Teplofizicheskiye osnovy proizvodstva effektivnoy apparatury dlya obshchego krioterapevticheskogo vozdeystviya. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki. 2018. №3. S. 39-57. [Baranov A. Yu., Vasilenok A.V., Sokolova E. V., Shestakova O. A. Thermophysical bases of production of effective equipment for General cryotherapy. Herald of Dagestan state technical University. Technical science. 2018. No. 3. pp. 39-57. (In Russ)]
- 2. Baranov A.YU., Osina A.A., Sin'kova V.A. Energeticheskiye i konstruktivnyye usloviya effektivnosti apparatov dlya obshchego krioterapevticheskogo vozdeystviya. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki. 2016. №4. S. 25-33. [Baranov A. Yu., Osina A. A., Sinkova V. A. Energy and design conditions for the effectiveness of devices for General cryotherapy. Herald of Dagestan state technical University. Technical science. 2016. No. 4. Pp. 25-33. (In Russ)]
- 3. Baranov A.YU. Iskusstvennyy kholod na sluzhbe zdorov'ya. Vestnik Mezhdunarodnoy akademii kholoda. 2006. № 1. S. 12-14. [Baranov A. Yu. Artificial cold in the service of health. Bulletin of the International Academy of cold. 2006. No. 1. pp. 12-14. (In Russ)]
- 4. Baranov A.YU. Krioterapiya v sporte: tekhnologii kommentarii prognozy. Meditsina i sport. 2006. № 5. S. 38. [Baranov A.Yu. Cryotherapy in sports: technologies and forecasts. Medicine and sports. 2006. No. 5. p. 38. (In Russ)]
- 5. Baranov A.YU. Nauchnyye osnovy razrabotki apparatury dlya obshchego krioterapevticheskogo vozdeystviya: dis. ... doktora tekhnicheskikh nauk: 05.04.03 / Baranov Aleksandr Yur'yevich // Sankt-Peterburg, 2014. [Baranov A.Yu. Scientific bases of development of equipment for General cryotherapy: dis.... doctor of technical Sciences: 05.04.03 / Baranov Alexander Yurievich // Saint Petersburg, 2014. (In Russ)]
- 6. Baranov A.YU. Proyektu «Krioterapiya v Rossii 30 let». V sbornike: Krioterapiya v Rossii Materialy IKH Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. 2017. S. 5-19. [Baranov A.Yu. The project "Cryotherapy in Russia for 30 years". In the collection: Cryotherapy in Russia Materials of the IX International scientific and practical conference. 2017. pp. 5-19. (In Russ)]
- 7. Baranov A.YU. Razrabotka tekhniki i tekhnologii kriogennoy terapii. Kholodil'naya tekhnika. 2006. № 12. S. 34-39. [Baranov A.Yu. Development of cryogenic therapy techniques and technologies. Refrigeration equipment. 2006. No. 12. pp. 34-39. [In Russ)]
- 8. Baranov A.YU. 25 let nauchno-issledovatel'skoy raboty v oblasti tekhniki i tekhnologii obshchey krioterapii // Sbornik dokladov IV mezhdunarodnoy konferentsii «Krioterapiya v rossii». SPB. 2011. S. 3-10. [Baranov A.Yu. 25 years of research work in the field of General cryotherapy technique and technology // Collection of reports of the IV international conference "Cryotherapy in Russia". SPB. 2011. pp. 3-10. (In Russ)]
- 9. Baranov A.Yu., Savel'yeva A.V., Sidorova A.Yu. Otsenka energozatrat pri rabote ustanovki obshchego krioterapevticheskogo vozdeystviya. Krioterapiya v Rossii. 2009. S. 164-177. [Baranov A.Yu., Saveleva A.V., Sidorova A.Yu. Assessment of energy consumption during the operation of the General cryotherapy unit. Cryotherapy in Russia. 2009. pp. 164-177. (In Russ)]
- 10. Baranov A.YU., Shestakova O.A., Vasilonok A.V. Dvadtsat' let klinicheskoy ekspluatatsii otechestvennykh apparatov dlya obshchego krioterapevticheskogo vozdeystviya. Kholodil'naya tekhnika. 2018. № 5. S. 30-35. [Baranov A. Yu., Shestakova O. A., Vasilenok A.V. Twenty years of clinical operation of domestic devices for General cryotherapy. Refrigeration equipment. 2018. No. 5. pp. 30-35. (In Russ)]
- 11. Burkov I.A., Zherdev A.A., Pushkarev A.V., Shakurov A.V., Pushkarev A.V. Teplofizicheskiye parametry gipotermii. Meditsinskiy vestnik Bashkortostana. 2014. T. 9. № 6. S. 119-123. [Burkov I. A., Zherdev A. A., Pushkarev A.V., Shakurov A.V., Pushkarev A.V. Thermophysical parameters of hypothermia. Medical Bulletin of Bashkortostan. 2014. Vol. 9. No. 6. pp. 119-123. (In Russ)]
- 12. Zherdev A.A., Sergeyeva A.A. Vzaimosvyaz' mekhanizmov teploobmena i termoregulyatsii cheloveka v niz-kotemperaturnykh kamerakh // Kholodil'naya tekhnika. 2007. № 6. S. 44 -47. [Zherdev A. A., Sergeeva A. A. Interrelation of mechanisms of heat exchange and human thermoregulation in low-temperature chambers // Refrigerating equipment. 2007. No. 6. pp. 44-47. (In Russ)]
- 13. Zherdev A.A., Shakurov A.V., Shchelchkov A.A. Sposoby realizatsii obshchey krioterapevticheskoy protsedury. Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. N.E. Baumana. 2012. № 5 (5). S. 14. [Zherdev A. A., Shakurov A.V., Shchelchkov A. A. Ways to implement a General cryotherapy procedure. Bulletin of the Bauman Moscow state technical University. 2012. No. 5 (5). P. 14. (In Russ)]
- 14. Ismailov T.A., Ragimova T.A., Khazamova M. A. Kriotermoapplikatsionnaya terapiya v nevrologii s ispol'zovaniyem termoelektricheskikh preobrazovateley energii. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki. 2016. №3. S. 73-82. [Ismailov T. A., Ragimova T. A., Khazamova M. A. Cryo thermo application therapy in neurology using thermoelectric energy converters. Herald of Dagestan state technical University. Technical science. 2016. No. 3. pp. 73-82. (In Russ)]
- 15. Krioterapevticheskoye ustroystvo [Tekst]: pat. 130836U1 Ros. Federatsiya: MPK A61B 18/02 A61F 7/00. [Cryotherapy device [Text]: Pat. 130836U1 ROS. Federation: IPC A61B 18/02 A61F 7/00. (In Russ)]

- 16. OOO «Med-Krionika». Istoriya proyektov rossiyskikh aerokrioterapevticheskikh kompleksov. Sopostavitel'nyy analiz. URL: cryomed.ru. [Med-Cryonics LLC. Project history of the Russian cryotherapeutic systems. Comparative analysis. URL: cryomed.ru. (In Russ)]
- 17. Pushkarev A.V., Tsyganov D.I., Shakurov A.V., Shafranov V.V. Eksperimental'noye issledovaniye malogabaritnogo kriodestruktora dlya detskoy khirurgii. Detskaya khirurgiya. 2016. T. 20. № 5. S. 259-263. [Pushkarev A.V., Tsyganov D. I., Shakurov A.V., Shafranov V. V. Experimental study of a small-size cryodestructor for pediatric surgery. Pediatric surgery. 2016. Vol. 20. No. 5. pp. 259-263. (In Russ)]
- 18. Tsyganov D.I. Kriomeditsina: protsessy i apparaty. Moskva: SAYNS-PRESS, 2011. C. 304. [Tsyganov D. I. Cryomedicine: processes and devices. Moscow: SCIENCE PRESS, 2011. C. 304. (In Russ)]
- 19. Bouzigon, R., Grappe, F., Ravier, G., Dugue, B. Whole- and partial-body cryostimulation/cryotherapy: Current technologies and practical applications (2016) Journal of Thermal Biology, 61, pp. 67-81.
- 20. Leonov V.P., Kolishkin L.M., Voronov V.A., Shakurov A.V. Experimental and computational study of the vertical axis temperature gradient of the liquid nitrogen individual cryo-cabin.
- 21. Shakurov A.V., Pushkarev A.V., Pushkarev V.A., Tsiganov D.I. Prerequisites for developing new generation cryosurgical devices (review). Sovremennye tehnologii v medicine 2017; 9(2): 178–189, https://doi.org/10.17691/stm2017.9.2.23.
- 22. Strnad, Petr, Lenka Forýtková and Wieslawv Brojek. The Liquid Air Cryochambers for Whole-Body Cryotherapy. In Proceedings 10th Cryogenics 2008 International Conference. 2008. ISBN 978-2-913149-62-5.

Сведения об авторах:

Шакуров Алексей Валерьевич, кандидат технических наук, заведующий отделом 3.1 НИИ ЭМ,

e-mai: shakurov@bmstu.ru

Колышкин Леонид Михайлович, аспирант, e-mai: leonid-kn@mail.ru Андреев Николай Алексеевич, студент, e-mai: al-nikoly@yandex.ru

Information about the authors:

Aleksey V. Shakurov, Cand. Sci., (Technical) Head of Department 3.1 Research Institute of EM,

e-mai: shakurov@bmstu.ru

Leonid M. Kolyshkin, graduate student, e-mai: leonid-kn@mail.ru

Nikolay A. Andreev student, e-mai: <u>al-nikoly@yandex.ru</u>

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. **Поступила в редакцию** 12.08.2020. **Принята в печать** 10.09.2020.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest. **Received** 12.08.2020.

Accepted for publication 10.09.2020.