

УДК 623.445.1

doi: 10.53816/23061456_2025_1-2_100

РАЗРАБОТКА И ИСПЫТАНИЯ ПРОТОТИПОВ ПРОТИВОМИННОЙ ЗАЩИТЫ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ

DEVELOPMENT AND TESTING OF LOWER LIMBS MINE PROTECTION PROTOTYPES

О.А. Петрожицкая, О.С. Новак, канд. техн. наук И.В. Гук

О.А. Petrozhitskaya, O.S. Novak, Ph.D. I.V. Guk

НПО Спецматериалов

В статье представлены результаты разработки и испытаний прототипов индивидуальных средств противоминной защиты нижних конечностей. Прототипы представляют собой платформу для снижения ударно-дробящего действия взрыва с противоосколочным гамашем для защиты от осколочного потока. Были разработаны и испытаны несколько различных конструктивных вариантов индивидуальных средств защиты. Испытания проводились в полигонных условиях с использованием механического манекена (неразрушаемого имитатора нижней конечности) и калиброванных зарядов взрывчатого вещества. Были экспериментально определены усилия и ускорения, передающиеся на имитатор ноги со штатным ботинком. На основе полученных результатов сделаны выводы о перспективности конструкций индивидуальных средств противоминной защиты нижних конечностей и дальнейших путях их совершенствования.

Ключевые слова: противоминная защита, защита нижней конечности, противоминная платформа, противоосколочная защита, сверхвысокомолекулярный полиэтилен, РУССИЛ.

The article presents the results of the development and testing of prototypes of individual means of mine protection of the lower extremities. The prototypes are a platform for reducing the impact-crushing effect of an explosion with anti-fragmentation gaiters to protect against fragmentation flow. Several design variants of personal protective equipment have been developed and tested. The tests were carried out in landfill conditions using a mechanical dummy (an indestructible simulator of the lower limb) and calibrated explosive charges. The forces and accelerations transmitted to the simulator with a standard boot were experimentally determined. Based on the results obtained, conclusions are drawn about the viability of the designs of individual mine protection equipment for the lower extremities and further ways to improve them.

Keywords: mine protection, lower limb protection, mine protection platform, fragmentation protection, ultrahigh molecular weight polyethylene, RUSSIL.

Введение

Несмотря на развитие механических средств разминирования — боевых машин (БМП-3

«Корт-Б», БМП-3М «Вепрь», 15М107 «Листва» и др.), дистанционно-управляемых роботов (ДУМ-Р «Уран-6», МГР-4 «Шмель» и др.), основная работа по обнаружению и обезврежива-

нию мин, неразорвавшихся боеприпасов и взрывных устройств производится саперами вручную. При такой работе существует значительный риск подрыва, травмы или гибели личного состава. Сапер, наступая на взрывное устройство или противопехотную мину нажимного действия, приводит ее в действие, в результате может произойти травматическая ампутация нижней конечности. Также существуют осколочные мины (ПОМ-3 и др.), оборудованные сейсмодатчиком и срабатывающие на расстоянии от сапера. Поэтому для защиты от ударно-дробящего действия взрыва и для защиты от осколочного потока разрабатывается противоминная обувь различной конструкции, например — в виде «паука» [1], «галоши», «платформы» [2], специального «ботинка» [3] или «сапога Шаповалова» (ПМО-1). Отсутствие единой, или хотя бы конструктивно схожей, конструкции указывает на то, что ни один из применяемых в настоящее время видов противоминной обуви не является оптимальным и не обеспечивает необходимый уровень защиты [4].

С целью разработки современной защиты сапера, в АО «НПО Спецматериалов» проводятся масштабные теоретические и практические изыскания [5]. В ходе таких проработок была предложена конструкция для защиты нижних конечностей в виде противоминных платформ с противоосколочными гамашами. Было изготовлено несколько прототипов различной конструкции и проведены их натурные испытания в полигонных условиях.

Противоминные платформы с противоосколочными гамашами

Основная задача средств индивидуальной защиты нижних конечностей — снижение ударно-дробящей нагрузки взрыва и защита от осколочного потока. В случае если подрыв происходит под ступней, при непосредственном контакте ноги со взрывным устройством или миной, необходимо защитить как опорную ногу, так и вторую ногу. При этом на опорную ногу в основном будет действовать бризантное и ударно-волновое действие взрыва, а на вторую ногу — ударно-волновое и осколочное действие. Если подрыв происходит на некотором расстоянии (свыше 20 радиусов заряда), то основным

поражающим фактором становится осколочный поток.

Исходя из особенностей травм нижних конечностей [6], были разработаны прототипы индивидуальных средств противоминной защиты, которые представляли собой противоосколочные гамашы, одевающиеся на ноги, обутые в штатные ботинки, к которым крепились противоминная платформа (рис. 1).

Задача гамаша — задержать осколочный поток и снизить ударно-волновую нагрузку на голеностоп, а задача платформы — снизить бризантное действие взрыва на нижнюю конечность в целом. Гамаш прикрепляется к ноге в ботинке через ремень с застежкой типа «контакт», затем нога в гамаше закрепляется на противоминной платформе с помощью ремennых лент и пряжки. Противоосколочная защита [7] гамаша достигается за счет применения в его структуре достаточного количества слоев сверхвысокомолекулярного полиэтилена «РУССИЛ» [8, 9]. Масса гамаша составляла 455 ± 5 г.



а



б

Рис. 1: а — противоосколочный гамаш; б — противоминная платформа

В конструкции противоминной платформы и противоосколочного гамаша отсутствуют металлические детали для облегчения конструкции, уменьшения возможности травмирования и защиты от срабатывания детонаторов, реагирующих на металлические части. Всего было проработано 6 вариантов прототипов, отличающихся размером, конструкцией платформы, рисунком и глубиной протектора, а также применяющимися в них демпфирующими и взрывозащитными материалами, конструкция гамаша для всех прототипов была одинаковой. Высота всех прототипов противоминных платформ составляла 80 мм. В качестве наполнения применялись слои сверхвысокомолекулярного полиэтилена «РУССИЛ», пенополиуретана, пенополистирола и заполненные двухфазной гетерогенной средой [10, 11] капсулы.

Натурные испытания

Противовзрывные свойства средств индивидуальной бронезащиты обычно испытываются на полигонах, при подрывах калиброванных рядов взрывчатых веществ, или в лабораторных условиях с использованием генераторов ударных волн — ударных труб [12], для регистрации параметров воздушных ударных волн используются массивы пьезодатчиков [13]. Такие подходы можно использовать для исследования противовзрывных свойств средств индивидуальной защиты паха, бедер и в целом — участков тела человека, располагающихся выше середины бедра, но не при контактном подрыве мины под стопой. В таком случае основное поражение будет за счет бризантного, ударно-дробящего действия взрыва и затронуты будут в основном нижние конечности до середины бедра [14].

Для оценки защитных свойств разработанных прототипов были проведены натурные испытания в полигонных условиях при контактном подрыве мины под платформой. В отличие от численного моделирования, проведенного в работе [15], примененный подход позволяет, без построения сложных математических моделей, которые должны учитывать пластичность, повреждаемость, разрушение и другие физические процессы, получить практический результат и отработать наиболее перспективные конструкции защиты (рис. 2).

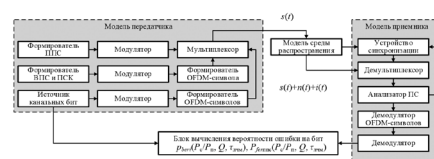
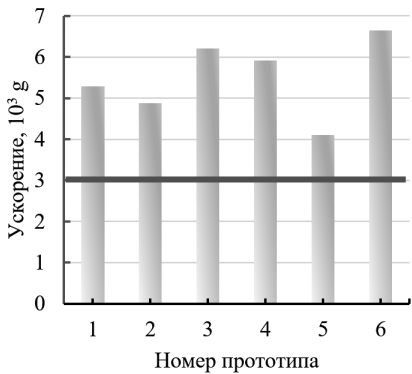


Рис. 2. Имитатор нижней конечности

Оценка защитных характеристик прототипов производилась по типовой методике, с помощью подрыва имитаторов мин ПФМ-1 (калиброванных зарядов ПВВ-5А массой 30 г и 40 г), которые устанавливались под противоминной платформой, закрепленной на испытательном стенде. Заряд взрывчатого вещества устанавливался в проекции платформы и прикапывался в уровень песка под пяткой ботинка, на который крепился противоминный сапог. При превышении пороговых значений показателей, которые для данного имитатора составляют 3000 г (ускорение) и 5 кН (усилие), нижней конечности наносятся травмы, ведущие к частичной или полной ампутации, и такой прототип считается не выдержавшим испытания.

На рис. 3 приведены фотографии и кадры видеосъемки с испытаний — прототип, закрепленный на стенде, до начала испытаний, во время подрыва и после подрыва.

На рис. 4 представлены сравнительные результаты испытаний противоминных платформ на воздействие 40 г и 30 г ПВВ-5А — получен-



а — ускорения, 40 г ПВВ-5А; б — усилия, 40 г ПВВ-5А; в — ускорения, 30 г ПВВ-5А; г — усилия, 30 г ПВВ-5А

ные пиковые величины ускорений и пиковые величины усилий для каждого опыта.

Горизонтальными линиями на графиках (рис. 4) отмечены пороговые значения усилий и ускорений. Механизм разрушения каждой из платформ был достаточно схожим. Как правило, пяточная часть, под которой устанавливался заряд, разрушалась практически полностью, не образуя крупные осколки, чего нельзя сказать про носовую часть платформы. При ее разрушении образовывались крупные частицы наполнения платформы и ее составляющих, которые разлетались на расстояние до 10–15 м. Расстояние метания отдельных частей застежек и пластиковых частей корпуса в некоторых случаях доходило до 40 метров.

Разница в значениях ускорений и усилий, передаваемых на практически идентичные образцы из одних и тех же пар зарядами в 40 г и 30 г объясняется, возможно, тем, что больший заряд ПВВ-5А в начале процесса детонации бризантным действием формирует в противоминной платформе сквозной канал истечения газов, в который уходит часть продуктов детонации. Это подтверждается кадром съемки испытаний образца № 3, представленным на рис. 5, на котором в момент подрыва видны горячие газы, прорвавшиеся в противоосколочный гамаш сквозь противоминную платформу.

Было установлено, что ни один из испытанных прототипов индивидуальной защиты нижних конечностей не прошел испытания. Наилучший результат из всех испытанных прототипов показал образец № 2 с «агрессивным» протектором, который позволил отвести в стороны часть расширяющихся продуктов детонации. Статистически значимого различия между применяющимися вариантами взрывозащитного наполнения платформы выявлено не было.

Выводы

Проведенные натурные испытания в полигонных условиях показали, что предложенные прототипы в целом не обеспечивают необходимый уровень защиты от ударно-дробящего действия взрыва при подрыве имитаторов мины ПФМ-1 под «пяткой» имитатора нижней конечности. Однако полученные результаты указывают на то, что проработанная конструкция является перспективной с точки зрения ее дальнейшего совершенствования, например — увеличения толщины взрывозащитного слоя. Также следующее направление исследований заключается в проработке и изучении степени (возможности) противоосколочной защиты при близком подрыве осколочных противопехотных мин и самодельных взрывных устройств.



Рис. 5. Фотокадр с испытаний образца № 3

Список источников

1. Chavet I., Madmoni A. Minefield shoe and method for manufacture thereof. U.S. Patent No. 6,751,892. 22 Jun. 2004.

2. Крайнюков П.Е., Хоминец В.В., Ляховец Г.А. и др. Разработка взрывозащитной обуви в ведущих странах мира // Зарубежное военное обозрение. 2023. № 4. С. 55–64.

3. Фуинака И. Исследование и конструирование взрывозащитной обуви, ее изготовление и испытание: Технический отчет отделения материально-технического обеспечения ВС США: Пер. с англ. / И. Фуинака, Дж. Макдональд. — Иллинойс, 1966. 241 с.

4. Денисов А.В., Анисин А.В., Логаткин С.М., Демченко К.Н., Медико-биологические аспекты развития средств индивидуальной защиты сапера // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2018. № 1–2 (115–116). С. 116–124.

5. Сильников М.В., Химичев В.А. Средства индивидуальной бронезащиты. СПб.: Фонд «Университет», 2000. 480 с.

6. Денисов А.В., Хоминец В.В., Логаткин С.М. и др. Разработка шкалы оценки тяжести минно-взрывных ранений защищенных нижних конечностей человека // Вестник Российской Военно-медицинской академии. 2021. № 3 (23). С. 195–204.

7. Васильева С.Н., Денисов А.В., Гук И.В. Модель оценки поражения живой силы в средствах индивидуальной бронезащиты // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2022. № 5–6 (167–168). С. 76–84.

8. Kalganov D.A., Silnikov N.M., Guk I.V., Mikhailin A.I. et al. Dynamical Young's Modulus and Internal Friction in Ultra-High Molecular Weight Polyethylene Composites. Rev. Adv. Mater. Technol. 2022. Vol. 4, No 1. Pp. 14–20.

9. Сильников Н.М., Новак О.С., Шифрина В.Ю. Повышение защитных характеристик специальных изделий за счет применения полимерной брони // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2023. № 7–8 (181–182). С. 122–128.

10. Сильников М.В., Гук И.В., Михайлин А.И., Шишкин В.Н. Экспериментальное

и теоретическое исследование эффективности действия технических устройств на основе гетерогенной двухфазной среды для подавления поражающих факторов подводного взрыва // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2018. № 1 (101). С. 59–68.

11. Сильников М.В., Михайлин А.И., Шишкин В.Н., Гук И.В. Экспериментальное исследование эффективности действия технических средств на основе гетерогенной двухфазной среды для защиты от подводного взрыва // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2018. № 5–6 (119–120). С. 58–65.

12. Васильева С.Н., Гук И.В., Денисов А.В. и др. Исследование подходов и методов оценки воздействия воздушных ударных волн на биологические объекты / В сборнике: «Актуальные проблемы защиты и безопасности». Труды XXVII Всероссийской научно-практической конференции // Т. 2. «Технические средства предупреждения чрезвычайных ситуаций и противодействия терроризму». Санкт-Петербург, 2024. С. 86–90.

13. Пучков А.С., Гук И.В., Спивак А.И., Васильева С.Н. К вопросу применения цифровых измерителей скорости ударных волн для регистрации уровня избыточного давления во фронте воздушной ударной волны при полигонных испытаниях устройств для защиты от взрыва // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2024. № 1 (131). С. 139–148.

14. Анисин А.В., Денисов А.В., Божченко А.П. и др. Особенности взрывной травмы нижних конечностей, защищенных обувью сапера // Судебно-медицинская экспертиза. 2020. № 5. С. 13–17.

15. Денисов А.В., Матвейкин С.В., Заикин С.В. и др. Применение математической модели нижней конечности человека для моделирования ударно-волнового воздействия контактного взрыва // Вестник Российской Военно-медицинской академии. 2024. № 3 (26). С. 337–348.

References

1. Chavet I., Madmoni A. Minefield shoe and method for manufacture thereof. U.S. Patent No 6,751,892. 22 Jun. 2004.

2. Krainyukov P.E., Khominets V.V., Lyakhovets G.A. et al. Development of explosion-proof

shoes in leading countries of the world. Foreign military review. 2023. No 4. Pp. 55–64.

3. Fuinaka I., McDonald J. Research and design of explosion-proof shoes, their manufacture and testing: Technical report of the Department of Logistics of the US Armed Forces: Translated from English. Illinois, 1966. 241 p.

4. Denisov A.V., Anisin A.V., Logatkin S.M., Demchenko K.N. Medical and biological aspects of the development of personal protective equipment for sappers // Questions of equipment. Series 16. Technical means of countering terrorism. 2018. No 1–2 (115–116). Pp. 116–124.

5. Silnikov M.V., Khimichev V.A. Personal protective equipment. St. Petersburg: University Foundation. 2000. 480 p.

6. Denisov A.V., Khominets V.V., Logatkin S.M. et al. Development of a scale for assessing the severity of mine-explosive wounds of protected lower extremities of a person // Bulletin of the Russian Military Medical Academy. 2021. No 3 (23). Pp. 195–204.

7. Vasilyeva S.N., Denisov A.V., Guk I.V. A model for assessing the destruction of manpower in personal armor protection equipment // Issues of defense technology. Series 16. Technical means of countering terrorism. 2022. No 5–6 (167–168). Pp. 76–84.

8. Kalganov D.A., Silnikov N.M., Guk I.V., Mikhailin A.I. et al. Dynamical Young's Modulus and Internal Friction in Ultra-High Molecular Weight Polyethylene Composites. Rev. Adv. Mater. Technol. 2022. Vol. 4. No 1. Pp. 14–20.

9. Silnikov N.M., Novak O.S., Shifrina V.Yu. Increasing the protective characteristics of special products through the use of polymer armor // Issues of defense technology. Series 16. Technical means of countering terrorism. 2023. No 7–8 (181–182). Pp. 122–128.

10. Silnikov M.V., Guk I.V., Mikhaylin A.I., Shishkin V.N. Experimental and theoretical study of the effectiveness of technical devices based on a heterogeneous two-phase medium to suppress the damaging factors of an underwater explosion // Proceedings of the Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences. 2018. No 1 (101). Pp. 59–68.

11. Silnikov M.V., Mikhailin A.I., Shishkin V.N., Guk I.V. Experimental investigation of the effectiveness of technical means based on a heterogeneous two-phase medium for protection against underwater explosion // Issues of defense technology. Series 16. Technical means of countering terrorism. 2018. No 5–6 (119–120). Pp. 58–65.

12. Vasilyeva S.N., Guk I.V., Denisov A.V. et al. Research of approaches and methods for assessing the impact of air shock waves on bio-objects. In the collection: Current problems of protection and security. Proceedings of the XXVII All-Russian Scientific and Practical Conference. Vol. 2. Tekhnicheskie sredstva preduprezhdeniya protivodejstviya terrorizmu. St. Petersburg, 2024. Pp. 86–90.

13. Puchkov A.S., Guk I.V., Spivak A.I., Vasilyeva S.N. On the issue of using digital shock wave velocity meters to register the level of overpressure in the air shock wave front during field tests of explosion protection devices // Proceedings of the Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences. 2024. No 1 (131). Pp. 139–148.

14. Anisin A.V., Denisov A.V., Bozhchenko A.P. et al. Features of explosive trauma of the lower extremities protected by sapper shoes // Forensic medical examination. 2020. No 5. Pp. 13–17.

15. Denisov A.V., Matveikin S.V., Zaikin S.V. et al. Application of a mathematical model of the human lower limb for modeling the shock-wave effects of a contact explosion // Bulletin of the Russian Military Medical Academy. 2024. No 3 (26). Pp. 337–348.