

Згідно з ДСТУ 4155 [8] було проведено випробування оброблених вогнезахисною композицією “ФКСГ-1” зразків паперу обгорткового. Після дії пальника на зразки було встановлено: тривалість залишкового полум’яного горіння вогнебіо захищеного паперу була відсутня для усіх проб; відсутнє поширення поверхневого спалаху, а середня довжина звугленої ділянки становила 65 мм, що менше, ніж допускається згідно з [8].

Отже, папір, який було оброблено композицією “ФКСГ-1”, не здатний до поширення полум’я та відноситься до групи матеріалів з помірною димоутворювальною здатністю.

Таким чином, на основі експериментальних досліджень з використанням методів теорії планування була визначена оптимальна концентрація компонентів у вогнебіо захисній композиції “ФКСГ-1”, яка здатна ефективно захищати папір.

## ЛІТЕРАТУРА

1. ДБН В.1.1-7-2002 Пожежна безпека об’єктів будівництва. Київ: Держбуд України, 2003.
2. ГОСТ 1510-84 “Нефть и нефтепродукты. Маркировка, упаковка, транспортирование и хранение”.
3. Таубкин С.И. Основы огнезащиты целлюлозных материалов. Изд. Министерства коммунального хозяйства РСФСР: М. 1960. 346 с.
4. Бут В.П., Жартовський В.М., Білошицький М.В., Цапко Ю.В., Барило О.Г. Особливості дослідження тривалості вогнезахисту деревини просочувальними засобами. // Науковий вісник УкрНДІПБ. К.: УкрНДІПБ, 2004. - №1 (9). - С. 21-25.
5. ГОСТ 12.1.044-89 Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.
6. Рузинов Л.П., Статистические методы оптимизации химических процессов. - М.: Химия, 1972. - 200 с.
7. Бондарь А.Г., Статюха Г.А. Г. Планирование эксперимента в химической технологии. - К.: Высшая шк., 1976 - 184 с.
8. ДСТУ 4155 Матеріали текстильні. Метод випробування на займістість.— Київ: Держспоживстандарт України, 2003.

622.867.3:614.894.3

*А.П.Кириян (Управление спасательных работ ГУ МЧС по Донецкой области)*

### ВЛИЯНИЕ РЕГЕНЕРАТИВНЫХ РЕСПИРАТОРОВ НА ТЕПЛОВОЕ СОСТОЯНИЕ И РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА

Приведены результаты теоретических исследований, стендовых испытаний и испытаний на людях двух типов кислородных изолирующих регенеративных респираторов и проанализирована степень их влияния на тепловое состояние человека.

Роль регенеративного респиратора (далее – респиратор) и его влияние на тепловое состояние и тепловой баланс человека имеет важное значение при создании и выборе респираторов с наилучшими эрготермическими показателями. Для наглядности предварительно рассмотрим количественную характеристику теплообмена дыханием при различных тепловых параметрах вдыхаемого воздуха. Рассчитаем теплообмен при дыхании без респиратора в естественных оптимальных микроклиматических условиях окружающей среды (температуре воздуха 20 °С, его относительной влажности  $B = 50\%$ ) с легочной вентиляцией 30 л/мин (массовая легочная вентиляция  $0,518 \cdot 10^{-3}$  кг/с).

Расчет проводим по формуле

$$\Phi_d = w_m (h_{вд} - h_{выд}), \quad (1)$$

где  $\Phi_d$  – тепловой поток при теплообмене дыханием, Вт;  $w_m$  – массовая легочная вентиляция, кг/с;  $h_{вд}$  – удельная энтальпия вдыхаемого воздуха, Дж/кг;  $h_{выд}$  – удельная энтальпия выдыхаемого воздуха, Дж/кг.

Для окружающего (вдыхаемого) воздуха с температурой 20 °С и относительной влажностью 50 % при атмосферном давлении 97,8 кПа (740 мм рт.ст.)  $h_{вд} = 39$  кДж/кг. Параметры выдыхаемого человеком воздуха в среднем составляют: температура 37 °С, относительная влажность 100 %,  $h_{выд} = 145,6$  кДж/кг. Для принятых значений получаем по формуле (1)  $\Phi_d = -55,2$  Вт.

Здесь знак минус означает, что теплота отводится от организма человека, а не подводится к нему. Более наглядное представление о роли теплоотвода дыханием дает относительная оценка. Примем за базу теплопродукцию человека ( $\Phi_T$ , Вт), которая при средней нагрузке с энергозатратами 350 Вт и с КПД 20 % составляет 280 Вт. Доля теплообмена дыханием ( $\delta$ , %) определяется выражением  $\delta = (\Phi_d / \Phi_T) \cdot 100$  и, соответственно,  $\delta = -20$  %.

Таким образом, при оптимальных микроклиматических условиях окружающей среды 20 % метаболической теплоты организма (теплопродукции) отводится через органы дыхания, т.е. теплоотвод дыханием играет в таких условиях существенную роль.

Для полноты дальнейшего анализа следует рассмотреть и такой случай, когда тепловые параметры вдыхаемого и выдыхаемого воздуха равны. Тогда, в соответствии с формулой (1) теплообмен будет равен нулю. Таким образом, если температура вдыхаемого и выдыхаемого воздуха равна 37 °С и относительная влажность вдыхаемого и выдыхаемого воздуха равна 100 %, то теплообмена дыханием происходить не будет. К этому следует добавить, что современные респираторы со сжатым кислородом и с известковым химическим поглотителем ХП-И имеют близкие к указанным выше тепловые параметры вдыхаемого воздуха, и поэтому теплообмен дыханием при работе в них практически отсутствует или очень незначителен.

Следует рассмотреть еще один вариант. В соответствии с нормами государственного стандарта ДСТУ 3856-99 [1] удельная энтальпия вдыхаемого воздуха не должна превышать 155 кДж/кг. Это означает, что при относительной влажности вдыхаемого воздуха 100 % его температура не должна превышать 38,5 °С. Все три рассмотренные выше варианты теплообмена дыханием в респираторе приведены в табл. 1

Таблица 1. Показатели теплообмена дыханием

Вид дыхания	$t_{вд},$ °С	$B,$ %	$h_{вд},$ кДж/кг	$\Phi_d,$ Вт	$\delta,$ %
Без респиратора	20,0	50	29	-55,0	-20,0
В респираторе с одинаковыми параметрами вдоха и выдоха	37,0	100	145	0	0
По нормам ДСТУ	38,5	100	155	4,9	1,7

Как показывают данные табл. 1, теплоотвод дыханием имеет существенное значение (-20 %) только при дыхании без респиратора окружающим воздухом с оптимальными тепловыми параметрами. При дыхании в респираторе со сжатым кислородом и с ХП-И теплообмен дыханием либо равен нулю, либо (по нормам ДСТУ) дает небольшой теплоприток (1,7 %).

Чтобы обеспечить более комфортные условия дыхания, была начата разработка нового поколения респираторов, в которых вместо сжатого кислорода стали применять химически связанный кислород и которые обеспечивают определенный теплоотвод при дыхании в них.

Рассмотрим эргономические показатели респиратора РХ-4 с химически связанным кислородом, сравним их с параметрами респиратора Р-30 со сжатым кислородом и с известковым химическим поглотителем ХП-И. В качестве основных эргономических показателей респиратора, характеризующих его энергетическое воздействие на организм человека, примем его массу, температуру и относительную влажность вдыхаемого воздуха, а также сопротивление дыханию. Показатели дыхания определены по результатам испытаний респираторов РХ-4 и Р-30 на стенде-имитаторе дыхания СИД, которые в соответствии с ДСТУ 3856-99 проведены при температуре окружающего воздуха 25 и 40 °С при средней нагрузке. Данные результатов испытаний приведены в табл. 2.

Таблица 2. Эргономические показатели респираторов РХ-4 и Р-30 по результатам стендовых испытаний

Показатель	Респиратор Р-30		Респиратор РХ-4	
	при 25 °С	при 40 °С	при 25 °С	при 40 °С
Масса респиратора, кг	11,6	12,4	10,9	10,9
Температура вдыхаемого воздуха, °С	36,2	33,4	30,0	27,5
Относительная влажность вдыхаемого воздуха, %	100	85	50	45
Сопротивление вдоху, Па	190	190	120	90
Сопротивление выдоху, Па	150	150	250	220
Теплообмен дыханием, Вт	-3,0	-20,1	-42,0	-47,0

Показатели дыхания в табл. 2 рассчитаны как средние значения за время опыта: при температуре 25 °С за 4 ч, а при температуре 40 °С за 0,5 ч.

Результаты стендовых испытаний показывают следующее. Респиратор РХ-4 имеет существенные преимущества перед респиратором Р-30 по массе, по температуре и относительной влажности вдыхаемого воздуха и, как следствие, по теплоотводу дыханием, однако, уступает респиратору Р-30 по сопротивлению выдоху.

На втором этапе были проведены экспериментальные исследования на людях в термокамере НИИГД «Респиратор» при работе в респираторах Р-30 без охлаждающего элемента и РХ-4 с увлажнителем. Цель испытаний состояла в определении степени влияния респираторов на общее тепловое состояние организма человека и на допустимую продолжительность работы в условиях эрготермической нагрузки.

Методика экспериментальных исследований (основные ее положения) заключалась в следующем. Испытания проводились на пяти испытуемых-добровольцах, одетых поверх трусов в спецодежду горнорабочих глубоких шахт, резиновые сапоги и каску с аккумуляторным светильником, при температуре воздуха в термокамере 30 и 40 °С и относительной влажности 95-100 %. Испытуемых допускали к экспериментам после проверки состояния здоровья и опроса об общем самочувствии. Перед экспериментом испытуемый отдыхал в предкамере при температуре (22 ± 2) °С в течение 30 мин. После этого он надевал на себя всю экипировку, к нему подключали телеметрическую систему измерения физиологических показателей и измеряли исходные значения этих показателей. Эксперименты проводили сначала при температуре воздуха в термокамере 30 °С, а затем при 40 °С,

Затем испыталитель входил в термокамеру и выполнял дозированную физическую работу – подъем на ступеньку высотой 20 см и спуск с (попеременно обеими ногами) в ритме 20 циклов в минуту (степ-тест) с режимом 10 мин работы, 5 мин отдыха сидя.

В процессе работы и отдыха через каждые 5 мин измерялись и регистрировались следующие физиологические показатели испыталителя:

- частота сердечных сокращений (ЧСС), мин<sup>-1</sup>;
- ректальная температура, °С;
- температура вдыхаемого из респиратора воздуха, °С.

Общие влагопотери испыталителя определяли по изменению массы тела испыталителя за время эксперимента.

Каждый эксперимент продолжался до достижения испыталителем предельного теплового состояния [2], т.е. до тех пор, пока один из контрольных показателей достигнет предельного значения и остается на этом уровне. Кроме того, в протоколе испытаний отмечали значения этих показателей при достижении одним из них допустимого значения (табл. 3).

Таблица 3. Контрольные показатели, определяющие допустимое (ДТС) и предельное (ПТС) тепловое состояние человека

Показатель	Тепловое состояние человека	
	Допустимое	Предельное
Ректальная температура, °С	38,0	38,7
Частота сердечных сокращений, мин <sup>-1</sup>	140	170

Результаты экспериментов приведены в табл. 4

В первых двух графах таблицы приведены исходные значения (средние по пяти испыталителям) ректальной температуры и частоты сердечных сокращений, причем для каждого типа респиратора в верхней строке указано значение показателя для 30 °С, а в нижней – для 40 °С.

Для показателя продолжительности работы в верхней строке дано его среднеарифметическое значение, а в нижней строке – его среднеквадратическое отклонение.

Таблица 4. Время достижения испыталителем допустимого и предельного теплового состояния

Респи ратор	Исходные данные		При температуре 30 °С		При температуре 40 °С	
	$t_{p,}$ °С	ЧСС, мин <sup>-1</sup>	$\tau$ , мин, при ДТС	$\tau$ , мин, при ПТС	$\tau$ , мин, при ДТС	$\tau$ , мин, при ПТС
РХ-4	37,3	81	38,2	75,8	22,8	40,0
	37,3	84	10,3	13,4	10,4	9,8
Р-30	37,5	79	35,0	76,4	19,3	35,5
	37,4	83	9,5	15,3	3,4	2,4

Время работы до достижения ДТС и ПТС является в данном случае комплексным показателем, отражающим влияние всего комплекса факторов, воздействующих на человека – эрготермической и психо-эмоциональной нагрузки. Данные, приведенные в табл. 4, показывают, что это время при работе в респираторах РХ-4 и Р-30 примерно одинаково. Таким образом, различие микроклиматических условий дыхания в респираторах РХ-4 и Р-30 на времени достижения ДТС и ПТС.

Физиологические показатели испыталителей, полученные при экспериментальных исследованиях, приведены в табл. 5.

Таблица 5. Физиологические показатели испытуемых

Респиратор	Исходные данные		При температуре 30 °С				При температуре 40 °С			
	$t_{p,}$ °С	ЧСС, мин <sup>-1</sup>	при ДТС		при ПТС		при ДТС		при ПТС	
			ЧСС, мин <sup>-1</sup>	$t_{p,}$ °С	ЧСС, мин <sup>-1</sup>	$t_{p,}$ °С	ЧСС, мин <sup>-1</sup>	$t_{p,}$ °С	ЧСС, мин <sup>-1</sup>	$t_{p,}$ °С
РХ-4	37,3	81	131	37,9	149	38,6	139	37,8	165	38,4
	37,3	84	11	0,2	11	0,2	1	0,3	13	0,4
Р-30	37,5	79	129	37,9	151	38,6	136	37,7	158	38,3
	37,4	83	10	0,2	16	0,3	9	0,2	20	0,4

Динамика изменения основных физиологических показателей (ректальной температуры и частоты сердечных сокращений) испытуемых при экспериментальных исследованиях в тепловой камере показана на рис. 1 и 2.

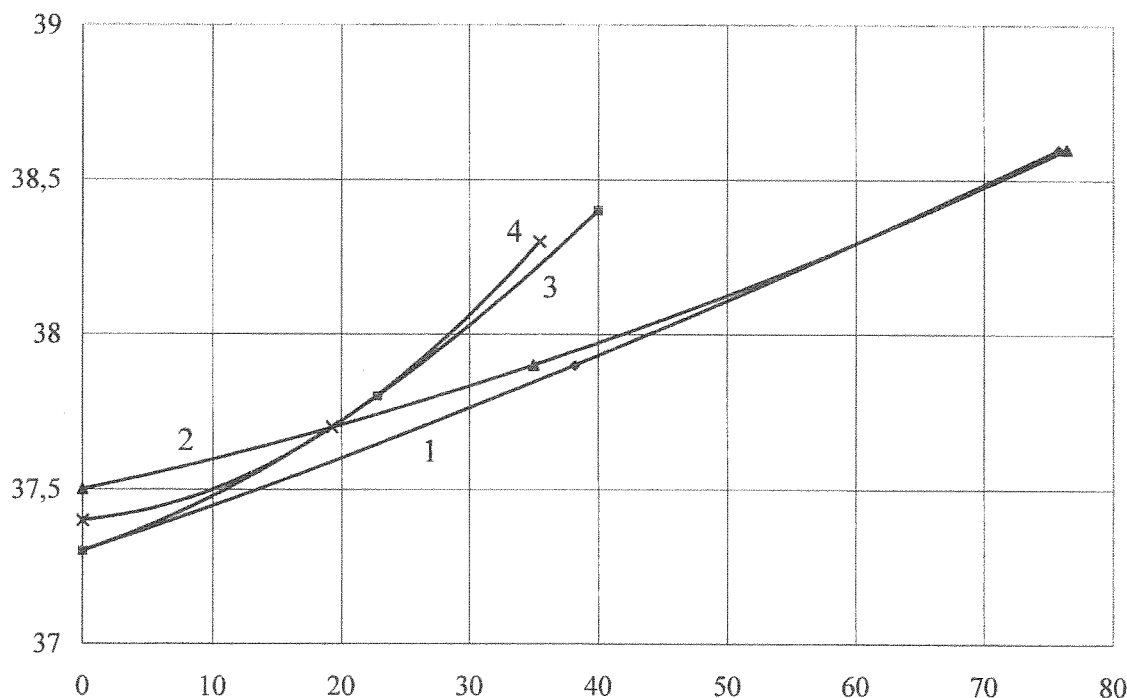


Рис. 1. Динамика изменения ректальной температуры испытуемых:  
1 – в респираторе РХ-4 при 30 °С; 2 – в респираторе Р-30 при 30 °С;  
3 – в респираторе РХ-4 при 40 °С; 4 – в респираторе Р-30 при 40 °С.

На основании этих результатов получены следующие аппроксимирующие зависимости с учетом обозначений:

$$\begin{aligned}
 t_{p1} &= 4 \cdot 10^{-5} \tau^2 + 0,0142 \tau + 37,3; & t_{p2} &= 7 \cdot 10^{-5} \tau^2 + 0,0089 \tau + 37,5; \\
 t_{p3} &= 0,0003 \tau^2 + 0,0145 \tau + 37,3; & t_{p4} &= 0,0006 \tau^2 + 0,0039 \tau + 37,4; \\
 \text{ЧСС}_1 &= -0,011 \tau^2 + 1,7273 \tau + 81; & \text{ЧСС}_2 &= -0,0117 \tau^2 + 1,8396 \tau + 79; \\
 \text{ЧСС}_3 &= -0,0225 \tau^2 + 2,9257 \tau + 84; & \text{ЧСС}_4 &= -0,0391 \tau^2 + 3,5008 \tau + 83.
 \end{aligned}$$

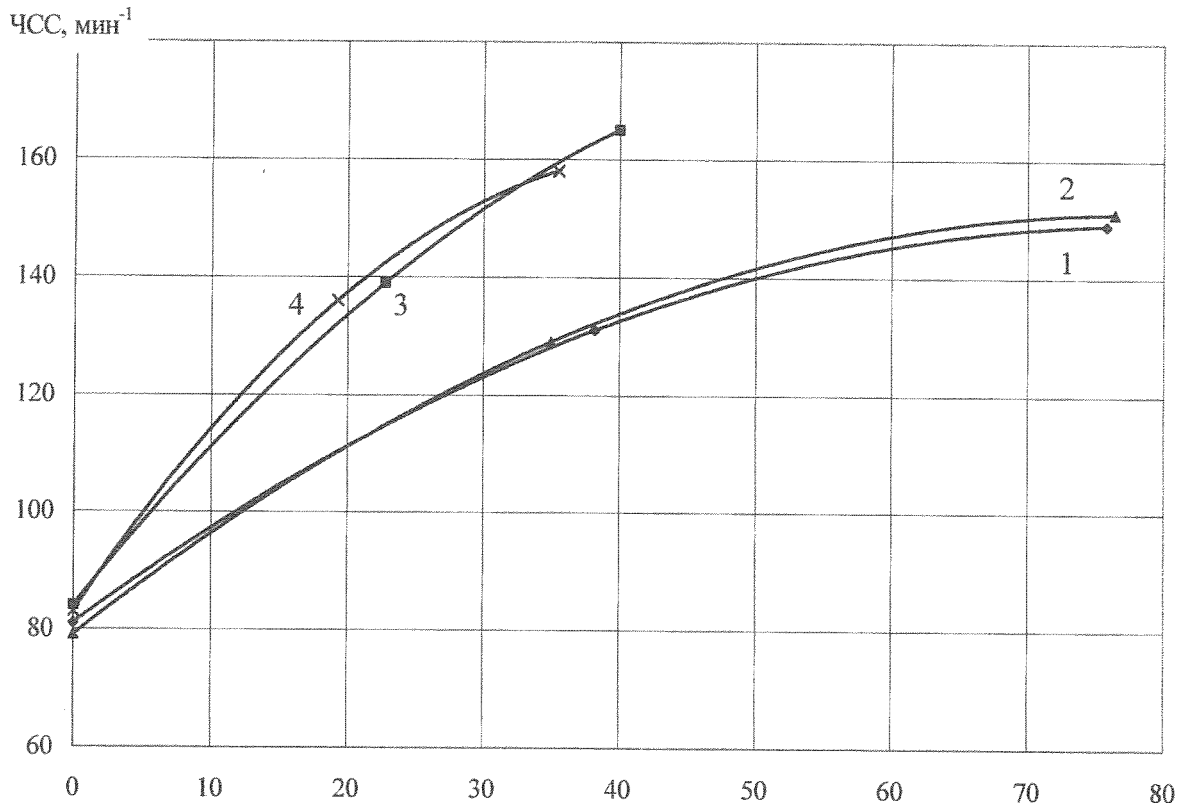


Рис. 2. Динамика изменения частоты сердечных сокращений:  
 1 – в респираторе РХ-4 при 30 °С; 2 – в респираторе Р-30 при 30 °С;  
 3 – в респираторе РХ-4 при 40 °С; 4 – в респираторе Р-30 при 40 °С.

Расположение кривых на рис. 1 и рис. 2 показывает существенное влияние на динамику изменения ректальной температуры и ЧСС температуры окружающей среды. В то же время влияние разных респираторов (РХ-4 и Р-30) на эти показатели практически отсутствует.

На основании проведенных исследований (стендовых испытаний респираторов и экспериментов на людях в термокамере) можно сделать следующие общие выводы.

Респиратор РХ-4 имеет существенные преимущества перед респиратором Р-30 по микроклиматическим условиям дыхания и по массе.

Различие в микроклиматических условиях дыхания в респираторах РХ-4 и Р-30 практически не сказывается на времени работы испытателей в термокамере до достижения допустимого и предельного теплового состояния, так как превалирующее значение в тепловом балансе человека имеет эрготермическая нагрузка (физическая и внешняя тепловая нагрузки).

## ЛИТЕРАТУРА

1. ДСТУ 3856-99 Респираторы изолирующие регенеративные для горноспасательных работ. Общие технические требования и методы испытания. Введ. 2000,01,01.– Киев: Госстандарт Украины, 1999.–36 с.
2. Физиолого-гигиенические требования к изолирующим средствам индивидуальной защиты. Утв. Минздравом СССР 23.06.80.–М.:МЗ СССР.– 28 с.