



© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2018

УДК 613.67

Применение термоманекенов для физиолого-гигиенической оценки экипировки военнослужащего

ГАНАПОЛЬСКИЙ В.П., доктор медицинских наук, полковник медицинской службы (ganvp@mail.ru)

ЯКОВЛЕВ А.В., доцент, подполковник запаса

АРТЕМЬЕВ Н.А., кандидат медицинских наук, майор медицинской службы

Военно-медицинская академия им. С.М.Кирова, Санкт-Петербург

Использование термоманекенов позволяет исключить привлечение испытуемых-добровольцев для физиолого-гигиенической оценки создаваемых комплектов экипировки военнослужащего и этим существенно снизить финансовые затраты. Сокращается время, необходимое для подготовки к эксперименту: исчезает этап проведения медико-биологической этической экспертизы, а также связанный с нормативно-правовыми аспектами этап поиска и подбора испытуемых-добровольцев. Ход проведения исследования не зависит от «человеческого фактора», и может быть гарантирована непрерывность такого исследования. Разработаны основные медико-технические требования к созданию и применению перспективных термоманекенов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: экипировка военнослужащих, физиолого-гигиеническая оценка, термоманекен.

Ganapolskii V.P., Yakovlev A.V., Artemev N.A. – Application of thermal manikins for physiological and hygienic assessment of military equipment of military personnel. The use of thermo-mannequins makes it possible to exclude the involvement of volunteer testers for the physiological and hygienic evaluation of the military equipment sets that are being created, and thereby significantly reduce financial costs. The time necessary for preparing for the experiment is minimized: the stage of carrying out a medical and biological ethical examination is disappearing, as well as the stage related to the regulatory and legal aspects of the search for and selection of volunteer testers. The progress of the study does not depend on the «human factor» and the continuity of such a study can be guaranteed. The basic medical and technical requirements for the creation and application of promising thermal manikins have been developed.

К е у о r d s: equipment of military personnel, physiological and hygienic assessment, thermal manikin.

Влияние характеристик экипировки военнослужащего (ЭВ) на функциональное состояние организма (ФСО) и качество исполнения служебных обязанностей неоспоримо [1]. Роль ЭВ состоит в защите не только от неблагоприятных факторов внешней среды, но и от профессиональных вредностей [2–7].

Несмотря на значительные ресурсы, затрачиваемые на разработку ЭВ, ее эксплуатационные, технические и технологические характеристики не всегда оказываются биологически адекватными [8]. Неудачно сконструированная ЭВ может значительно сковывать движения, оказывать изнуряющее воздействие, ухудшать ФСО военнослужащего.

С целью оценки качества комплектов ЭВ проводится их физиолого-гигиеническая оценка. Каждая такая оценка состоит из серии экспериментов, проводимых либо непосредственно на месте (полевые исследования), либо в специальных климатических камерах. В ряде случаев используется математическое моделирование экстремальных воздействий среды (рис. 1).

Натурное моделирование в климатических камерах является одним из самых экономически выгодных способов по критериям: цена, качество, временные затраты. В климатических камерах моделируются как отдельные климатические факторы (температура, влаж-



Оценка экстремальных условий среды при физиолого-гигиеническом исследовании комплектов экипировки военнослужащего		
Полевые исследования (непосредственно на месте)	Натурное моделирование в климатических камерах	Математическое моделирование

Рис. 1. Методы моделирования экстремальных воздействий среды на организм человека

ность, барометрическое давление, освещенность, скорость ветра), так и их комбинации. В Военно-медицинской академии имени С.М.Кирова с середины 1970-х годов для физиолого-гигиенической оценки комплектов ЭВ активно используется японская термобарокамера «Табай» V-18.

При проведении экспериментов в качестве испытуемых комплектов ЭВ выступают добровольцы-испытатели [4]. Наибольший интерес при проведении такой оценки представляют экстремальные по продолжительности и уровню температурного, барометрического, влажностного воздействия эксплуатационные режимы, которые наиболее полно отражают термоизоляционные свойства комплектов ЭВ и ФСО добровольцев-испытателей. Однако, в случае наличия у испытуемого не выявленных на этапе подготовки к экспериментам заболеваний сердечно-сосудистой и дыхательной систем, избыточная тепловая и физическая нагрузка могут привести к серьезным осложнениям состояния здоровья, вплоть до гибели человека [9, 10]. В связи с этим актуальна проблема поиска и отбора добровольцев-испытателей, у которых нет проблем со здоровьем.

Все изложенное заставляет по-другому взглянуть на физиолого-гигиеническую оценку комплектов ЭВ с позиции экономики. Стоимость исследований комплектов ЭВ зависит от способа их

проведения. Для разового эксперимента она наиболее высока в случае участия добровольцев и значительно ниже при имитационном математическом моделировании или использования термоманекенов.

При проведении эксперимента с участием добровольцев-испытателей практически не требуется никакого дорогостоящего вспомогательного оборудования. Но стоимость таких исследований высока за счет оплаты труда добровольцев-испытателей, их страхования и медицинского обеспечения. Применение манекенов, имитирующих человеческий организм, связано со значительными материальными затратами на их создание. Однако стоимость экспериментов с их использованием существенно ниже. Значительно сокращается период проведения экспериментов внутри климатических камер благодаря круглосуточной «работе» термоманекенов (рис. 2).

При проведении массовых испытаний ЭВ применение манекенов различных классов дает явный экономический выигрыш. Еще более выигрышным является использование имитационного математического моделирования за счет низкой стоимости оборудования и предельно низких затрат на разовый эксперимент. Однако ограничением служит требуемая точность получаемых результатов.

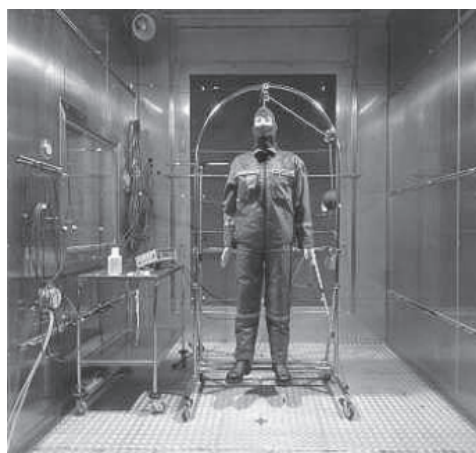


Рис. 2. Термоманекен внутри климатической камеры компании Weiss (Центральный институт защиты труда, Польша) [12]



Представляет интерес опыт использования манекенов в армиях мира.

Наиболее известны антропоморфные манекены, которые используются для оценки числа и видов поврежденных организма военнослужащего в случае аварии при его нахождении в транспортных средствах (автомобилях, бронетехнике, самолетах, вертолетах и т. д.). Первый антропоморфный манекен был разработан по заказу ВВС США в 1949 г. для испытаний катапультных авиационных кресел. У него были шарнирные соединения, имитирующие суставы и цельное тело. Травма обозначалась мелом на «пострадавших» участках. В 1972 г. корпорация «Дженерал Моторс» разработала антропоморфный манекен типа «Гибрид-II». Его конструкция легла в основу требований к манекенам в США (49 CFR, Part 572, Subpart B). Этот манекен вел себя при столкновении, как человек. Пропорции, распределение веса, форма головы, сгибающийся благодаря эластичным «хрящам» стальной позвоночник, ребра из гибких пластин, шарниры вместо суставов – все работало, как единый организм. Позже ему на смену пришел манекен «Гибрид III», состоящий из 350 металлических и пластиковых частей, весом 78 кг и длиной «тела» 175 см [12]. Современные антропоморфные манекены – это сложные конструкции, насыщенные электроникой.

Менее известны, но более востребованы в физиолого-гигиенической оценке комплектов ЭВ термоманекены. Впервые термоманекен (англ. *thermal manikin*) применили в США в 1930-х годах для оценки теплового сопротивления различных тканей. Использовалась простейшая конструкция из нагревательных элементов. Первый термоманекен для разработки военной одежды был создан в 1941 г. Х.Белдингом. В качестве такового был использован манекен, взятый из магазина и снабженный усиливающими конструкциями, внутренним нагревателем и вентилятором для распределения тепла [11]. С началом Второй мировой войны была сформирована Лаборатория климатических исследований армии США (*The US Army Climatic*

Research Laboratory). С 1942 по 1954 г. эта лаборатория была базовым подразделением по проведению исследований в области защиты военнослужащих США от факторов обитаемости военно-технических объектов.

В 1961 г. исследования военного назначения с использованием термоманекенов были перенесены в Исследовательский институт медицины окружающей среды (*U.S. Army Research Institute of Environmental Medicine, USARIEM*) в г. Наттик, штат Массачусетс. В 1970-х годах сравнение данных, получаемых от термоманекенов и полученных с участием испытателей, позволили разработать ряд важных математических моделей. Их применение существенно повысило достоверность оценки защитных свойств одежды, испытываемой с использованием термоманекенов. В начале 1980-х годов в армии США стартовала программа пересмотра систем одежды для всех родов войск и всех климатических условий с использованием новейших технологий и материалов. С этой целью в 1984 г. USARIEM стал использовать новый термоманекен, включающий 19 разделенных тепловых зон, каждая из которых имела возможность имитировать движения во время ходьбы и бега. Этот манекен помещался в климатическую камеру с точным управлением потоками воздуха, направляемыми на него. В результате были оценены, а затем адаптированы для армии ряд разработок в области текстиля (например, Gore-Tex, Thinsulate, Primaloft) [13].

Важно отметить, что применение термоманекенов позволило армии США создать одни из лучших комплектов ЭВ для разнообразных климатических условий, в которых могут действовать военнослужащие. Получаемые данные сыграли и продолжают играть важную роль в улучшении функциональных характеристик создаваемых комплектов ЭВ, вносят важный вклад в развитие доктрины применения ЭВ, в создание прогнозных моделей работоспособности человека.

В литературе описан опыт создания и коммерческих термоманекенов.



Американская компания Measurement Technology Northwest производит коммерческий термоманекен «Ньютон», предназначенный для проведения испытаний одежды и биофизических исследований (рис. 3).

«Ньютон» выполнен из сочлененных конструктивных элементов, обеспечивающих движения в плечах, локтях, бедрах, коленях, лодыжках, на запястьях и шее. Это позволяет принять ему практически

любую возможную позу тела. «Суставы» имеют регулируемое трение, с шариковыми подшипниками для обеспечения «хождения» манекена. «Ньютон» имеет развитое программное обеспечение. В комплект поставки «Ньютона» входит 20, 26 или 34 независимые температурные зоны. Возможна конфигурация от 14 до 45 зон.

Для качественной обработки получаемых данных, их визуализации и по-

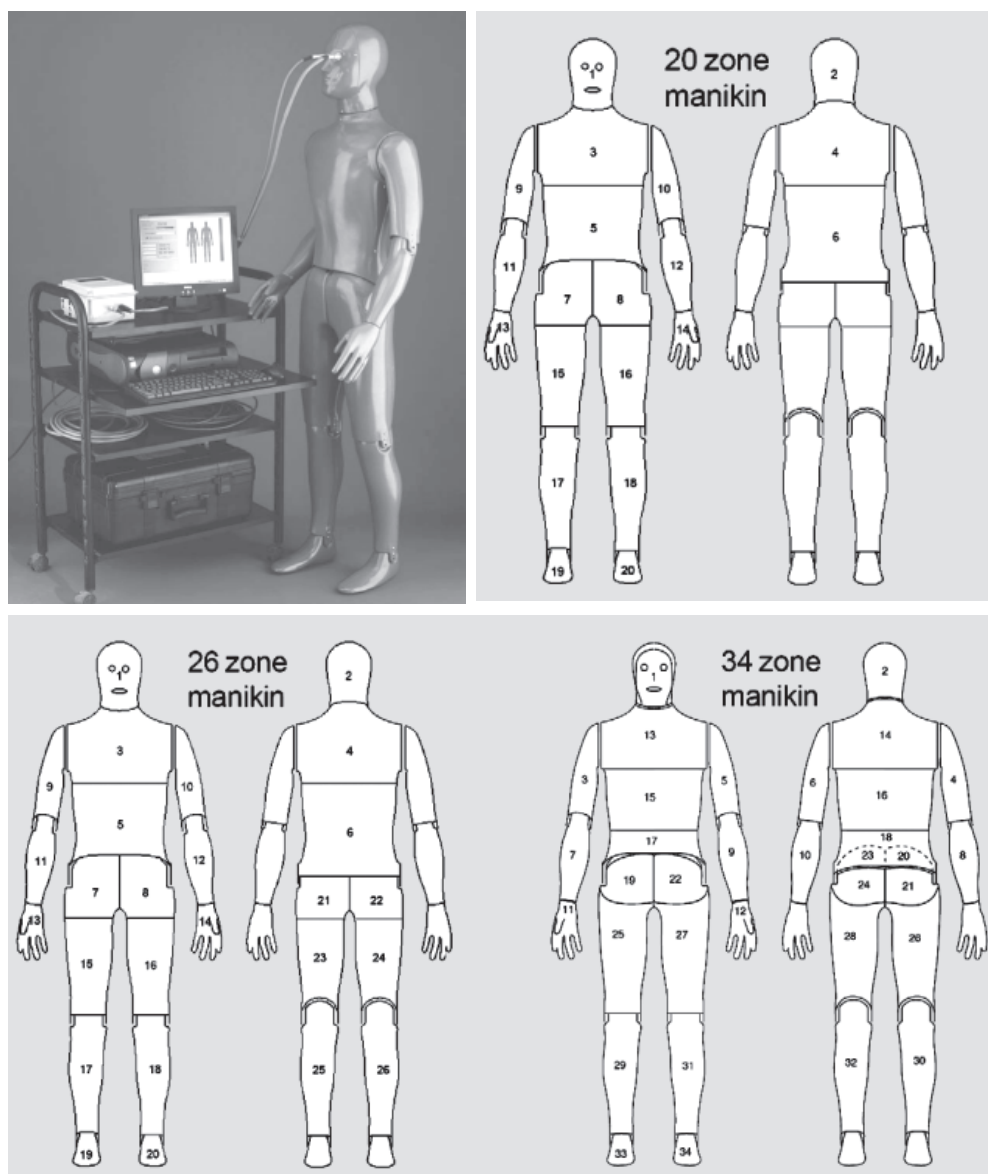


Рис. 3. Термоманекен «Ньютон» и схема стандартных тепловых зон на нем [11]



строения по ним математических моделей используется специальное программное обеспечение. Так, американская компания ThermoAnalytics известна в области термоаналитики и разработки программного обеспечения для термоанализа. Программное обеспечение этой компании позволяет моделировать терморегуляцию человека в переходных и несимметричных условиях окружающей среды. Все терморегуляторные реакции вычисляются в зависимости от погодных условий, одежды, уровня активности. Предсказываются скорости кровотока, потоотделение, температура тела. Возможен расчет по сегментам тела. Также рассчитываются индексы для местного и общего теплового ощущения и комфорта [11].

Наличие таких моделей позволяет находить им широкое применение в архитектурном анализе, дизайне салона автомобилей, поездов и самолетов, разработке пожарного оборудования и современных материалов для одежды и др. На основе этих моделей рассчитываются разнообразные свойства многослойной одежды и параметры, обеспечивающие требуемые физиологические показатели для каждого сегмента тела, а также эффекты от совместного нахождения группы людей (например, в транспортном средстве). Основными заказчиками этого программного обеспечения выступают гражданскими автопроизводители, а из военных — автомобильное и бронетанковое командование, лаборатория исследований и инжиниринга холодных регионов, Корпуса морской пехоты США и др.

Таким образом, современный термоманекен представляет сложный измерительно-моделирующий аппаратно-программный комплекс, в общем случае имеющий в своем составе следующие функциональные элементы:

1) собственно манекен, максимально правдоподобно повторяющий анатомическое строение человека;

2) система исполнительных устройств и программного обеспечения,

имитирующих внутри термоманекена физиологические процессы и деятельность основных систем организма человека;

3) система датчиков и программного обеспечения, регистрирующих широкий спектр физических величин как внутри термоманекена, так и на его поверхности;

4) программное обеспечение проведения эксперимента и полноценного анализа его результатов.

На основании изложенного, а также учитывая современный уровень развития технологий, сформулированы основные функциональные требования, которые могут быть положены в основу создания отечественного термоманекена для разработки и физиолого-гигиенической оценки ЭВ:

1. Антропоморфность — возможность изменения роста и веса, воспроизведения позы и полной амплитуды движений в суставах и конечностях, возможность изменения длины, объема, массы туловища и конечностей.

2. Имитация основных систем организма человека — опорно-двигательного аппарата, дыхания с движением грудной клетки, выделения углекислого газа при дыхании, кожных покровов; моделирование работы сердечно-сосудистой системы, работы системы дыхания и системы потоотделения.

3. Средства измерения — возможность измерения в реальном масштабе времени широкого перечня физических показателей как внутри, так и на поверхности термоманекена; модульность используемых измерительных средств, их унификация и возможность замены; возможность использовать измерительные сенсоры (термодатчики, акселерометры, потенциометры и т. п.) как внутри термоманекена, так и на его поверхности без внесения существенных изменений в конструкцию термоманекена.

4. Средства обработки и передачи информации — возможность синхронного сбора данных со всех измерительных средств, передачи данных по каналам



беспроводной связи, а также записи данных в защищенный внутренний модуль обработки.

5. Математические модели и программное обеспечение — возможность интеграции с большинством программных пакетов математической обработки данных, внесения изменений в используемые математические модели на основе данных исследований с участием добровольцев-испытателей, а также проведения имитационного моделирования; наличие программного интерфейса для подключения внешних библиотек обработки данных на основных языках программирования (C++, Java, Python);

6. Эксплуатационные требования — модульность составных частей термоманекена, их унификация и возможность замены.

В Ы В О Д Ы

1. Использование термоманекенов для физиолого-гигиенических исследований экипировки военнослужащих существенно снижает стоимость проведения исследования. Минимизируется время, необходимое для подготовки к эксперименту: исчезает этап проведения медико-биологической этической экспертизы, а также связанный с нормативно-правовыми аспектами этап поиска и подбора испытателей-добровольцев. Ход проведения исследования не зависит от «человеческого фактора» и может быть гарантирована непрерывность такого исследования.

2. Разработаны основные медико-технические требования к созданию и применению перспективных термоманекенов.

Литература

1. Гимазетдинов У.Г. Современное состояние, проблемы и перспективы развития экипировки военнослужащих ВС РФ // Актуальные проблемы защиты и безопасности: Тр. 4-й Всерос. науч.-практ. конф. — СПб: НПО спец. материалов, 2001. — С. 141–143.

2. Концептуальные основы создания средств индивидуальной защиты: Часть 1. Бронезилеты / Под общ. ред. В.Г.Михеева. — М.: Межакадемическое изд-во «Вооружение. Политика. Конверсия», 2003. — 340 с.

3. Логаткин С.М., Сокуров А.В., Рагузин Е.В. Влияние средств индивидуальной бронезащиты на работоспособность военнослужащих при совершении марш-броска // Актуальные проблемы развития технических средств медицинской службы: Сб. мат. Юбил. Всеарм. научно-практ. конф. 26 ноября 2015 г., Санкт-Петербург / Под ред. С.В.Ченура и И.А.Шперлинга. — СПб: СК-Вектор, 2015. — Т. 2. — С. 151–153.

4. Логаткин С.М., Сокуров А.В., Резванцев М.В., Хижняк А.Е. Влияние тяжести физической нагрузки, создаваемой боевой индивидуальной экипировкой, на эффективность применения ручных и противотанковых гранат // Вопросы оборонной техники. — Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. — М.: Изд. НТЦ «Информтехника», 2011. — Вып. 11–12. — С. 73–76.

5. Логаткин С.М., Сокуров А.В., Резванцев М.В., Хижняк А.Е. Влияние массы экипи-

ровки на время и возможность совершения военнослужащими марш-броска // Вопросы оборонной техники. — Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. — М.: Изд. НТЦ «Информтехника», 2011. — Вып. 5–6. — С. 73–78.

6. Лопатин С.А., Неженцев М.В., Найда В.Г. Военная гигиена в условиях локальных войн. — СПб: СПб ПМИ, 1995. — 328 с.

7. Ноздрачев А.В., Сальников В.П., Сильников М.В. Экипировка: Учебное пособие. — СПб: Фонд «Университет», 2001. — 272 с.

8. Рагузин Е.В., Герегей А.М., Григорьев С.Г. Физическая работоспособность и энергозатраты военнослужащих при использовании бронезилета в условиях субмаксимальных нагрузок // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. — 2016. — № 4. — С. 104–108.

9. Сысоев В.Н. Физиология военного труда: Уч. пособие. — СПб: Любавич, 2011. — 456 с.

10. Чвьреев В.Г., Алжаев А.Н., Новожилов Н.Г. Тепловой стресс. — М.: Медицина, 2000. — 295 с.

11. Endrusick T.L., Stroschein L.A., Gonzalez R.R. Thermal manikin history. URL: <http://www.thermetrics.com/solutions/research> (дата обращения: 18.11.2017).

12. Epoxy Thermal Manikin. URL: <http://www.tiensihiang.com> (дата обращения: 18.11.2017).

13. Thermal Loads Laboratory. URL: <http://www.ciop.pl/7287.html> (дата обращения: 18.11.2017).