

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ  
ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шипицына Л.М. Детский церебральный паралич [Текст]: Хрестоматия / И.И. Мамайчук; - М.; Инст. Общ. Гум. Исслед., 2003. - 519 с.
2. Сальков В.Н., Шмелева С.В., Коноваленко С.В. Детский церебральный паралич. Причины. Клинические проявления. Лечение и реабилитация [Текст] / С. В. Шмелева, С. В. Коноваленко. - М.: ГЭОТАР-Медиа, 2020. - 160 с.
3. Gross Motor Function Classification System [Электронный ресурс]: //Wikipedia. - URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Gross\\_Motor\\_Function\\_Classification\\_System](https://en.wikipedia.org/wiki/Gross_Motor_Function_Classification_System) (дата обращения 07.05.2019)

REFERENCES

1. Shipitsyna L.M. Cerebral Palsy [Text]: Christopathy / L.M. Shipitsyna, I.I. Mamaychuk; - M. Inst. General. Researches. 2003. - 519 с.
2. Salkov V.N., Shmeleva S.V., Konovalenko S.V. Cerebral Palsy. Causes. Clinical manifestations. Treatment and rehabilitation [Text] / V.N. Salkov, S.V. Shmeleva, S.V. Konovalenko. - Moscow: GEOTAR-Media, 2020. - 160 с.
3. Gross Motor Function Classification System [Electronic resource]: //Wikipedia. - URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Gross\\_Motor\\_Function\\_Classification\\_System](https://en.wikipedia.org/wiki/Gross_Motor_Function_Classification_System) (accessed 07.05.2019)

УДК 658.527

<https://doi.org/10.48184/2304-568X-2021-4-101-106>

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЕЛИЧИНЫ КОНСТРУКТИВНЫХ ПРИБАВОК  
ЗАЩИТНОГО КОСТЮМА КИНОЛОГА

Н.С. МОКЕЕВА<sup>1</sup>\*, Т.О. БУНЬКОВА<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> «Российский государственный университет», им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), Российская Федерация, 115035, г. Москва, Садовническая ул.33)  
Электронная почта автора-корреспондента: mokeevamck@rambler.ru\*

*Рассмотрены проблемы проектирования костюма полной защиты кинолога-фигуранта. Предлагается математическая модель оптимизации величины конструктивных прибавок для прогнозирования и поиска рациональной конструкции СИЗ тренера-кинолога с высокими эргономическими свойствами.*

**Ключевые слова:** фигурант, костюм полной защиты, эргономические требования, служебная собака, теплотери, пакет материалов, конструктивные прибавки, оптимизация.

MATHEMATICAL ANALYSIS OF THE VALUE OF CONSTRUCTIVE ADDITIVES IN  
THE PROTECTIVE SUIT OF THE KINOLOGIST

N.S. MOKEEVA\*, T.O. BUNKOVA

Russian State University named after A.N. Kosygin (Technology. Design. Art),  
Moscow, Russian Federation, 115035, Moscow, Sadovnicheskaya st. 33)  
Corresponding author e-mail: mokeevamck@rambler.ru\*

*The problems of designing a suit for full protection of a cynologist-figurant are considered. A mathematical model is proposed for optimizing the value of constructive increments for predicting and searching for a rational design of PPE for a trainer-dog handler with high ergonomic properties.*

**Keywords:** cynologist-figurant, full protection suit, ergonomic requirements, service dog, heat loss, package of materials, constructive increments, optimization.

## ИТ ӨНДЕУШІНІҢ ҚОРҒАНЫС КОСТЮМІНІҢ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ ӨСУІНІҢ ШАМАСЫН МАТЕМАТИКАЛЫҚ ТАЛДАУ

Н.С. МОКЕЕВА\*, Т.О. БУНЬКОВА

(А.Н. Косыгин атындағы «Ресей мемлекеттік университеті», (Технология. Дизайн. Өнер), Ресей Федерациясы, 115035, Мәскеу, Садовническая көш. 33)

Автор-корреспонденттің электрондық поштасы: mokeevamck@rambler.ru\*

*Кинолог-фигурантты толық қорғау үшін костюмді жобалау мәселелері қарастырылады. Жоғары эргономикалық қасиеттері бар кинолог-тренер үшін ЖҚК ұтымды дизайнын болжау және іздеу үшін конструктивті өсімдердің мәнін оңтайландырудың математикалық моделі ұсынылған.*

*Негізгі сөздер: фигурант, толық қорғаныс костюмі, эргономикалық талаптар, қызметтік ит, жылу жоғалту, материалдар пакеті, конструктивті қоспалар, оңтайландыру.*

### Введение

Потребность в качественно подготовленных служебных собаках остается актуальной в современных реалиях для кинологических подразделений учреждений УИС, МВД и других силовых министерств, в вооруженных силах РФ, несмотря на их оснащение современными техническими средствами и вооружением. Одним из направлений служебного собаководства является защитно-караульная служба. В кинологических подразделениях подготовкой собак в этом направлении занимается инструктор по защитной работе или помощник инструктора по защитной работе – фигурант.

Фигурант – это помощник инструктора-дрессировщика собак или эксперта, который помогает выявить необходимые психофизиологические способности собак и человека, участвующих в процессе дрессировки или испытаний [1].

Фигурант обязан иметь соответствующую экипировку или специальное дрессировочное снаряжение, обеспечивающее безопасность человека и собаки. Фигурант использует защитный рукав, а при обучении крупных сильных собак – костюм полной защиты, который полностью защищает кинолога. Работать в костюме сложно технически и физически. Костюм должен защищать человека во время тренировок, позволять работать практически в любую погоду, быть комфортным и не сковывать движения специалиста. Фигурант должен чувствовать себя в костюме свободно, комфортно и уверенно. Костюм является всесезонным. Тренировки собаки и фигуранта происходят, как правило, на улице, вне зависимости от погодных условий. При нападении собаки на фигуранта,

он падает на землю, то есть в пыль, снег или грязь. Костюм полностью должен защищать фигуранта от укусов собаки, а также быть влагонепроницаемым и хорошо очищаться от загрязнений. Кроме того, костюм должен обеспечивать безопасную и комфортную работу собаки. Для разработки эргономичной конструкции костюма фигуранта необходимо учитывать, что техника работы в специальном защитном снаряжении включает прием собаки, увороты, обводку, проводку, работу со стеклом (замахи и имитация ударов) и отработку различных способов работы над «хваткой» [2]. Костюм фигуранта является сложным швейным изделием, к которому, в первую очередь, предъявляются защитные и эргономические требования.

Эргономические требования характеризуют сохранение теплового баланса под одежного пространства, обеспечение соответствия конструкции изделия форме тела человека как в статике, так и в динамике; удобство использования отдельных элементов изделия. Рассмотрев требования в системе «кинолог – защитный костюм – внешняя среда», можно сформулировать наиболее значимые: костюм должен обеспечивать защиту от укусов и гематом для человека, не должен иметь большой вес, костюм должен обеспечивать свободу движения фигуранта, костюм должен обеспечивать собаке комфортное осуществление захвата [3].

Особенностью пакета материалов костюма полной защиты является его многослойность. В состав пакета материалов входят материал верха, локальные усилительные накладки, амортизационные прокладки, наполнитель (утеплитель), подкладочные материалы. Большинство современных костюмов

по структуре пакета материалов близки к зимней одежде с утепляющими прокладками, что приближает работу собаки к реальной жизни, а также дает ей возможность произвести хватку в спину, грудь, ноги. Поиск оптимальной величины конструктивных прибавок – задача очень сложная. С одной стороны, уменьшение объема пододежного пространства не должно причинять дискомфорт фигуранту при выполнении определенных характерных движений и обеспечивать достаточный объем изделия для выполнения собакой полноценной хватки. С другой стороны, излишний объем изделия приводит к увеличению материалоемкости и большому весу защитного костюма (вес костюма полной защиты в среднем составляет 25 килограмм). В исследовании рассмотрен процесс теплопередачи через пакет утепленной одежды. Для этого произведены измерения теплотерь организма при пониженных температурах для определенного числа конструкций защитного костюма.

Теплозащитные свойства одежды, в основном, определяются подвижностью заключенного в ней воздуха. Интенсивность теплообмена с окружающей средой будет зависеть от конструкции одежды, от степени прилегания одежды к телу человека, от возможности проникновения наружного воздуха в пододежное пространство. Разница между теплопродукцией и теплоотдачей накапливается в организме человека и ведет к его перегреву. В процессе активной физической деятельности человека в условиях спокойного воздуха разница между теплопродукцией и теплоотдачей значительно возрастает [3]. На основании практического опыта эксплуатации изделий для защиты от перепада температур, теоретических и экспериментальных исследований в этой области установлено, что основной вклад в термическое сопротивление вносят объемные материалы утепляющих прокладок.

Соответствие одежды эргономическим требованиям достигается на стадии создания эргономически оптимального конструктивного решения. С целью выбора конструктивных решений защитного костюма фигуранта и оптимизации прибавок при построении конструкции изделия, проведено следующее исследование. Проведено определение величины топографии теплового излучения с поверхности утепленной оде-

ды основан на измерении температуры на поверхности изделия при помощи жидкокристаллических термодатчиков, обладающих разным диапазоном чувствительности к температурам. Термодатчики были произведены в Институте теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН. Они представляют собой полимерную пленку, с нанесенным на нее тонкопленочным термоиндикаторным покрытием. Жидкие кристаллы при повышении температуры изменяют свой цвет с красного до синего и воспроизводят изображение теплового поля в виде цветной картины.

Для установления оптимальных параметров специальной одежды в практике проектирования приходится использовать целый набор различных методов в соответствии с требованиями к качеству результатов оптимизации. Многообразие используемых методов оптимизации при проектировании спецодежды обусловлено объективными трудностями, заложенными в самом характере проектной задачи – обеспечении защитной эффективности спецодежды при наименьшем физиологическом дискомфорте организма человека [4]. Поэтому при проектировании спецодежды целесообразно применять методы частичной (локальной) оптимизации путем разбиения процесса проектирования на стадии по отдельным параметрам. Путем анализа математических методов моделирования установлено, что помимо линейных зависимостей методы математического моделирования позволяют учитывать квадратичные зависимости параметров. Таковым является метод поверхности отклика Бокса-Бенкина [5].

Одно из отличительных свойств костюма полной защиты – большая толщина пакета материалов, что обеспечивает не только функцию защиты, но и теплозащитную функцию. Поэтому важной задачей на стадии проектирования является прогнозирование теплотерь организма в спецодежде при разнице температур пододежного пространства и окружающей среды. Снижение теплоизоляционных свойств конструкции одежды во время движений может играть положительную роль (например, при поддержании теплового баланса человека в процессе выполнения им активной физической тренировки). Для нахождения оптимального сочетания конструктивных прибавок

вок в комплекте спецодежды, позволяющего получить минимальный процент теплопотерь организма, но при этом не стесняющих движений работающего, необходимо проводить исследования в двух направлениях:

1) проанализировать зависимость величины теплопотерь от различных сочетаний конструктивных прибавок;

2) проанализировать соответствие предлагаемых конструкций эргономическим требованиям к изделию – то есть соответствие изделия комплексу наиболее характерных движений кинолога.

Вторая задача требует исследования давления одежды, возникающего в зонах динамических контактов внутренней поверхности одежды с телом человека и обусловленного не только величиной динамических нагрузок, возникающих в деталях одежды при выполнении человеком трудовых движений, но и радиусом динамической кривизны тела на участках его плотного контакта с внутренней поверхностью одежды.

На данном этапе исследования представлено решение первой задачи – нахождение рациональных сочетаний конструктивных прибавок, позволяющих прогнозировать теплопотери организма.

#### ***Материалы и методы исследований***

Метод исследования топографии теплового излучения с поверхности утепленной одежды основан на измерении температуры с поверхности одежды при помощи термодатчиков, обладающих разным диапазоном чувствительности к температурам [6]. Всего для исследований задействованы 5 термодатчиков различного диапазона. Для получения наиболее точных результатов исследования в линейку термодатчиков отобраны образцы, диапазоны чувствительности которых пересекаются.

Для исследования отобраны 15 моделей курток с различным сочетанием конструктивных прибавок. Производились изме-

рения температуры, полученные с поверхности одежды, после чего рассчитывалась величина потери тепла конвекцией. По результатам измерений имеется ряд входных данных – три варьируемых переменных, представляющих собой различные значения конструктивных прибавок, и отдельные значения функции, экстремум которой необходимо найти. Для решения поставленной задачи выбран метод поверхности отклика Бокса-Бенкина. Ряд варьируемых переменных – это относительная величина прибавки к ширине проймы, прибавка на свободу проймы по глубине, прибавка к полуобхвату груди, а отдельные значения искомой функции – величины теплового излучения с поверхности одежды. Решение такой математической модели заключается в нахождении коэффициентов уравнения регрессии, по значениям которых можно оценить, сочетания каких переменных оказывают наибольшее влияние на значения функции. Расчет коэффициентов уравнения регрессии проводится при использовании прикладных математических программ для ЭВМ по следующему алгоритму: ввод независимых переменных путем кодирования уровней в стандартизованных единицах (-1;0;1); расчет поверхности отклика; далее по измеренным значениям целевой функции при существующей комбинации переменных определяются промежуточные значения и на следующем этапе производится решение нелинейного квадратичного уравнения методом наименьших квадратов.

Наглядное представление наиболее чувствительных переменных и их сочетаний к целевой функции показывает диаграмма коэффициентов (называемая диаграммой Парето эффектов), пример представлен на рисунке 1. Диаграмма позволяет наглядно судить, сочетание каких независимых переменных оказывает наибольшее влияние на значения целевой функции (на теплопотери организма с поверхности одежды).

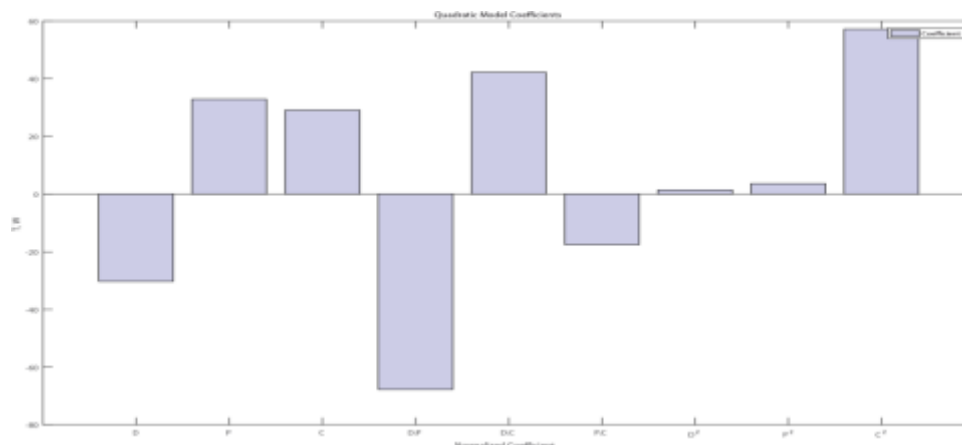


Рисунок 1 - Диаграмма Парето эффектов

Полученные в результате решения графики поверхностей отклика наглядно показывают направление максимума и минимума

искомой функции. Графики поверхностей отклика различных сочетаний переменных представлены на рисунке 2.

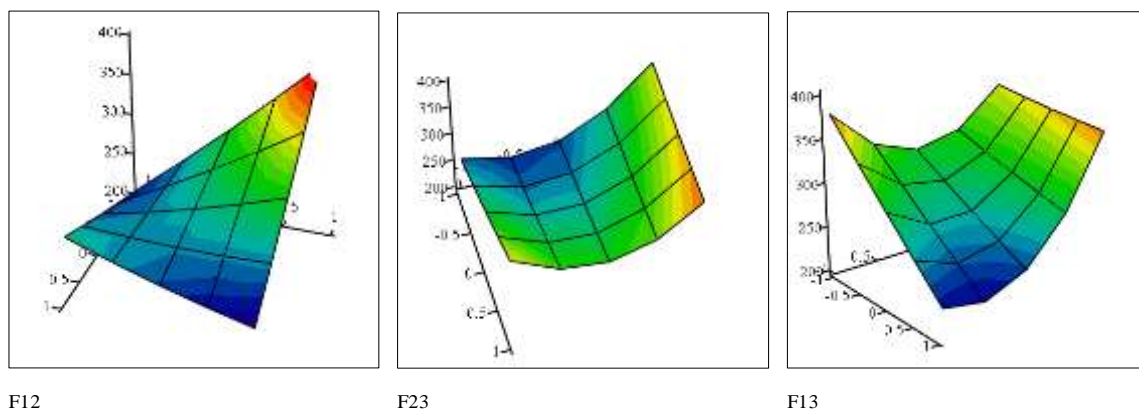


Рисунок 2 – Графики поверхности отклика искомой функции от различных сочетаний переменных

В результате решения уравнений регрессии получены оптимальные значения переменных конструктивных прибавок, при которых значение искомой функции – то есть теплопотери организма с поверхности утепленной одежды – будет минимальным. В таком случае определяются рациональные сочетания прибавок максимальной величины. При нахождении тем же математическим путем другого экстремума, величина теплопотери организма с поверхности утепленной одежды будет максимальной, что позволяет определить минимальную величину прибавок. Полученные решения являются промежуточными и позволяют проводить дальнейший анализ соответствия предлагаемых конструкций эргономическим требованиям к изделию – то есть соответствие изделия комплексу наиболее характерных движений кинолога и необходимой величины толщины пакета материалов для захвата собакой.

### **Заключение. Выводы**

Таким образом, из ряда методов математического моделирования для решения поставленной задачи использован метод поверхности отклика Бокса-Бенкина, сущность которого заключается в построении центрального композиционного плана с равноудаленными от центра точками. Предлагаемая методика математического расчета позволяет получить значения коэффициентов уравнения регрессии, которые позволяют оценить наиболее чувствительные к целевой функции переменные и их взаимные сочетания. Методика позволяет определить рациональные сочетания конструктивных прибавок (прибавка к ширине проймы, прибавка на свободу проймы по глубине и прибавка к полуобхвату груди) с точки зрения оптимизации теплопотерь организма.

Полученная математическая модель предназначена для дальнейшего исследова-

ния и поиска оптимальной конструкции сложного изделия – костюма полной защиты кинолога-фигуранта в зависимости от выбранных конструктивных прибавок на свободу облегания.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 57526-2017. Услуги для непродуктивных животных. Дрессировка собак для противодействия человеку. Общие требования. – М.: Стандартинформ, 2020. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200146158> (дата обращения 06.09.2021).

2. Салимбаев, У.Т. Дополнительная профессиональная программа – программа повышения квалификации специалистов-кинологов учреждений и органов уголовно-исполнительной системы в качестве инструкторов по подготовке служебных собак к защитно-караульной службе (фигурантов) // III Международный пенитенциарный форум "Преступление, наказание, исправление": сборник трудов конференции. – Издательство: Академия права и управления Федеральной службы исполнения наказаний (Рязань), 2017. – С. 419-421.

3. Арчинова, Е.В. Анализ условий эксплуатации защитного костюма для кинолога-фигуранта / Т. О. Бунькова, Н. В. Фрибус // Молодой ученый. — 2014. — № 20 (79). — С. 108-110. — URL: <https://moluch.ru/archive/79/14059/> (дата обращения: 06.09.2021).

4. Сурженко, Е. Я. Теоретические основы и методическое обеспечение эргономического проектирования специальной одежды: специальность 05.19.04 «Технология швейных изделий»: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна. – Санкт-Петербург, 2001 г. – 417 с.

5. Some New Three Level Designs for the Study of Quantitative Variables G. E. P. BOX and D. W. BEHNKEN University of Wisconsin and the American Cyanamid Company. Источник: Technometrics, Vol. 2, № 4 (ноябрь, 1960). - С. 455-475.

6. Мокеева, Н.С. Оптимизация величин конструктивных прибавок утепленной одежды / Н.С. Мокеева, Г.Н. Трущенко, А.Ж. Талгатбекова, Е.А.

Ашимова, А. Оспан Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности 2019. – 6 (384). – С. 191-193.

#### REFERENCES

1. GOST R 57526-2017. Uslugi dlya neproduktivnykh zhivotnykh. Dressirovka sobak dlya protivodeistviya cheloveku. Obshchie trebovaniya. – M.: Standartinform, 2020. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200146158> (data obrashcheniya 06.09.2021). (in Russian)

2. Salimbaev, U.T. Dopolnitel'naya professional'naya programma – programma povysheniya kvalifikatsii spetsialistov-kinologov uchrezhdenii i organov ugolovno-ispolnitel'noi sistemy v kachestve instruktorov po podgotovke sluzhebnykh sobak k zashchitno-karaul'noi sluzhbe (figurantov) // III Mezhdunarodnyi peniten-tsiarnyi forum "Prestuplenie, nakazanie, ispravlenie": sbornik trudov konferentsii. – Izdatel'stvo: Akademiya prava i upravleniya Federal'noi sluzhby ispolneniya nakazanii (Ryazan'), 2017. – S. 419-421. (in Russian)

3. Archinova, E. V. Analiz uslovii ehkspluatatsii zashchitnogo kostyuma dlya kinologa-figuranta / T. O. Bun'kova, N. V. Fribus // Molodoi uchenyi. — 2014. — № 20 (79). — S. 108-110. — URL: <https://moluch.ru/archive/79/14059/> (data obrashcheniya: 06.09.2021). (in Russian)

4. Surzhenko, E. YA. Teoreticheskie osnovy i metodicheskoe obespechenie ehrgonomicheskogo proektirovaniya spetsial'noi odezhdy: spetsial'nost' 05.19.04 «Tekhnologiya shveinykh izdelii»: dissertatsiya na soiskanie uchenoi stepeni doktora tekhnicheskikh nauk / Sankt-Peterburgskii gosudarstvennyi universitet promyshlennykh tekhnologii i dizaina. – Sankt-Peterburg, 2001 g. – 417 s. (in Russian)

5. Some New Three Level Designs for the Study of Quantitative Variables G. E. P. BOX and D. W. BEHNKEN University of Wisconsin and the American Cyanamid Company. Источник: Technometrics, Vol. 2, № 4 (ноябрь, 1960). - С. 455-475.

6. Mokeeva, N.S. Optimizatsiya velichin konstruktivnykh pribavok uteplennoi odezhdy / N.S. Mokeeva, G.N. Trushchenko, A.ZH. Talgatbekova, E.A. Ashimova, A. Ospan // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Tekhnologiya tekstil'noi promyshlennosti. – 2019. – 6 (384). – S. 191-193. (in Russian)