

А. Ф. Долженков, д-р техн. наук
(Донецкий национальный технический университет (ДонНТУ),
г. Красноармейск)

ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К РАЦИОНАЛИЗАЦИИ ТЕПЛОЗАЩИТНОЙ ШАХТЕРСКОЙ СПЕЦОДЕЖДЫ

Получены регрессионные модели, описывающие влияние обводнённости выработок на возникновение заболеваний органов дыхания, температуры и скорости движения воздуха; разработана классификация контингента шахтёров, основанная на анализе условий труда; рассчитано тепловое сопротивление пакета шахтерской спецодежды для горнорабочих; обоснованы требования к рациональной теплозащитной спецодежде.

Ключевые слова: респираторные заболевания шахтёров, терморегуляция организма горнорабочих, теплозащитная спецодежда, тепловое сопротивление пакета шахтёрской спецодежды.

Отримано регресійні моделі, що описують вплив обводнювання виробок на настання захворювань органів дихання, температури та швидкості руху повітря; розроблено класифікацію контингенту шахтарів, яка ґрунтується на аналізі умов праці; розраховано тепловий опір пакету шахтарського спецодягу для гірників; обґрунтовано вимоги до раціонального теплозахисного спецодягу.

Ключові слова: респіраторні захворювання шахтарів, терморегуляція організму гірників, теплозахисний спецодяг, тепловий опір пакета шахтарського спецодягу.

Regressive models, describing influence on the origin of diseases of organs of breathing of water-bearing nature of making, temperature and rate of movement of air, are got; classification of contingent of miners, based on the analysis of terms of labor, is developed; thermal resistance of package of miner's overall is expected for miners; requirements are grounded to the rational heat cover overall.

Keywords: respirator diseases of miners, termoregulyaciya of organism of miners, heat cover overall, thermal resistance of package of miner's overall.

Как показали исследования заболеваемости, проведенные на ряде шахт с разными горно-геологическими и горнотехническими условиями, ведущее место в структуре заболеваний с временной утратой

трудоспособности занимают болезни органов дыхания. Статистическая оценка интенсивных показателей за 20012...2014 гг. по отрасли в целом, проведенная по отдельным нозологическим формам, позволила установить, что поражение острыми респираторными заболеваниями горнорабочих (фарингиты, ангины и др.) составляет 50,3 случаев на 100 работающих, что в 5,5 раз выше, чем заболеваниями костно-мышечной системы (9,12 случаев) и почти в 16 раз, чем заболеваниями периферической нервной системы (3,15 случаев).

Анализ причин заболеваний органов дыхания показывает, что на формирование температуры воздуха в горных выработках оказывают влияние горно-геологические, горнотехнические и метеорологические факторы. Автором получены регрессионные модели, описывающие влияние на возникновение заболеваний органов дыхания (в случаях на 100 работающих) обводнённости выработок, температуры и скорости движения воздуха и других факторов [1]:

$$Y_1 = 7,364 - 0,305X_1 + 1,187X_2, \quad (1)$$

$$Y_2 = 0,199 + 0,159X_3, \quad (2)$$

$$Y_3 = 66,351 - 1,332X_1, \quad (3)$$

при: $9^{\circ}\text{C} \leq X_1 \leq 32^{\circ}\text{C}$, при $0,5 \text{ м/с} \leq X_2 \leq 4,0 \text{ м/с}$, при $1 \text{ балла} \leq X_3 \leq 4 \text{ баллов}$,

где Y_1 – острый фарингит и ангина, случаи;

Y_2 – уровни заболеваемости пневмонией, случаи;

Y_3 – другие острые респираторные инфекции, случаи;

X_1 – температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$;

X_2 – скорость движения воздуха, м/с;

X_3 – обводнённость выработки, баллы.

Полученные регрессионные модели не противоречат данным, других авторов [2]. Установлено, что обводнённостью объясняется от 6 до 9 % случаев заболеваний пневмонией, причем уровень ее возрастает при работах на менее мощных пластах (0,77 метров – 0,72 случая и 1,2 м – 0,4 случая на 100 работающих).

Низкие значения температур вмещающих пород и их обводнённость, высокая скорость движения воздуха и его влажность, а также напряжённость и интенсивность труда нарушают тепловое равновесие между человеком и окружающей средой, что способствует значительному охлаждению организма. Наибольшая доля потери тепла радиацией и конвекцией (до 80 %) у горнорабочих, работающих в вертикальном положении, отдача тепла кондукцией, особенно характерна для работ на

маломощных пластах, где важным является соответствие конструкции спецодежды локальному теплообмену человека.

Таким образом, обеспечение нормальной терморегуляции организма при работах в угольных шахтах за счет обоснования требований к рациональной теплозащитной спецодежде является *актуальной научной задачей*.

Целью статьи является обоснование требований к рационализации теплозащитной шахтёрской спецодежды при различных горно-геологических и горнотехнических условиях.

Очевидно, что для обеспечения требований «идеальной» противотепловой защиты количество моделей шахтерских средств индивидуальной защиты (далее – СИЗ) должно соответствовать числу профессиональных групп, которых насчитывается 664, поскольку каждая группа имеет свою специфику по номенклатуре и интенсивности опасных и вредных производственных факторов (далее – ОВПФ). Естественно, что создание такого количества моделей нецелесообразно. В связи с многообразием полученных вариантов все профессиональные группы были объединены в 6 укрупненных групп. При группировании профессиональный фактор учитывался исходя из того, что представитель одной и той же профессии может работать в различных горно-геологических и горнотехнических условиях.

Решение задачи унификации СИЗ основывается на нахождении общих условий сходимости показателей комплекса факторов, определяющих основные параметры защиты и сводится, в первую очередь, к классификации контингента горнорабочих на группы со сходными условиями труда. На основе экспертного анализа была получена параметрическая пофакторная оценка условий труда во всех группах, что позволило с помощью специально разработанного алгоритма формализовать классификацию профессий шахтеров по нескольким группам со сходными условиями труда (табл. 1).

В связи с тем, что организм человека представляет единую систему, в которой всякий местный дискомфорт сказывается на тепловом состоянии остальных его участков, рассмотрим, в первую очередь, требования ко всему пакету теплозащитных свойств спецодежды.

Существующие методы обоснования требований к рациональной теплозащитной спецодежде для различных микроклиматических условий рассматривались в литературе, в основном, с гигиенической точки зрения и разрабатывались для рабочих, работающих в вертикальном положении [3, 4], в связи с чем в настоящей работе был проведен расчет теплозащитных свойств спецодежды, требования к которым определялись двумя методами – расчетным и экспериментальным [5].

Для расчета теплового сопротивления пакета шахтерской спецодежды у горнорабочих, работающих в положении стоя, определялись, прежде всего, радиационно-конвективные теплопотери по формуле:

Таблица 1

Классификация контингента шахтеров, основанная на анализе условий труда

Группы, сформированные по условиям труда	Условия труда, производственные факторы			Горно-геологические условия (мощность, угол падения)
	Температура, °С	Позообразующие факторы	Обводнённость	
1 группа	До 26 ⁰ С: охлаждающая – до 7 ⁰ С субнормальная – 8...15 ⁰ С нормальная – 16...25 ⁰ С	Обусловленные работой стоя	Отсутствие обводнённости	крутопадающие пласты любой мощности; пласты мощностью 1,3, м, с углом падения 19...45 ⁰ ; пологие пласты мощностью более 1,8 м
2 группа	До 26 ⁰ С: охлаждающая – до 7 ⁰ С субнормальная – 8...15 ⁰ С нормальная – 16...25 ⁰ С	Обусловленные работой согнувшись, на коленях, лежа	Отсутствие обводнённости	пологие пласты мощностью до 1,8 м.; маломощные с углом падения 45 ⁰
3 группа	До 26 ⁰ С: охлаждающая – до 7 ⁰ С субнормальная – 8...15 ⁰ С нормальная – 16...25 ⁰ С	Интенсивные механические факторы	Обводнена	крутопадающие пласты любой мощности; пласты мощностью 1,3, с углом падения 19...45 ⁰ ; пологие пласты мощностью более 1,8 м
4 группа	Более 26 ⁰ С	Обусловленные работой стоя	Отсутствие обводнённости	крутопадающие пласты любой мощности; пласты мощностью 1,3 м, с углом падения 19...45 ⁰ ; пологие пласты мощностью более 1,8 м
5 группа	Более 26 ⁰ С	Обусловленные работой согнувшись, на коленях, лежа	Отсутствие обводнённости	пологие пласты мощностью до 1,8 м; маломощные с углом падения 45 ⁰
6 группа	До 26 ⁰ С: охлаждающая – до 7 ⁰ С субнормальная – 8...15 ⁰ С нормальная – 16...25 ⁰ С	Обусловленные работой согнувшись, на коленях, лежа	Обводнена	пологие пласты мощностью до 1,8 м; маломощные с углом падения 45 ⁰

$$Q_{\text{рад.конв.}} = 0.72M + 0,8 \frac{D}{\tau} Q_{\text{дых.}} + 6,30, \quad (4)$$

где $Q_{\text{рад.конв.}}$ – радиационно-конвективные теплопотери, Вт;
 M – общие энергозатраты человека, Вт;
 D – допустимый дефицит тепла в организме человека, Дж;
 T – непрерывное время пребывания в заданных метеорологических условиях, час.;
 $Q_{\text{дых.}}$ – затраты тепла на нагрев вдыхаемого воздуха, Вт.
 Затем определяли плотность теплового потока:

$$q = \frac{Q_{\text{рад.конв.}}}{S}, \quad (5)$$

где q – плотность теплового потока, Вт/м²;
 S – средняя площадь поверхности тела человека, равная 1,8 м² (при средней массе 70 кг и росте 171 см).

Показатель теплового сопротивления пакета шахтерской спецодежды рассчитывали по формуле:

$$R_{\text{сум. од.}} = \frac{t_{\text{св.к.}} - t_{\text{в.}}}{q}, \quad (6)$$

где $R_{\text{сум. од.}}$ – тепловое сопротивление пакета спецодежды, м² °С/Вт;
 $t_{\text{св.к.}}$ – средневзвешенная температура кожи, °С;
 $t_{\text{в.}}$ – температура воздуха, °С.

Суммарное тепловое сопротивление спецодежды с учетом поправки на скорость движения воздуха должно быть следующим:

$$R_{\text{сум.}} = \frac{R_{\text{сум.од.}} \cdot 100\%}{(100 - C)\%}, \quad (7)$$

где C – снижение средневзвешенной величины теплового сопротивления одежды, %.

При расчете теплового сопротивления пакета спецодежды мы ориентировались на допустимое охлаждение организма и исходили из того, что непрерывное время работы шахтеров в заданных условиях не превышает 6 часов, время пребывания в состоянии покоя (энергозатраты 100 Вт) равно 1 часу.

Теплоотдачу кондукцией для горнорабочих, находящихся в положении лежа, рассчитывали по формуле:

$$Q_{\text{конд.}} = K - F(t_1 - t_2), \quad (8)$$

где $Q_{\text{конд.}}$ – кондуктивные теплопотери, Вт;
 K – коэффициент теплопередачи, Вт/м² · °С;
 F – поверхность соприкосновения тела человека с внешними предметами, м²;
 t_1 – температура поверхности тела, °С;
 t_2 – температура поверхности соприкосновения, °С.

Исходя из вышеизложенных рассуждений, была получена формула для расчета необходимой средневзвешенной толщины пакета спецодежды горнорабочих, работающих на маломощных пластах для условий работы «лежа» ($\delta_{п.л}$) с учетом кондуктивных теплопотерь:

$$\delta_{п.л} = \frac{\delta_{п.с} P}{100} + \delta_{п.с}, \quad (9)$$

где $\delta_{п.с}$ – толщина пакета в положении стоя, м;

P – процентное содержание суммарного сопротивления в положении лежа, %.

Уменьшение теплового сопротивления компенсировалось за счёт пропорционального увеличения толщины комплекта спецодежды. При обосновании требований к теплозащитным свойствам шахтёрской спецодежды, в 1, 2, 3 и 6 группах (табл. 1) выделены по три подгруппы: *A* – температура на рабочем месте до 7⁰С, *B* – температура на рабочем месте от 8 до 15⁰С, *B* – температура на рабочем месте от 16 до 26⁰С. В 4 и 5 группах градация по уровню температуры не проводилась. Расчёт теплового сопротивления и толщины пакета спецодежды (табл. 2) показал, что при работе в положении лежа (группы 2 и 6), где рост теплоотдачи имеет место за счет кондуктивных теплопотерь, средневзвешенная толщина пакета спецодежды должна быть на 20...30 % больше, чем при работе в положении стоя (группы 1 и 3), особенно, если работа лежа сочетается с обводнённостью выработок (группа 6). Проведенная математическая обработка материалов исследований показала, что в положении лежа расчетное тепловое сопротивление равно – 0,2 м²⁰С/Вт.

На основании проведенных расчетов было определено, что в спецодежде в области плеча, предплечья, локтя, бедра, голени толщина пакета должна составлять 5,14 мм. Для сравнения, нами было вычислено расчетное тепловое сопротивление в положении стоя. Оно составило 0,23 м²⁰С/Вт, что соответствует толщине пакета, равной 2,75 мм. Оценка теплопроводности различных тканей показала, что подобная тепловая защита может быть достигнута применением иглопробивных нетканых материалов.

Расчет толщины пакета спецодежды (табл. 3), проведенный по различным анатомо-топографическим зонам с использованием таблиц коэффициентов эффективности утепления [5], показывает, что наибольшее утепление требует туловище, плечо и предплечье. В области шеи, бедра и голени допустима меньшая толщина пакета.

Выводы

1. Получены регрессионные модели, описывающие влияние на возникновение заболеваний органов дыхания шахтеров, позволившие установить, что от 6 до 9 % случаев заболеваний объясняется обводнённостью выработки, имея тенденцию к росту при работах на маломощных пластах.

Таблица 2

Оптимальные и допустимые показатели теплозащитных свойств пакета спецодежды в зависимости от горно-геологических, микроклиматических условий и энергозатрат рабочих

Энергозатраты человека (Вт)	Средневзвешенная температура кожи ($^{\circ}\text{C}$)	Температура воздуха, ($^{\circ}\text{C}$)	Суммарное тепловое сопротивление (m^2) ($^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$) в положении		Толщина пакета спецодежды (мм) в положении			
			стоя	лежа (сухо)	лежа (мокро)	стоя	лежа (сухо)	лежа (мокро)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
500	32,75	0	0,18	0,1	0,143	1,50	2,66	2,69
500	30	0	0,17	0,131	0,133	1,30	2,29	2,31
500	32,75	10	0,13	0,103	0,103	0,25	0,43	0,44
500	30	10	0,11	0,090	0,090	0	0	0
500	32,75	20	0,07	0,060	0,060	0	0	0
500	30	20	0,06	0,050	0,050	0	0	0
300	32,75	0	0,31	0,210	0,216	4,50	7,54	7,63
300	30	0	0,28	0,210	0,213	3,70	6,34	6,37
300	32,75	10	0,22	0,158	0,159	2,50	4,32	4,41
300	30	10	0,18	0,142	0,144	1,50	2,58	2,67
300	32,75	20	0,15	0,110	0,110	0,75	0,95	0,95
300	30	20	0,14	0,100	0,120	0,50	0,63	0,65
200	32,75	0	0,45	0,279	0,288	8,50	13,78	13,97
200	30	0	0,42	0,260	0,270	7,80	12,62	12,81

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
200	32,75	10	0,31	0,220	0,222	4,50	7,40	7,69
200	30	10	0,27	0,195	0,180	3,50	5,83	6,09
200	32,75	20	0,17	0,116	0,120	1,30	2,22	2,23
200	30	20	0,14	0,090	0,106	0,50	0,82	0,85
00	32,75	0	0,70	0,370	0,430	18,25	27,89	29,46
100	30	0	0,65	0,350	0,420	16,00	24,62	26,34
100	32,75	10	0,48	0,320	0,328	9,50	14,83	15,04
100	30	10	0,42	0,270	0,320	7,75	12,81	13,74
100	32,75	20	0,26	0,160	0,170	3,25	3,42	5,25
100	30	20	0,20	0,130	0,140	2,00	3,30	3,40

Таблица 3

Требования к показателям теплозащитных свойств шахтерской спецодежды в зависимости от горно-геологических и микроклиматических условий

Зоны	Толщина пакета (мм) для групп												Плотность (г/м ²) для групп 4 и 5
	1А	1Б	1В	2А	2Б	2В	3А	3Б	3В	6А	6Б	6В	
Шея	1,85	0,75	0,25	1,85	0,75	0,25	1,85	0,75	0,25	1,85	0,75	0,25	200
Грудь	4,66	1,89	0,63	6,05	2,27	0,79	4,66	1,89	0,63	6,17	2,41	0,82	300
Живот	4,66	1,89	0,63	6,05	2,27	0,79	4,66	1,89	0,63	6,17	2,41	0,82	300
Спина	4,66	1,89	0,63	6,05	2,27	0,79	4,66	1,89	0,63	6,17	2,41	0,82	160
Позвоночник	4,66	1,89	0,63	6,05	2,27	0,79	4,66	1,89	0,63	6,17	2,41	0,82	160
Плечо	4,18	1,70	0,57	4,18	1,70	0,57	4,18	1,70	0,57	4,18	1,70	0,57	350
Локоть	4,18	1,70	0,57	5,10	1,91	0,67	4,18	1,70	0,57	5,21	2,02	0,69	350
Предплечье	4,18	1,70	0,57	5,10	1,91	0,67	4,18	1,70	0,57	5,21	2,02	0,69	350
Таз	3,94	1,60	0,53	3,94	1,60	0,53	3,94	1,60	0,53	3,94	1,60	0,53	400
Бедро	4,18	1,70	0,57	5,22	1,96	0,67	4,18	1,70	0,57	5,33	2,07	0,71	400
Колено	3,87	1,57	0,52	4,91	1,84	0,64	3,87	1,57	0,52	5,02	1,94	0,67	400
Голень	3,33	1,35	0,45	5,13	1,92	0,67	3,33	1,35	0,45	5,24	2,03	0,69	400

2. Математической обработкой материалов исследований установлено, что в положении лежа расчетное тепловое сопротивление равно $0,2 \text{ м}^2\text{С/Вт}$, а средневзвешенная толщина пакета спецодежды должна быть на 2...30 % больше, чем при работе в положении стоя, особенно, если работа лежа сочетается с обводнённостью выработок.

3. Определено, что в спецодежде в области плеча, предплечья, локтя, бедра, голени толщина пакета должна составлять 5,14 мм, в положении стоя – 2,75 мм.

4. Получены регрессионные модели, описывающие влияние на возникновение заболеваний органов дыхания шахтеров, позволившие установить, что от 6 до 9 % случаев заболеваний объясняется обводнённостью выработки, имея тенденцию к росту при работах на маломощных пластах.

5. Математической обработкой материалов исследований установлено, что в положении лежа расчетное тепловое сопротивление равно $0,2 \text{ м}^2\text{С/Вт}$, а средневзвешенная толщина пакета спецодежды должна быть на 2...30 % больше, чем при работе в положении стоя, особенно, если работа лежа сочетается с обводнённостью выработок.

6. Определено, что в спецодежде в области плеча, предплечья, локтя, бедра, голени толщина пакета должна составлять 5,14 мм, в положении стоя – 2,75 мм.

Список литературы

1. Долженков А. Ф. Модель многофакторного регрессионного анализа зависимости заболеваемости и травматизма от условий труда и применяемых средств индивидуальной защиты / А. Ф. Долженков // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах : сборник научных трудов. – Макеевка : МакНИИ. – 2008. – Вып. 20. – С. 120–129

2. Куйда Л. В. Физиолого-гигиеническое обоснование требований к шахтёрской спецодежде из льно-лавсановых тканей: автореф. дис. ... канд. мед.наук : 14.00.07 «Гигиена» / Л. В. Куйда. – Ленинград : Ленингр. Ин-т усовершенствования врачей, 1986. – 24 с.

3. Иткин М. З. Гигиеническое обоснование требований к спецодежде горнорабочих основных профессий угольных шахт Донбасса: дис. ... канд. мед.наук : 14.00.07 / Иткин Михаил Захарович. – Макеевка, 1971. – 201 с.

4. Афанасьева Р. Ф. Гигиенические основы проектирования одежды для защиты от холода / Р. Ф. Афанасьева : (Монография). – М. : Легкая индустрия, 1977. – 136 с.

5. Долженков А. Ф. Разработка и исследование качества спецодежды для работающих на маломощных угольных пластах / А. Ф. Долженков // Вісник Національного науково-дослідного інституту охорони праці. – Серія «Гірництво». – К., – 2004. – Вип. 11. – С. 96–102.

Дата подання статті до збірника – 14. 10 2015