

Н.В.Колесников, Е.Н.Храмов, Д.Л.Поклонский

РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ПЕРСОНАЛА, РАБОТАЮЩЕГО В БОКСАХ, ОБОРУДОВАННЫХ ПНЕВМОЛИНИЕЙ

ФГУП «Государственный научно-исследовательский институт биологического приборостроения», Москва, Российская Федерация

Цель данной работы состоит в том, чтобы проанализировать с точки зрения биологической безопасности возможность использования в работе медицинского персонала средств индивидуальной защиты, подключаемых к пневмолинии, показать технические и эксплуатационные характеристики специального костюма, его защитную эффективность в отношении органов дыхания и кожных покровов при различных скоростях подачи воздуха. **Материалы и методы.** В данной работе рассматривался специальный комбинированного типа. Исследования проводились в аэрозольной камере при участии испытуемых-добровольцев, выполняющих дозированную физическую работу средней тяжести в течение 4 ч. В ходе исследований оценивались следующие физиологические параметры испытуемых: частота сердечных сокращений, частота дыхания, температура тела. Определение послойной загрязненности специального костюма (наружная и внутренняя поверхности), белья и кожных покровов испытуемых-добровольцев проводили методом смывов и тройных агаровых отпечатков. **Результаты и выводы.** Проведенные исследования разработанного костюма СКБ-4 показали, что его применение обеспечивает надежную защиту медицинского персонала от микробного аэрозоля, а соблюдение требуемой скорости воздухоподачи в подкостюмное пространство, не ниже 250 л/мин, позволяет сохранить высокую работоспособность.

Ключевые слова: средства индивидуальной защиты, пневмокостюм, пневмолиния, мельцеровские боксы.

Корреспондирующий автор: Колесников Николай Викторович, e-mail: gosniibp@fmbamail.ru

N.V.Kolesnikov, E.N.Khramov, D.L.Poklonsky

Designing of Individual Protective Equipment for Personnel, Working in Safety Cabinets Instrumented with Pneumatic Line

State Research Institute of Biological Instrument Engineering, Moscow, Russian Federation

Objective of the study is to demonstrate technical and operational characteristics of the specialized suit, its protective efficacy in relation to respiratory organs and skin at different air-injection rates through analyzing the possibility to utilize individual protective equipment, connected to pneumatic line, from the viewpoint of biological safety. **Materials and methods.** Tested has been specialized suit of a combined type. Investigations have been conducted in an aerosol cabinet, involving volunteer researches, who performed controlled medium physical activities within 4 hours term. In the course of the studies analyzed have been the following physical parameters of the test operators: heart rate, respiratory rhythm, body temperature. Identification of layer-by-layer contamination of the specialized suit (external and internal surfaces), linen and skin of the volunteers has been carried out applying washing techniques and triple agar prints. **Results and conclusions.** Testing of the designed suit has revealed that its utilization provides for proper solid protection of healthcare personnel from microbial aerosol, and adherence to desired speed of air-injection into interlayer (under-suit) space, ≥ 250 l/min, allows for maintaining high working capacities.

Key words: individual protective equipment, pneumosuit, pneumatic line, Meltzer cabinet.

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

Funding: The study was carried out under Russia's Federal Medical-Biological Agency contract No 42.064.14.0.

Corresponding author: Nikolay V. Kolesnikov, e-mail: gosniibp@fmbamail.ru

Citation: Kolesnikov N.V., Khramov E.N., Poklonsky D.L. Designing of Individual Protective Equipment for Personnel, Working in Safety Cabinets Instrumented with Pneumatic Line. *Problemy Osobo Opasnykh Infektsii [Problems of Particularly Dangerous Infections]*. 2016; 1:64–67. (In Russ.). DOI: 10.21055/0370-1069-2016-1-64-67

В последние десятилетия во всем мире наблюдается дестабилизация эпидемической обстановки, вызванная ростом заболеваемости в природных очагах, случаями внутрибольничного и внутрилабораторного заражения, а также возрастанием угрозы биологического терроризма [3].

В Российской Федерации в рамках обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения осуществляется безопасное функционирование инфекционных стационаров, бактериологических и вирусологических лабораторий. Вместе с тем медико-техническое оснащение этих служб нужда-

ется в совершенствовании, что связано с постоянно сохраняющейся потенциальной опасностью заражения медицинского и технического персонала. Риск инфицирования возрастает, когда в инфекционные стационары поступают больные с высококонтагиозными инфекциями [4].

В этой связи целью проведенного исследования явилась разработка и проверка эксплуатационных характеристик защитного костюма СКБ-4, предназначенного для работы медицинского персонала в мельцеровских боксах.

Мельцеровские боксы представляют собой

сложное инженерно-техническое сооружение, расположенное на первом этаже инфекционного стационара. Больной поступает в мельцеровский бокс и покидает его со двора через отдельный вход/выход. Медицинский персонал для лечения и ухода за больным входит/выходит через двухдверный шлюз из коридора инфекционного стационара первого этажа [2].

В мельцеровских боксах обязательно существует вытяжная вентиляция, оборудованная высокоэффективными фильтрами высокой эффективности класса Н13, что исключает проникание бактерий или вирусов из внутреннего объема бокса с воздушными потоками.

Вместе с тем персонал, входящий в мельцеровский бокс к больному, также нуждается в защите, в связи чем усилия многих авторов направлены на создание высокоэффективной и эргономически удобной системы средств индивидуальной защиты, адаптированной к алгоритму работы в боксе.

Медицинский персонал (врачи, медсестры, санитары и т.д.) перед входом в мельцеровский бокс надевает пневмокостюм, проверяет его работоспособность и проходит к больному через двухдверный шлюз (с блокировкой дверей) для проведения медицинских процедур. По окончании работы персонал отсоединяется от пневмолинии внутри мельцеровского бокса, проходит в двухдверный шлюз и изолируется в нем с помощью дверей, подсоединяется к пневмолинии, устанавливает по расходомеру необходимый уровень подачи чистого воздуха. Затем включается компрессор и в течение установленного времени проводится предварительная дезинфекция с помощью генераторов аэрозоля (обычно это 3–6 % раствор перекиси водорода) наружной поверхности пневмокостюма. После выдувания вытяжной вентиляцией остатков аэрозоля дезинфектанта персонал выходит из двухдверного шлюза, снимает установленным порядком пневмокостюм и замачивает его для окончательной дезинфекции в емкости, установленной в коридоре инфекционного стационара [2].

Материалы и методы

Конструкция костюма СКБ-4 рассчитывалась специалистами ФГУП «ГосНИИБП» ФМБА России для достижения следующих показателей назначения:

- коэффициент проникания по органам дыхания должен составлять не менее $1 \cdot 10^{-5} \%$, а по области кожных покровов – $10^{-2} \%$;

- время непрерывной работы в специальном костюме должно быть не менее 4 ч.;

- специальный костюм должен быть удобен в эксплуатации и позволять проводить все медицинские манипуляции с больными;

- костюм должен выдерживать многократную дезинфекцию различными дезинфектантами;

- время надевания костюма не должно превышать 2 мин.

Требуемые значения коэффициента проникания

и защитной эффективности органов дыхания можно достигнуть, используя только изолирующее СИЗ, а защиту кожных покровов – посредством использования пылезащитного комбинезона. Таким образом, была разработана конструкция СИЗ в виде комбинированного пневмокостюма, который состоит из изолирующего воздухопроницаемого пневмошлема из прорезиненной ткани, соединенного с пылезащитным комбинезоном, при этом пневмошлем и комбинезон составляют единое целое. Такая конструкция обеспечивает быстрое надевание и снятие пневмокостюма.

Одновременно в конструкции специального костюма предусмотрена возможность автономного дыхания человека при отсоединении от пневмолинии и переходах из коридора в мельцеровский бокс и обратно.

Конструкция автономной системы воздухообеспечения для переходов внутри инфекционных стационаров состоит из загубника внутри шлема и фильтрующего-сорбирующего устройства (ФСУ), через которое можно очищать поступающий в подшлемное пространство воздух с расходом до 500 л/мин, при этом сопротивление дыханию ФСУ составляет 6,5 мм вод. ст. Коэффициент проскока ФСУ по масляному туману – не более $10^{-5} \%$.

Таким образом, костюм СКБ-4 представляет собой пылезащитный комбинезон (рисунок, поз. 1) изготовленный из фильтрующей вискозно-полиэфирной ткани с укрепленным в горловине комбинезона шлемом из прорезиненной ткани (поз. 4) со смотровым стеклом (поз. 5), воздуховодом (поз. 6), автономной системой воздухообеспечения (поз. 2, 3) и пуфтами (поз. 8). Комбинезон имеет застежку «молния», закрываемую клапаном, который фиксируется лентой «велькро» (поз. 7). Через эту застежку персонал надевает пневмокостюм.



Специальный костюм СКБ-4:

1 – комбинезон; 2 – фильтр ФСУ; 3 – гофрированная трубка; 4 – шлем; 5 – смотровое окно; 6 – воздуховод шлема; 7 – застежка; 8 – пуфта

Система воздухообеспечения для автономных переходов включает в себя загубник, клапанную коробку, трехходовой кран, фильтрующе-сорбирующее устройство (ФСУ).

Исследования защитной эффективности специального костюма СКБ-4 для персонала мельцеровских боксов проводились при участии испытателей-добровольцев с расходом подаваемого воздуха в зону дыхания работающего 250 л/мин. При этом испытатели выполняли дозированную физическую работу средней тяжести в течение 4 ч в динамической камере, где постоянно поддерживалась концентрация тестового микробного аэрозоля (*Serratia marcescens*) – 10^8 КОЕ/м³.

Определение послойной загрязненности микробным аэрозолем костюма СКБ-4 (наружная и внутренняя поверхности), белья и кожных покровов испытателей-добровольцев проводили при выполнении ими работ средней тяжести. Послойную загрязненность проводили методом смывов и тройных агаровых отпечатков.

В ходе исследований оценивались следующие физиологические параметры испытателей: частота сердечных сокращений, частота дыхания, температура тела.

Полученные результаты обрабатывались с помощью стандартных методов статистического анализа [4].

Результаты и обсуждение

По результатам анализа защитной эффективности коэффициент проникания в области органов дыхания составил $2 \cdot 10^{-6}$ %, в области кожных покровов – $8 \cdot 10^{-3}$ %. Полученные значения превышают защитные показатели подобных изделий [1, 2]. Это связано с тем, что в подкостюмное пространство СКБ-4 поступает воздух, который создает подпор внутри костюма, что препятствует проникновению микробного аэрозоля.

Как показано в предыдущих исследованиях [1], защитная эффективность средств индивидуальной защиты с принудительной подачей воздуха (пневмокостюмы, пневмошлемы и др.) зависит от объемной скорости подаваемого в подкостюмное или подшлемное пространство воздуха – чем больше скорость, тем выше защитная эффективность СИЗ. Это подтвердили результаты оценки защитной эффективности костюма СКБ-4 при различных скоростях воздухоподдачи – 50, 100, 150, 200, 250 и 300 л/мин. При этом следует отметить, что во всех экспериментах со скоростью воздухоподдачи от 50 до 250 л/мин микробный аэрозоль обнаруживался в зоне дыхания испытателей-добровольцев.

Так, при скорости воздухоподдачи 50 и 100 л/мин в зоне органов дыхания обнаруживалось от 100 до 300 колониеобразующих единиц, при объемной скорости воздухоподдачи 150 и 200 л/мин – десятки микробных колониеобразующих единиц, при 250 –

единичные микробы, и только при скорости воздухоподдачи 300 л/мин проникание микробного аэрозоля в зону дыхания подшлемного пространства костюма СКБ-4 ни в одном из экспериментов не обнаружено. Защитные свойства костюма СКБ-4, определяемые по области кожных покровов, также выше, чем у аналогичных комплектов [1, 2]. Это объясняется значительным подпором в подкостюмном пространстве за счет подаваемого чистого воздуха. Таким образом, оптимальная минимальная скорость воздухоподдачи, определяемая по показателям защитной эффективности, для костюма СКБ-4 составляет более 250 л/мин.

На следующем этапе оценочных исследований костюма СКБ-4 были проведены эксперименты по определению послойной загрязненности микробным аэрозолем самого костюма СКБ-4 (наружная и внутренняя поверхности), белья и кожных покровов испытателей-добровольцев при выполнении ими работ. Послойное определение бактериальной загрязненности всех слоев одежды позволяет дать характеристику эффективности защиты кожных покровов.

Изучение послойной загрязненности проводили методом смывов и тройных агаровых отпечатков. Из полученных данных можно сделать вывод, что, несмотря на значительные концентрации микробного аэрозоля в экспериментальной камере (10^7 – 10^8 КОЕ/м³), на кожных покровах испытателей-добровольцев микроорганизмы-имитаторы не обнаружены. Однако это положение справедливо только для экспериментальных исследований, при которых скорость воздухоподдачи в подкостюмное пространство СКБ-4 составляла не менее 250 л/мин. При скорости воздухоподдачи 200 л/мин и менее на кожных покровах испытателей-добровольцев обнаруживались микроорганизмы-имитаторы.

Помимо высокой защитной эффективности, при работе в СКБ-4 у персонала сохраняется высокая работоспособность, т.е. пневмокостюм СКБ-4 оказывает минимальные дополнительные нагрузки на организм работающего, что также подтверждено результатами исследований. Для определения значений дополнительных нагрузок проводилась физиолого-гигиеническая оценка состояния испытателей-добровольцев при выполнении работы в СКБ-1 при скорости воздухоподдачи 300 л/мин. Как показали исследования, функциональные сдвиги в организме испытателей-добровольцев носят умеренный характер и характеризуют приемлемое тепловое состояние организма [1]. Частота сердечных сокращений к концу четвертого часа работы составляла в среднем 105 уд/мин, частота дыхания – 19 цикл/мин, а показатели работоспособности снизились на 10–12 %, в основном за счет снижения способности испытателей-добровольцев к тонкой координации движений.

Известно, что основной путь увеличения теплоотдачи от работающего в пневмокостюме – увеличение скорости воздухоподдачи в подшлемное и подкостюмное пространство. Можно предположить, что

Таблица 1

Изменение физиологических параметров у испытуемых при работе в костюме СКБ-4 с различными скоростями воздухоподачи

Периоды эксперимента	Физиологические показатели и скорость воздухоподачи, л/мин											
	частота сердечных сокращений, уд/мин						частота дыхания, цикл/мин					
	50	100	150	200	250	300	50	100	150	200	250	300
До надевания спецкостюма	76±4	74±4	76±4	68±3	76±4	72±3	14±1	15±1	14±1	14±1	14±1	15±1
В конце 4-го часа работы средней тяжести	111±6	108±6	108±6	106±6	105±5	100±5	27±2	26±2	20±1	21±2	19±1	20±1
Через 20 мин после окончания работы	84±4	88±5	80±4	70±3	72±3	70±3	19±1	20±1	18±1	16±1	14±1	14±1

Таблица 2

Результаты оценки теплового состояния организма человека в костюме СКБ-4 при различных скоростях воздухоподачи (данные приведены к концу 4-го часа работы в костюме)

Показатели теплового состояния	Скорость воздухоподачи, л/мин					
	50	100	150	200	250	300
Температура тела (ректальная), °С	37,7–38,0	37,4–37,8	37,0–37,5	36,8–37,2	36,6–37,0	36,4–36,8
Средняя температура кожи, °С	35,2–36,1	33,2–34,8	32,0–33,5	31,4–33,0	30,8–32,0	30,2–31,0
Средняя температура тела, °С	36,7–37,5	36,4–36,9	35,7–36,5	35,2–36,0	34,9–35,6	34,7–35,3
Теплосодержание, ккал/кг	30,4–30,9	30,3–30,7	30,1–30,5	28,9–30,2	28,7–30,0	28,8–30,0

с увеличением воздухоподачи в СКБ-4 улучшаются и физиолого-гигиенические параметры, характеризующие состояние организма человека. Это подтверждают результаты, полученные в серии исследований по физиолого-гигиенической оценке влияния костюма СКБ-4 на организм человека в зависимости от скорости воздухоподачи (табл. 1 и 2).

Из результатов исследований видно, что скорости воздухоподачи 50, 100, 150 и 200 л/мин недостаточны для поддержания приемлемого физиологического состояния, так как при этих скоростях показатели теплового состояния не удерживаются на оптимальном уровне или соответствуют верхней допустимой границе. При скоростях воздухоподачи 250 л/мин и более сдвиги в функциональных системах организма испытуемых-добровольцев умеренные, близкие к оптимальному уровню.

Таким образом, проведенные исследования разработанного костюма СКБ-4 показали, что его применение обеспечивает надежную защиту медицинского персонала от микробного аэрозоля, а соблюдение требуемой скорости воздухоподачи позволяет сохранить высокую работоспособность и хорошее самочувствие работающих.

Финансирование. Работа выполнена по контракту с ФМБА России № 42.064.14.0.

Конфликт интересов. Авторы подтверждают отсутствие конфликта финансовых/нефинансовых интересов, связанных с написанием статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буянов В.В., Колесников Н.В. Современные средства индивидуальной защиты, применяемые для обеспечения биологической безопасности. М.; 2012. 224 с.
2. Буянов В.В., Супрун И.П. Средства индивидуальной защиты для работ в микробиологических и вирусологических лабораториях. М.: Черноголовка; 2001. 324 с.
3. Онищенко Г.Г., Пальцев М.А., Зверев В.В., Иванов А.А., Киселев В.И., Нетесов С.В., Северин С.Е., Семенов Б.Ф., Сергиев В.П., Шелкунов С.П. Биологическая безопасность. М.: Медицина; 2006. 304 с.
4. Покровский В.И., Пак С.Г., Брико Н.И., Данилкин Б.К. Инфекционные болезни и эпидемиология. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2007. 816 с.

References

1. Buyanov V.V., Kolesnikov N.V. [State-of-the-Art Individual Protective Equipment, Applied for Biological Safety Provision]. M.; 2012. 224 p.
2. Buyanov V.V., Suprun I.P. [Personal Protective Equipment for Works in Microbiological and Virological Laboratories]. M.: "Chernogolovka"; 2001. 324 p.
3. Onishchenko G.G., Pal'tsev M.A., Zverev V.V., Ivanov A.A., Kiselev V.I., Netesov S.V., Severin S.E., Semenov B.F., Sergiev V.P., Shchelkunov S.P. [Biological Safety]. M.: "Meditsina"; 2006. 304 p.
4. Pokrovsky V.I., Pak S.G., Briko N.I., Danilkin B.K. [Infectious Diseases and Epidemiology]. M.: "GEOTAR-Media"; 2007. 816 p.

Authors:

Kolesnikov N.V., Khranov E.N., Poklonsky D.L. State Research Institute of Biological Engineering. Building 1, 75, Moscow, Volokolamskoye Highway, 125424, Russian Federation. E-mail: gosniibp@fmbamail.ru

Об авторах:

Колесников Н.В., Храмов Е.Н., Поклонский Д.Л. Государственный научно-исследовательский институт биологического приборостроения. Российская Федерация, 125424, Москва, Волоколамское шоссе, 75, к. 1. E-mail: gosniibp@fmbamail.ru

Поступила 24.06.15.