

DOI: <https://doi.org/10.17816/RF609501>

Регулируемое общее газовое криовоздействие на человека

А.В. Шакуров

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет), Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

На основе анализа технического уровня, находящегося в эксплуатации оборудования, реализующего общее криовоздействие на организм человека, была выявлена проблема повышения точности дозирования криовоздействия и, соответственно, точного и равномерного охлаждения биообъекта, что потребовало проведения исследований проблем его регулируемого охлаждения. Разработано средство прогнозирования результата криовоздействия и определен диапазон рациональных параметров подачи газа в исполнительное устройство установки при выполнении регулируемого криовоздействия (от 40 до 70 г/сек, от -140 до -160 °С). Разработан и создан экспериментальный образец установки нового типа, который позволяет проводить криовоздействие с изменением основных параметров работы оборудования в широком диапазоне температуры потока охлаждающего газа от -50 до -160 °С, скорости набегающего потока от 0,1 до 2 м/с, времени криовоздействия до 420 сек. Вместе со средством прогнозирования, он образует комплекс по исследованию и регулируемому выполнению криовоздействия в широком диапазоне рабочих параметров. Разработаны алгоритмы выполнения регулируемых режимов для различных биообъектов и различных целей воздействия и выработаны рекомендации, что позволяет осуществлять практическое применение предложенной концепции.

Ключевые слова: криовоздействие; криотерапия; регулирование; концепция.

Как цитировать:

Шакуров А.В. Регулируемое общее газовое криовоздействие на человека // Холодильная техника. 2023. Т. 112, № 1. С. 49–52.

DOI: <https://doi.org/10.17816/RF609501>

DOI: <https://doi.org/10.17816/RF609501>

Adjustable partial body cryotherapy

Alexey V. Shakurov

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Based on an analysis of the technical level of equipment utilized in cryotherapy, the issue of increasing the dosing accuracy and, accordingly, ensuring accurate and uniform cooling of a biological object was identified, which required research into the issues of controlled cooling. A software for predicting the result of cryotherapy has been developed, and a range of rational parameters for supplying gas to the cabin of the installation has been determined when performing controlled cryotherapy (i.e., from 40 to 70 g/s and from -140°C to -160°C). An experimental model of a new type of installation, which enables cryotherapy to be conducted with changes in the main parameters of the equipment in operation in a wide range of cooling gas flow temperatures from -50°C to -160°C , free-flow velocity from 0.1 to 2 m/s, and cryotherapy time up to 420 s, has been developed and implemented. The experimental model, together with the prediction software, forms a complex system for research and controlled implementation of cryotherapy in a wide range of operating parameters. Algorithms for implementing regulated modes for various biological objects and purposes of exposure have been developed and recommendations have been provided, enabling the practical application of the proposed concept.

Keywords: cryotherapy; cryostimulation; regulation; concept.

To cite this article:

Shakurov AV. Adjustable partial body cryotherapy. *Refrigeration Technology*. 2023;112(1):49–52. DOI: <https://doi.org/10.17816/RF609501>

Received: 13.10.2023

Accepted: 21.10.2023

Published online: 01.12.2023

Общее газовое криотерапевтическое воздействие (ОГКВ, криовоздействие) — это интенсивное охлаждение большей части поверхности тела человека длительностью от 3 до 6 минут с целью достижения ответной реакции (усовершенствованное «закаливание организма»).

Недостаточная точность дозирования охлаждения объекта существенно влияет на потребительские характеристики: на снижение температуры кожи и однородность охлаждения [1]. При охлаждении различных людей применяется один и тот же режим подачи газа. Это приводит к тому, что при одинаковой длительности криовоздействия у различных людей достигается различная средняя температура поверхности, а также наблюдается значительная неоднородность в охлаждении торса и конечностей (более 10 К). Изменение длительности при этом не снимает проблемы неоднородности охлаждения. При этом, установку для врача можно трактовать как «черный ящик». В итоге, на практике — «слепая эмпирика», сопровождающаяся недостаточными длительностью и точностью криовоздействия. Следовательно, необходимо определить диапазон режимов подачи газа и техническая возможность для проведения медико-биологических исследований по учету различий в телосложении и других особенностей человека.

Кроме того, низкая энергетическая эффективность выполнения ОГКВ существенно влияет на основной технико-экономический показатель — себестоимость. Анализ источников подводимой к азоту теплоты показал, что около 70% ее затрачивается на потери. Это связано с тем, что используются эмпирические условия подачи газа к человеку (скорость, направление потока, форма и расположение каналов), имеются высокие теплопритоки из-за недостатков конструкции. Следовательно, необходимо провести теплофизические исследования границы человек-окружающая среда, совершенствовать блоки охлаждения и снижать теплопритоки.

Литературный поиск показал, что готовых решений вышеперечисленных проблем не известно. Предложено изменить принцип создания оборудования для ОГКВ от погружения объекта (человека) в хладоноситель до регулируемой его подачи к объекту с обратной связью по температуре поверхности. Критерии точности регулирования:

1. отличие достигнутой конечной средней температуры от заданной (ошибка);
2. разница средних температур на участках поверхности кожи человека (однородность).

Были подготовлены модели ОГКВ (объекта и оборудования) и, соответствующая им, компьютерная программа расчета [2]. На их основе был проведен расчет режимов подачи охлаждающего газа. Используются следующие возможности программы расчета: прогнозирование произвольного воздействия (тепловой поток, температура поверхности, скорость и температура газа), проектирование оборудования с использованием

цифрового двойника. Используются следующие критерии выбора режима: повышение однородности конечной температуры компартментов (торс и конечности), снижение потребления жидкого азота. Общий поток теплоты от человека к газу не является критерием выбора режима. Получен диапазон режимов для объектов различного телосложения. Разница температуры компартментов от 4 до 10 К. Расчетное потребление жидкого азота в установленном режиме от 8 до 14 г/сек (до 16 минут работы от одного сосуда Дьюара объемом 25 литров). Следовательно, на основе моделей объекта и оборудования было подготовлено средство прогнозирования криовоздействия.

К разрабатываемой установке были выдвинуты следующие технические требования:

1. Расчетная длительность охлаждения (подача газа) до 7 минут.
2. За первые 30 секунд температура газа на входе в исполнительное устройство должна достигнуть значений не выше минус 60 °С.
3. Далее температура газа на входе в исполнительное устройство должна иметь возможность поддерживаться до минус 180 °С. Система регулирования должна иметь возможность менять температуру подаваемого газа в зависимости от текущих требований алгоритма. В том числе иметь регулирование частоты вращения вентилятора и средства направленной подачи газа.
4. Для обеспечения поддержания необходимого количества охлаждающего газа в исполнительное устройство и выполнения требований эргономики объем внутреннего пространства исполнительного устройства должен быть не менее 1 м³.
5. Расход жидкого азота при проведении воздействия не должен превышать 2,2 литра в минуту.
6. Установка должна иметь средства контроля температуры поверхности объекта охлаждения.

По результатам выполненных работ была изготовлена установка [1, 3] и проведены ее испытания:

1. Апробирован диапазон регулируемых режимов подачи газа.
2. Достигнуто повышение однородности охлаждения (признаки — в среднем минимальная температура выше до 5 К, диапазон значений температуры поверхности уменьшен до 25%, выражен характерный пик).
3. Расхождение между расчетом и экспериментом по средней температуре поверхности было не более 1,2 К.

Предложены алгоритмы выполнения регулируемых режимов ОГКВ [1]. Алгоритм выполнения режимов ОГКВ — последовательность изменения степеней свободы при одновременно конвективном и радиационном охлаждении объекта, которая характеризуется упрощенно режимом подачи газа в исполнительное устройство.

Разработанная конструкция позволяет конфигурировать режим подачи газа согласно цели произвольного криовоздействия, изменяя:

1. частоту вращения вентилятора от 10 до 50 Гц (расход газа);
2. расход жидкого азота от 10 до 30 гр./сек (расход и температура газа);
3. направление потока приточной струи;
4. длительность криовоздействия.

Возможно как повышать однородность охлаждения, так и регулировать криовоздействие локально. Подбор конкретных значений параметров режима охлаждения необходимо проводить в рамках медико-биологических исследований, для которых подготовлена основа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведённых исследований и разработок предложены научные основы совершенствования процессов и аппаратов установок ОГКВ и подготовлен комплекс оборудования по исследованию и выполнению регулируемого криовоздействия, в составе которого:

1. Компьютерная программа прогнозирования результата ОГКВ. Она предоставляет данные по температуре и тепловому потоку для проверки выполнения задачи криовоздействия. Расхождение расчетных и экспериментальных данных по средней температуре кожи не более $\pm 1,2$ К.
2. Установка, выполняющая регулируемое ОГКВ.

Решение поставленной проблемы и последующее внедрение изложенных технических решений сделает

возможным импорт-независимое лечебное и профилактическое применение индивидуализированного закаливания организма, в первую очередь необходимое людям, работающим в опасных, экстремальных условиях. Его эффект заключается в снижении рисков при воздействии опасных факторов профессиональной деятельности, в повышении качества жизни и в увеличении производительности труда, что необходимо для развития общества и государства в социально-экономических условиях XXI века.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Конфликт интересов. Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-19-00018, <https://rscf.ru/project/22-19-00018/>.

ADDITIONAL INFORMATION

Competing interests. The author declare that they have no competing interests.

Funding source. This work was supported by the Grant of the Russian Science Foundation №22-19-00018, <https://rscf.ru/project/22-19-00018/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Voronov V.A., Kolishkin L.M., Shakurov A.V., et al. Experimental evaluation of partial body cryotherapy unit with gas supply regulation // *IIR*. 2023. Vol. 155. P. 105–113. doi: 10.1016/j.ijrefrig.2023.08.001
2. Burkov I.A., Kolishkin L.M., Pushkarev A.V., et al. Experimental and computational thermal analysis of partial-body cryotherapy // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2022. Vol. 183, N 4. P. 122194. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.122194

REFERENCES

1. Voronov VA, Kolishkin LM, Shakurov AV, et al. Experimental evaluation of partial body cryotherapy unit with gas supply regulation. *IIR*. 2023;155:105–113. doi: 10.1016/j.ijrefrig.2023.08.001
2. Burkov IA, Kolishkin LM, Pushkarev AV, et al. Experimental and computational thermal analysis of partial-body

3. Шакуров А.В., Колышкин Л.М. Исследование режимов работы криогенного распылительного смесительного газификатора с регулируемой производительностью // *Химическое и нефтегазовое машиностроение*. 2023. № 2. С.19–23. doi: 10.1007/s10556-023-01217-1

cryotherapy. *Int. J. Heat Mass Transf.* 2022;183(4):122194. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.122194

3. Shakurov AV, Kolyshkin LM. Study of operating modes of a cryogenic spray mixing gasifier with adjustable capacity. *Khimicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie*. 2023;2:19–23. (In Russ). doi: 10.1007/s10556-023-01217-1

ОБ АВТОРЕ

Шакуров Алексей Валерьевич,

канд. техн. наук, доцент;

адрес: Российская Федерация, 105005, Москва,

Лефортовская наб., д. 1;

ORCID: 0000-0001-6110-8101;

eLibrary SPIN: 1894-4707;

e-mail: shakurov@bmstu.ru

AUTHORS' INFO

Alexey V. Shakurov,

Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor;

address: 1 Lefortovskaya Naberezhnaya, 105005 Moscow,

Russian Federation;

ORCID: 0000-0001-6110-8101;

eLibrary SPIN: 1894-4707;

e-mail: shakurov@bmstu.ru