

УДК [622.867.3: 614.895.5]:[621.56:546.171.175]

В.В. Мамаев, д-р техн. наук, замдиректора, В.О. Положий, канд. техн. наук, завотделом, О.В. Папазова, ст. науч. сотр., Е.В. Попов, науч. сотр. НИИГД «Респиратор», Донецк

ПАКЕТ ДЛЯ ЛОКАЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ПОСТРАДАВШИХ ПРИ ПЕРЕГРЕВАНИИ И ТРАВМАХ

V.V. Matayev, Dr. Sci. (Tech.), deputy director, V.O. Polozhiy, Cand. Sci. (Tech.), department head, O.V. Papazova, senior researcher, Ye.V. Popov, research worker (NIIGD "Respirator", Donetsk)

BAG FOR THE LOCAL COOLING OF VICTIMS BY OVERHEATING AND INJURIES

Цель. Обоснование параметров пакета для оказания помощи потерпевшим при перегревании и механических травмах в результате использования нитрата аммония с улучшенными характеристиками, которые обеспечивают повышение эффективности его применения.

Методика. Экспериментальные методы исследований эндотермических и тепломассообменных процессов в охлаждающем пакете с другим типом нитрата аммония для определения температуры водно-солевого раствора и эффективности применения, проведенные в лабораторных условиях НИИГД «Респиратор»; теоретические – исследование тепломассообменных процессов в пакете для определения перепада температуры водно-солевого раствора и температуры на его поверхности.

Результаты. Усовершенствованы параметры пакета: сокращено время приведения его в действие, снижено усилие, прикладываемое к пакету для его активации, увеличен срок службы в режиме ожидания к применению.

Научная новизна. Раскрыты закономерности эндотермических и тепломассообменных процессов в пакете при использовании нитрата аммония с улучшенными характеристиками, на основании которых усовершенствованы основные параметры пакета.

Практическая значимость. Результаты исследований использованы при создании и внедрении пакетов химических охлаждающих (ПХО-1), применение которых позволяет оказывать доврачебную помощь пострадавшим при перегревании и механических травмах, сохраняя их здоровье и жизнь, сократить расходы на лечение и выплаты из-за профессионального заболевания.

Ключевые слова: перегревание, пострадавший, теплообмен, охлаждающий пакет, температура, тепловое состояние.

Введение. Во многих производственных процессах, а также при ведении аварийно-спасательных работ подразделениями ГСЧС и ГВГСС возникают экстремальные микроклиматические условия (повышенная температура, влажность, не пригодная для дыхания среда и др.). Так, в настоящее время около 30 % угольных шахт Украины работает в условиях нагревающего микроклимата (температура воздуха достигает 40 °С при влажности до 100 %). Неблагоприятные микроклиматические условия возникают также в металлургической, химической, стекольной, атомной отраслях промышленности, где температура воздуха на отдельных рабочих местах меняется от 40 до 50 °С в летний период, особенно при ремонте плавильных печей, теплоэлектроцентралей.

Это часто приводит к перегреванию организма рабочих, потере их здоровья, иногда и жизни, большим затратам на лечение и выплату регрессов.

Одной из наиболее эффективных мер, направленных на предупреждение перегревания работников в этих условиях, является применение средств индивидуальной противотепловой защиты с использованием водолеяной системы охлаждения (жилетов, курток, костюмов), которыми оснащены подразделения ГВГСС и частично ГСЧС. В случае непредвиденных обстоятельств используются костюмы экстренного охлаждения пострадавших при перегревании и механических травмах с водолеяной системой охлаждения [1].

Для применения водолеяной системы охлаждения при оказании помощи пострадавшим от перегревания во многих случаях необходимо иметь установки для замораживания водяных элементов ОЭ-2, средства для их доставки к месту ведения работ и хранения (теплоизолирующие контейнеры), костюмы с транспортной сумкой, что приводит к большим материальным затратам.

Альтернативой ОЭ-2 в этом случае являются пакеты, в которых холод выделяется в результате эндотермической реакции с поглощением теплоты при смешивании некоторых солей (карбамида, нитрата аммония, хлорида: кальция, аммония, калия и т.д.) с водой.

Формулирование цели работы и постановка задач. Цель работы – обоснование параметров пакета для оказания помощи пострадавшим при перегревании и механических травмах в результате смешивания с водой карбамида и нитрата аммония с улучшенными его характеристиками, обеспечивающими повышение эффективности применения пакета.

Задачами работы являются исследования эндотермических и теплообменных процессов взаимодействия нитрата аммония с водой для определения теплоемкости водно-солевого раствора, времени охлаждающего действия, прикладываемого усилия для его активации, срока службы пакета.

Анализ основных исследований и публикаций. В работах [2-4] авторами приведены результаты исследований эндотермических и теплообменных процессов в охлаждающем пакете с химическими ингредиентами (ПХО). При этом исследования динамики температуры различных водно-солевых растворов показали, что наибольшей охлаждающей эффективностью обладает смесь нитрата аммония, карбамида и воды в количестве по 100 г, удельная теплоемкость которой равна 3,0 кДж/(кг·К). В качестве нитрата аммония использовали мелкозернистую соль, которая активно поглощает влагу, поэтому дополнительно в пакет добавляли 5% силикагеля. В результате исследований установлено, что температура раствора в зависимости от температуры окружающей среды 26...40 °С принимает соответственно значения от минус 10 до минус 6 °С. Для предотвращения переохлаждения тела пострадавших ранее решена задача о выборе материала с необходимым коэффициентом теплопроводности и толщины теплоизолирующей прослойки

оболочки пакета, обеспечивающие температуру на внешней поверхности пакета от 2 до 6 °С в зависимости от температуры окружающей среды.

Кроме того, используемый тип нитрата аммония необходимо хранить в изолирующей емкости, прикладываемое усилие для срабатывания пакета во времени нередко превышало нормативное значение 100 Н, а время хранения пакета в режиме ожидания к применению не превышало 1 год, что не всегда удовлетворяло потребителей.

Методы. Отличительной особенностью исследований эндотермических процессов в водно-солевом растворе пакета является использование нитрата аммония в гранулированном виде, обладающего минимальным влагопоглощением, улучшенными теплофизическими характеристиками и без использования в пакете теплоизолирующей прослойки оболочки.

Для определения динамики температуры водно-солевого раствора использовали методику проведения исследований, приведенную в работе [4]. При этом по известной методике [5] определили теплоемкость наружной оболочки пакета и водно-солевого раствора.

Для сокращения количества экспериментов выполнен расчет градиента температуры Δt , К, при растворении солей в воде по зависимости

$$\Delta t = H_{pc}[(m_1 + m_2 + m_B)C_p + m_{II}C_{II}], \quad (1)$$

где H_{pc} – теплота процесса при растворении солей, Дж;

m_1, m_2 – масса нитрата аммония и карбамида, г;

m_B, m_{II} – масса воды и пакета соответственно, г;

C_p, C_{II} – удельная теплоемкость полученного раствора и пакета соответственно, Дж/(г·К);

При исследовании процесса теплообмена в системе «водно-солевой раствор – внешняя среда» определено значение температуры поверхности пакета, при которой она не будет ниже чем 275 К (плюс 2 °С), и температуры окружающей среды 28 °С без учета теплоизолирующей прослойки.

В математической формулировке задача заключается в решении уравнения (2) в безразмерном виде с граничными условиями (3) - (5):

$$\frac{\partial \theta}{\partial (a \cdot Fo)} = \frac{\partial^2 \theta}{\partial \xi^2}; \quad 0 \leq \xi \leq 1; \quad Fo \geq 0; \quad (2)$$

$$\theta(\xi, 0) = \theta_0 = 1; \quad (3)$$

$$\left. \frac{\partial \theta}{\partial \xi} \right|_{\xi_i=0} = 0; \quad (4)$$

$$\left. \frac{\partial \theta}{\partial \xi} \right|_{\xi=1} + \text{Bi} \theta_{\Pi} = 0, \quad (5)$$

где $\xi = \frac{x}{h}$; $\theta = \frac{T - T_c}{T_{\min} - T_c}$; $\text{Fo} = \frac{a\tau}{h^2}$; $\text{Bi} = \frac{kh}{\lambda}$ – число Био;

$\theta_{\Pi} = \theta|_{\xi=1}$ – безразмерное значение температуры на поверхности пакета с учетом того, что в принятых допущениях при незначительной толщине оболочки $T_{\Pi} \approx T(h, \tau)$;

Fo – число Фурье;

T – температура раствора, К;

τ – время с момента применения пакета, с;

a – температуропроводность раствора, м²/с;

x – пространственная координата, отсчитываемая от геометрической вертикальной оси объема пакета в срединном горизонтальном пересечении пакета, где ожидается наиболее низкая температура, м;

λ – теплопроводность раствора, Вт/(м·К);

k – коэффициент теплопередачи окружающей среды раствора через оболочку пакета, Вт/(м²·К);

T_c – температура окружающей среды, К;

T_{Π} – температура внешней поверхности пакета, К;

h – половина поперечного размера пакета, м.

Решение системы (2) - (5) находим с помощью метода разделения переменных Фурье:

$$\theta = \cos\left(\sqrt{\text{Bi}} \xi\right) e^{-\text{Bi} \text{Fo}}.$$

В нашем случае решение задачи для охлаждения раствора имеет вид

$$\theta_{\Gamma} = 1 - \cos\left(\sqrt{\text{Bi}} \xi\right) e^{-\text{Bi} \text{Fo}}. \quad (6)$$

Результаты. Исследования динамики температуры различных водно-солевых растворов показали, что наибольшей охлаждающей эффективностью обладает смесь нитрата аммония, карбамида и воды также в количестве по 100 г, удельная теплоемкость которой равна не 3,0 кДж/(кг·К), а 2,73 кДж/(кг·К).

Результаты расчета относительной температуры раствора по формуле (6) в зависимости от числа Fo при различных Bi приведены на рис. 1.

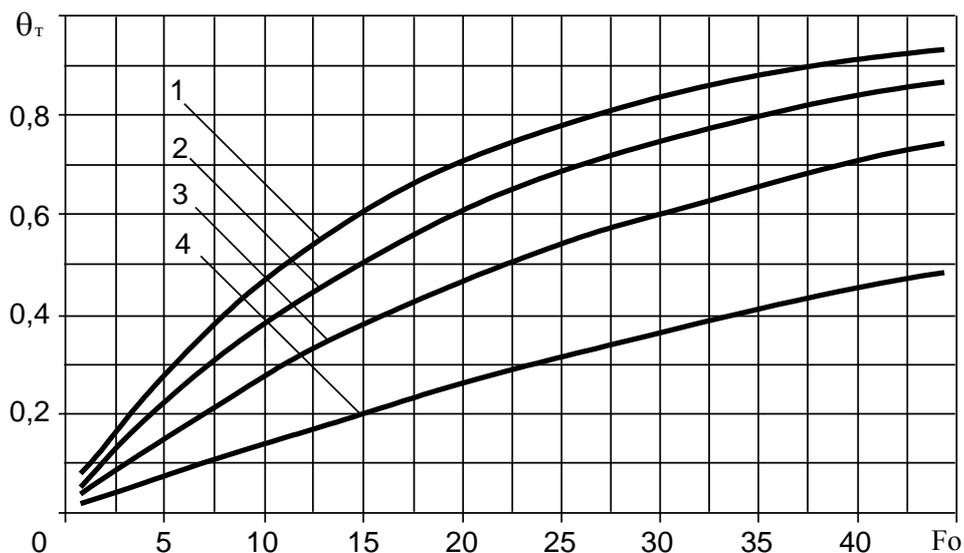


Рис. 1. Динамика относительной температуры раствора для различных значений Bi : 1 – 0,60; 2 – 0,45; 3 – 0,30; 4 – 0,15

В результате проведенных исследований установлено, что для обеспечения температуры на поверхности пакета, предотвращающей переохлаждение тела пострадавших в результате перегревания, можно не использовать теплоизолирующую прослойку, так как она принимает значения $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ при температуре окружающей среды $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис.2). Это объясняется тем, что за счет сравнительно меньших значений характеристик гранулированного нитрата аммония (теплоемкости, плотности) и большего коэффициента теплопроводности происходит повышение температуры водно-солевого раствора и температуры на наружной поверхности пакета.

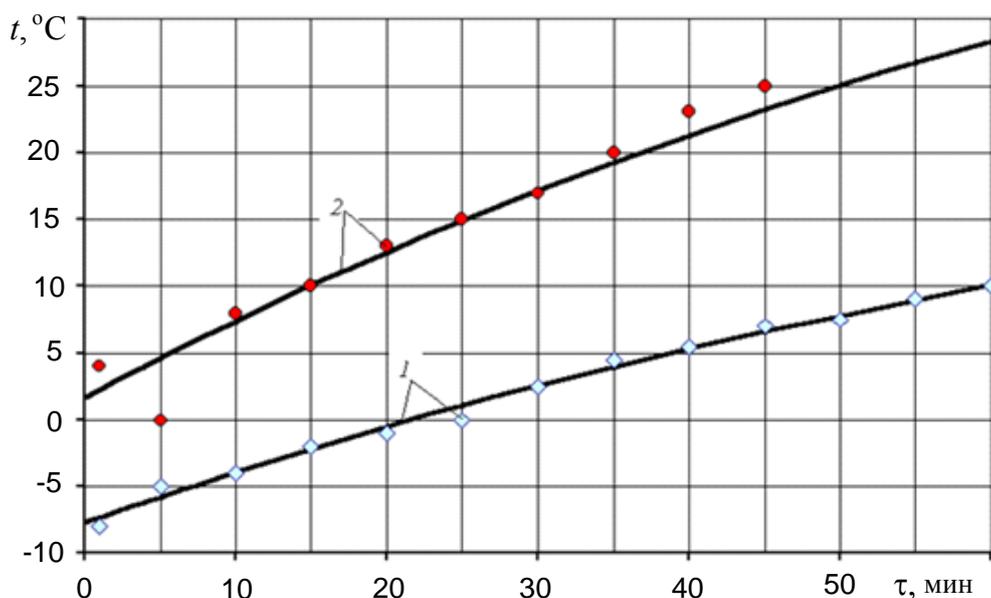


Рис. 2. Динамика температуры раствора и поверхности пакета:

1 – температура раствора (данные эксперимента); 2 – температура поверхности пакета (данные эксперимента); — – результаты теоретических исследований



Рис. 3. Общий вид пакета химического охлаждающего ПХО-1

Результаты исследований по определению прикладываемого усилия для срабатывания пакета показали, что оно не превышает 70 Н и в 1,4 раза меньше, чем было ранее, а время хранения пакетов в режиме ожидания к применению увеличено в 1,5 раза. Кроме этого, время приведения в действие усовершенствованного пакета ПХО-1 примерно в 1,7 раза меньше, чем ПХО.

Общий вид усовершенствованного охлаждающего пакета и его техническая характеристика приведены соответственно на рис. 3 и в таблице, где показано преимущество усовершенствованного пакета ПХО-1 по сравнению с предыдущим ПХО.

Сравнительная техническая характеристика усовершенствованного пакета химического охлаждающего ПХО-1 и ПХО

Показатель	Значение показателя	
	пакет ПХО-1	пакет ПХО
Время охлаждающего действия при температуре воздуха окружающей среды 303 К (плюс 30 °С), мин, не менее	30	30
Время приведения в действие, с, не более	30	50
Усилие, прикладываемое к пакету для его активации, Н, не более	70	100
Время восстановления теплового состояния пострадавших, мин, не более	22	22
Количество используемых пакетов ОЭ-2, не более	6	6
Общая масса, кг, не более	1,8	2,0
Габариты, мм, не более:		
длина	220	220
ширина	150	150
высота	32	32
Срок службы, годы, не менее	1,5	1,0

Вывод. На основании проведенных исследований эндотермических и тепломассообменных процессов в охлаждающем пакете для оказания доврачебной помощи пострадавшим при перегревании и механических травмах в результате использования нитрата с улучшенными теплофизическими характеристиками усовершенствованы его параметры: уменьшено время приведения в действие в 1,7 и прикладываемое усилие к пакету для его активации в 1,4 раза, а срок службы увеличен в 1,5 раза. Это позволило создать и внедрить пакеты ПХО-1 с повышенной эффективностью их применения.

Список литературы / References

1. Онасенко А.А. Комплект средств экстренного охлаждения пострадавших при перегревании / А.А. Онасенко, В.А. Вольский, И.Ф. Марийчук // Уголь Украины. – 2005. – № 3. – С. 32 – 34.

Onasenko, A.A., Volsky, V.A. and Mariychuk, I.Ph. (2005), *Komplekt sredstv ekstremnogo okhlazhdeniia postradavshikh pri peregrevanii* [Set of means of the emergency cooling of the victims by overheating], *Ugol Ukrainy*, no. 3, pp. 32-34.

2. Положий В.О. Теплообменные процессы в охлаждающем пакете с химическими ингредиентами / В.О. Положий, И.Ф. Марийчук, Т.А. Лазаренко // Горноспасательное дело: сб. науч. тр. / НИИГД «Респиратор». – Донецк, 2009. – Вып. 46. – С. 134 – 141.

Polozhiy, V.O., Mariychuk, I.Ph. and Lazarenko, T.A. (2009), *Teploobmennyye processy v okhlazhdaiusctchem pakete s chimicheskimi ingredientami* [Heat exchange processes in the cooling bag with chemical ingredients], NIIGD “Respirator”, Donetsk, Ukraine.

3. Положий В.О. Обоснование состава и массы химических ингредиентов охлаждающего пакета / В.О. Положий, И.Ф. Марийчук, Н.И. Шилинговский // Уголь Украины. – 2010. – № 6. – С. 28 – 31.

Polozhiy, V.O., Mariychuk, I.Ph. and Shilingovsky, N.I. (2010), *Obosnovanie sostava i massy chimicheskikh ingredientov okhlazhdaiushtchego paketa* [Substantiation of the composition and mass of chemical ingredients of the cooling bag], *Ugol Ukrainy*, no. 6, pp. 28-31.

4. Положий В. Охолоджуючий ефект пакета для надання допомоги постраждалим гірникам / В. Положий, О. Жадан, Т. Лазаренко // Охорона праці та соціальний захист працівників: зб. матеріалів Міжнар. наук. конф. – Київ, 2008. – С. 41 – 45.

Polozhiy, V., Zhadan, O. and Lazarenko, T. (2008), *Okholodzhuiuchyiy efekt paketa dlia nadannia dopomogy postrazhdalym girnykam* [The cooling effect of the bag for rendering aid to injured mine workers], Kiev, Ukraine.

5. Теплообменные процессы в пакете для оказания помощи пострадавшим при перегревании и механических травмах / В.О. Положий, И.Ф. Марийчук, Ю.А. Петренко, Н.И. Шилинговский // Вісті Донецького

гірничого інституту: зб. наук. праць ДонНТУ. – Донецьк, 2010. – № 1.– С. 95 – 100.

Polozhiy, V.O., Mariychuk, I.Ph., Petrenko, Yu.A. and Shilingovsky, N.I. (2010), *Teploobmennye protsessy v pakete dlia okazaniia pomoshchi postradavshim pri peregrevanii i mekhanicheskikh travmakh* [Heat exchange processes in the bag for rendering aid to the victims by overheating and mechanical injuries], DonNTU, Donetsk, Ukraine.

*Рекомендовано к публикации канд. техн. наук Е.В. Курбацким.
Дата поступления рукописи 15.07.2014*

Ціль. Обґрунтування параметрів пакету для надання допомоги потерпілим при перегріванні і механічних травмах в результаті використання нітрату амонію з поліпшеними характеристиками, що забезпечують підвищення ефективності його застосування.

Методика. Експериментальні методи досліджень ендотермічних і тепломасообмінних процесів в охолоджувальному пакеті з іншим типом нітрату амонію для визначення температури водно-сольового розчину і ефективності застосування, проведені в лабораторних умовах НДІГС «Респіратор»; теоретичні - дослідження тепломасообмінних процесів в пакеті для визначення перепаду температури водно-сольового розчину і температури на його поверхні.

Результати. Вдосконалені параметри пакету: скорочення часу приведення його в дію, зменшення зусилля, що прикладається до пакету для його активації, збільшення терміну служби в режимі очікування до застосування.

Наукова новизна. Розкрита закономірність ендотермічних і тепломасообмінних процесів в пакеті при використанні нітрату амонію з поліпшеними характеристиками, на підставі результатів яких вдосконалені основні параметри пакету.

Практична значущість. Результати досліджень використані при створенні і впровадженні пакетів хімічних, що охолоджують (ПХО-1), застосування яких дозволяє робити долікарську допомогу потерпілим при перегріванні і механічних травмах, зберігаючи їх здоров'я і життя, скоротити витрати на лікування і виплати щодо професійного захворювання.

Ключові слова: перегрівання, потерпілий, теплообмін, охолоджуючий пакет, температура, тепловий стан.

Purpose. Substantiation of parameters of the bag for rendering help to the victims by overheating and mechanical injuries as a result of the use of ammonium nitrate with the characteristics worked out that guarantee increase of effectiveness of its application.

Methodology. Experimental investigations of endothermic and heat and mass exchange processes in the cooling bag with another type of ammonium nitrate to determine the water-salt solution temperature and effectiveness of the use carried-out under laboratory conditions of the NIIGD "Respirator"; the theoretical researches include investigation of the heat and mass exchange processes in the bag to determine the temperature drop of the water-salt solution and the temperature at its surface.

Results. The parameters of the bag are improved: the time of its activation is shortened, the effort being applied to the bag for its activation is reduced, durability under conditions of waiting the use is increased.

Scientific novelty. The regularities of the endothermic and heat exchange processes in the bag by the use of ammonium nitrate with the characteristics worked out are exposed. The basic parameters of the bag are improved on the grounds of these characteristics.

Practical value. The results of the investigations are used by creation and introduction of the chemical cooling bags (ПХО-1) which application allows rendering the first aid to the victims by overheating and mechanical injuries preserving their health and life, cutting down the expenses for medical treatment and payments because of the occupational disease.

Keywords: overheating, victim, heat exchange, cooling bag, temperature, thermal state.