

Технические науки

УДК 629.4: 629.12

Беликов Анатолий Серафимович

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой безопасности жизнедеятельности
ГВУЗ «Приднепровская государственная академия
строительства и архитектуры», г. Днепропетровск

Сабитова Ольга Андреевна

соискатель кафедры безопасности жизнедеятельности
ГВУЗ «Приднепровская государственная академия
строительства и архитектуры», г. Днепропетровск

Голендер Владимир Артемович

кандидат технических наук, старший научный сотрудник, г. Харьков

Долгополова Наталия Владимировна

кандидат технических наук старший научный сотрудник отдела прочности
и оптимизации конструкций,

Институт проблем машиностроения им. А. М. Подгорного НАН Украины,
г. Харьков

Шаломов Владимир Анатольевич

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры безопасности жизнедеятельности
ГВУЗ «Приднепровская государственная академия
строительства и архитектуры», г. Днепропетровск

Belikov A. S.

doctor of Technical Sciences, Professor SHEE «Pridneprovsk State Academy of
Civil Engineering and Architecture» (PSACEA), Head of department Life
Safety, Dnipropetrovsk

Sabitova O. A.

SHEE «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture»
(PSACEA), competitor of department Life Safety, Dnipropetrovsk,

Holender V. A.

candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow, Kharkiv

Dolgoplova N. V.

candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of Department of strength
and optimization, The A.N. Podgorny Institute for Mechanical Engineering
Problems of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkiv

Shalomov V. A.

candidate of Technical Sciences, associate professor, SHEE «Pridneprovsk State
Academy of Civil Engineering and Architecture» (PSACEA), associate
professor of department Life Safety, Dnipropetrovsk

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТ ПОВЫШЕННОЙ ОПАСНОСТИ

PROVIDING OF SAFETY AT IMPLEMENTATION OF WORKS OF ENHANCEABLE DANGER

В статье рассматриваются вопросы безопасности работников, которые работают в опасных условиях в чрезвычайных ситуациях (ЧС) на объектах строительной индустрии. Авторы предлагают полезную модель, которая относится к области применения защитной каски с забралом пожарного-спасателя. А именно, к ударно-защитным шлемам (каскам) и соединенными с ними устройствами для защиты лица и зрения, которые производятся из композитных материалов на основе волокнистых наполнителей и связывающих их полимерных слоев.

Ключевые слова: повышенная опасность, экстремальные ситуации, защитная каска, многослойные оболочки, температурная защита.

The questions of safety of workers which work in dangerous terms in extraordinary situations (ES) on the objects of a build industry are examined in the article. Authors offer an useful model which behaves to the application of scullguard domain with the visor of fireman-rescuer. Namely, to the shock-protective helmets (to the helmets) and by the devices connected with them for defence of person and sights which are produced from composite materials on the basis of fiberfills and relating their polymeric layers.

Keywords: increased danger, emergency situations, safety helmet, multilayered shell, temperature protection.

Следует отметить, что экстремальные ситуации, связанные с обрушениями строительных конструкций зданий и сооружений, сопровождаются разрушениями целого ряда строительных конструкций, коммуникаций водоснабжения, водоотведения, газового и электрохозяйства, содержания емкостей и резервуаров для хранения взрывоопасных и пожароопасных веществ, что, безусловно, связано с рисками проведения работ в зданиях.

В связи с этим следует заметить, что конструктивные особенности шлемов-касок всех модификаций, призванные защитить наиболее уязвимые части головы человека от ударов, особенно их лобной и затылочной частей [1].

Материалы и методы исследования. В последние десятилетия прибегают к созданию полых и слоистых элементов конструкций (бионика) с целью снижения их веса без уменьшения несущей способности и механической прочности. При таком подходе удастся вместо утяжеленных конструкций использовать облегченные не менее надежные полые и многослойные детали. Что касается защитных шлемов-касок, применяемых спасателями, строительными рабочими, шахтерами, оперативниками специальных подразделений спецслужб, то здесь симбиоз требований к

ограничению их веса и характерных свойств, направлен на обеспечение надежной защиты головы человека от нежелательных воздействий, что предопределяет приоритетность исследований в этом важном научном направлении. Для решения подобных задач используют известные теоретические и экспериментальные методы оценки механической прочности и жесткости, а также теплотехнической стойкости.

Результаты и их обсуждение. Как уже отмечалось, технически задача решается за счет того, что забрало и корпус каски изготавливаются многослойными оболочками, причем с критичной прочностью забрала, что является дополнительным предохранительным свойством для защиты органов зрения оперативника. Например, как это предусмотрено в лобовом остеклении транспортных средств при использовании стеклопакетов «Триплекс» для безосколочного разрушения от ударов по поверхности. Как известно, наиболее точно поведение любой полый и многослойной системы при разных видах нагружения можно описать в рамках трехмерной теории упругости/пластичности, однако практически получение решений здесь связано с некоторыми математическими трудностями [2, 3]. Существует относительно простой путь, когда поведение рассматриваемых конструкций описывается уравнениями двумерной теории путем приведения трехмерной теории упругости к двумерной. Это упрощение можно произвести различными способами, которые условно подразделяются на аналитические и методы гипотез.

Анализ состояния вопроса показывает, что в прикладной двумерной теории упругости наиболее широко применяется метод гипотез, который в свою очередь имеет два направления. Одно из них сводит трехмерную задачу к двумерной, которая далее применяется, для многослойного фрагмента. Ко второму направлению, которое нами выбрано в качестве рабочего, принадлежат подходы, где для получения уравнений расчетной математической модели используются гипотезы для каждого слоя в

отдельности. При этом математическая постановка задачи несколько усложняется, т.к. порядок разрешающей системы уравнений возрастает и зависит от числа слоев фрагмента [4]. В наших дальнейших исследованиях предполагается использовать именно такой подход, который соответствует реализации, когда забрало и корпус каски изготавливаются из многослойных полимерных материалов, как n -слойные оболочечные конструкции.

Что касается защитного корпуса шлема-каска, то действительно, более прочным этот элемент станет, если он будет изготовлен в виде многослойной оболочки. Что будет верным и для многослойной оболочки забрала. Этот факт подтверждается теоретическими исследованиями на основе теории упругости пластин и оболочек [5], в чем заключена научная сторона решения задачи.

Сказанное поясняется рисунками 1 и 2, где изображены схематично 3-слойное окантованное забрало и фрагмент 3-слойной оболочки корпуса шлема-каска оперативного работника. На рисунках условно показаны: внешнее ударное нагружение импульсной силой $q(x,y,t)$, действующее на фрагмент поверхности корпуса каски (аналогичное импульсное воздействие на забрало не обозначено); радиусы кривизны; угловые растворы φ ($B = R\varphi$); базовые оси координат $Oxyz$; толщины слоев многослойных конструкций ($h_i = \delta_i$ – толщина i -го слоя).

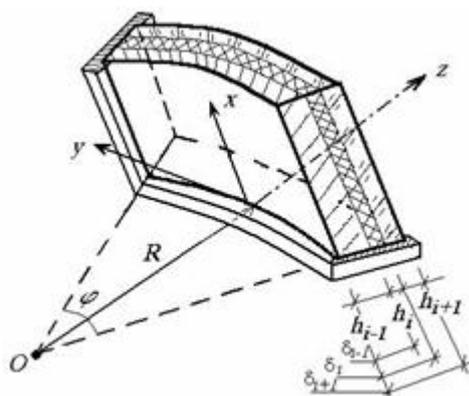


Рис. 1 – Окантованное забрало

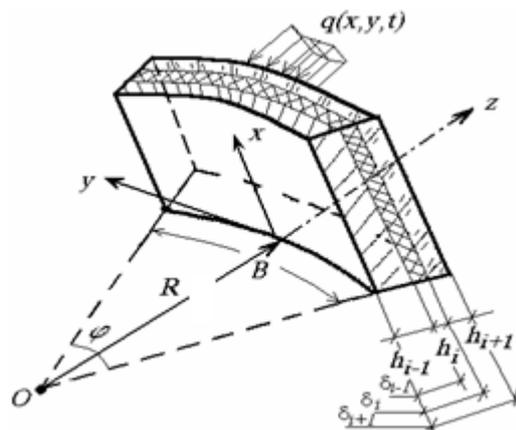


Рис. 2 – Фрагмент многослойной

$A \times B$: A – высота образующей части каски; B – длина дуги; $I=3$ каски: A и B – размеры сечений; $I=3$ – число слоев R кривизны

Для практической оценки достижения указанных положительных качеств, касающихся предложенного устройства, следует сказать, что кроме механических испытаний, которые предусмотрены ДСТУ 3728-98, на этапе конструирования таких средств защиты целесообразно использовать динамическую теорию многослойных пластин и оболочек первого порядка [6]. По крайней мере, таким расчетным путем можно установить, каким образом работает изобретенное устройство, и установить искомую критическую прочность не только забрала, но и корпуса шлема-каска.

Под критичной прочностью корпуса шлема-каска (а так же забрала) подразумевается такая критическая прочность, за границами которой: по нижней границе – шлем-каска не достигает требуемых защитных качеств с точки зрения прочности; по верхней границе – прочность шлема-каска настолько велика, что при проявлении внезапного силового нагружения поверхности ее элементов они передают непосредственно на голову и лицо чересчур опасное внешнее воздействие, без необходимого при этом ударно-поглощающего деформирования вплоть до возможности разрушения некоторых своих слоев, т.е не выполняют надлежащим образом предохранительных функций.

При этом в первом приближении с помощью динамических расчетов прогнозировать перемещения точек поверхности многослойных фрагментов окантованного забрала (рис. 1) и защитного корпуса (рис. 2). Их уравнения имеют схожий вид и определяют напряженно-деформированное состояние (НДС) для пакетов с $I = 3$, но будут отличаться граничными условиями. Кроме того, однослойными (монолитными) и защитный корпус и забрало становятся при уменьшении количества слоев до единицы ($I = 1$), что удобно при сопоставлении расчетных решений для разных конструкций каски с забралом. Итак, имеем:

$$\begin{aligned}
u^i &= u^0 + \sum_{j=1}^{i-1} h_j \psi_x^j + (z - \delta_{i-1}) \psi_x^i; \\
v^i &= v^0 + \sum_{j=1}^{i-1} h_j \psi_y^j + (z - \delta_{i-1}) \psi_y^i; \\
w^i &= w^0; \\
\delta_i &= \sum_{j=1}^i h_j; \\
\delta_{i-1} &\leq z \leq \delta_i, \quad i = \overline{1, I}.
\end{aligned} \tag{1}$$

Уравнения динамики многослойных оболочек запишем с помощью вариационного принципа Остроградского-Гамильтона и имеют вид:

$$[\Omega] \bar{U}_{,tt} - [\Lambda] \bar{U} = \bar{Q}, \tag{2}$$

где \bar{U} – вектор, компоненты которого есть искомые функции:

$$\bar{U} = \{u^0, v^0, w^0, \psi_x^i, \psi_y^i\}, \quad i = \overline{1, I}; \tag{3}$$

$[\Omega]$ и $[\Lambda]$ – симметричные матрицы размерностью $(2I+3) \times (2I+3)$;

\bar{Q} – вектор внешних сил.

Внешнее ударное нагружение моделируется либо в виде функции Хевисайда, либо в виде функции Дирака согласно [6].

Таблица 1

Механические характеристики используемых материалов

Материал	Модуль, Е МПа	Коэффициент Пуассона, ν	Удельный вес, ρ кг/м ³	Условное обозначение
Стекло силикатное	$6,67 \times 10^4$	0,22	$2,5 \times 10^3$	h
Оргстекло	$5,59 \times 10^3$	0,38	$1,2 \times 10^3$	{h}
Полимер 1	$2,27 \times 10^2$	0,38	$1,2 \times 10^3$	(h)
Полимер 2	1,0	0,39	$1,2 \times 10^3$	[h]

Исследуя защитные (по аналогии с [5]) свойства прозрачного забрала, к изложенному следует добавить, что при остеклении кабин самолетов,

лобовых стекол железнодорожных скоростных локомотивов и современных автомобилей используются специальные слои, формирующие пакеты остекления. В таблице 1 приведены механические характеристики различных материалов, применяемых в лобовом остеклении указанной техники, которые можно использовать при создании более совершенного (достаточно прочного и легкого) защитного забрала шлема-каска.

Материалом для изготовления корпуса шлема по предложению завода-изготовителя являлся Полиамид ПА 610-ЛО.22, литьевой ГОСТ 10589-87.

С точки зрения механики к каске предъявляются следующие требования. Деформация каски, при действии на нее статической нагрузки 465 Н, направленной вдоль продольной или поперечной оси каски, не должна превышать 40 мм, при этом остаточная ее деформация – не более 15 мм. Каска должна выдерживать вертикальный удар тупым предметом с энергией 80 Дж и острым предметом с энергией 50 Дж. При вертикальном ударе по каске с энергией 50 Дж усилие, которое будет передаваться на голову человека, не должно превышать 5 кН.

Как известно, каски пожарных-спасателей большинства стран Европы и Америки имеют защитные лицевые щитки (забрала), которые в состоянии выдержать одиночные механические удары с энергией удара до $0,6+0,05$ Дж.

Таким образом, в ДСТУ 3728-98 сформулированы основные механико-прочностные свойства и характеристики основных элементов каски: корпуса с внутренней оснасткой, забрала и устройства подбородного ремня.

Кроме того, к каске предъявляются технические требования. Каска должна обладать устойчивостью к воздействию теплового потока мощностью 5 кВт/м^2 в течение не менее 4 мин, а для теплового потока 40 кВт/м^2 – 5 сек. Материалы, используемые в корпусе каски должны

выдерживать воздействие температуры газовой среды до 200⁰ С в течение 3-х минут, не поддерживая горения.

Анализ подобных исследований позволяет основные требования, предъявляемые к составляющим элементам каски, отнести к характерным особенностям, связанным с механической (статической и динамической) прочностью и жесткостью элементов и с ее термической стойкостью к тепловым воздействиям, которые регламентируются ДСТУ и ГОСТ, соответственно. Иными словами, стандартами, предъявляемыми к экспериментальным данным исследований уже готовой продукции, подразумевается сравнение результатов испытаний создающихся новых образцов с уже достигнутым уровнем.

Однако, не менее значимы вопросы, требующие разрешения на стадии проектирования и конструирования – прогнозирование свойств перспективных защитных касок пожарных-спасателей, используемых в экстремальных условиях ЧС, особенно на объектах стройиндустрии. Подобные данные о механических напряжениях и деформациях, о проявлениях воздействий тепловых факторов на каски и, соответственно, на людей, желательно получать расчетным путем заблаговременно, а не только из результатов завершающих нормативных испытаний. Для чего следует изначально корректно сформулировать и решить ряд прикладных задач о механической прочности и термической стойкости элементов каски пожарного-спасателя, чему до настоящего времени уделялось, на наш взгляд, недостаточно внимания. Такой превентивный подход позволил бы заранее получать необходимые данные для разработки мероприятий, направленных на эффективное снижение негативного действия выше рассмотренных факторов на пожарного-спасателя.

Опыт создания украинской каски пожарного на харьковском производственном объединении «Хартрон», где забрало и корпус каски были изготовлены однослойными, можно рассматривать, как первое

приближение к решению поставленной задачи. Это отвечает нашей постановке для случая $I = 1$.

Выводы. По результатам исследований КП-1 получены выводы:

1. Для обеспечения выполнения требований, которые связаны с увеличением статической прочности и корпуса и забрала КП-1 целесообразно выполнить элементы каски многослойными.

2. Такой же подход следует осуществить для увеличения динамической прочности каски КП-1, связанной с ударом по обеим нормативным точкам теменной плоскости.

3. С целью выполнения п. 2 рекомендуется применить для изготовления корпуса каски материал Арамид ПА СВ20-5АПМ (Россия).

4. При выполнении рекомендаций 1, 2 и 3 естественно ожидать повышения уровня температурной защиты каски КП-1 от воздействия теплового потока и прямого действия на нее огня.

5. На разработанную конструкцию многослойных корпуса и забрала каски получен патент Украины [7].

Литература

1. Справочник по инженерной психологии. Под ред. Ломова Б. Ф. – М.: Машиностроение. – 1982. – 368 с.

2. Атаманов С. Ю., Харченко Е.Ф., Мокеева Г. А. Ударозащитный композитный шлем / Пат. РФ № 2087111, (МПК А42В003/00; А42В003/06): Промышленная Сибирь: 2000-2005.

3. Герхард Шпербер Защитный шлем и способ его изготовления / Патент DE № 4329297.6 (МПК А42В003/06; А42С002/00): Промышленная Сибирь: 2000-2005.

4. Шупиков А. Н., Долгополова Н. В. Колебания многослойных цилиндрических панелей при импульсных воздействиях // Вестник ХГПУ, Харьков: ХГПУ. – 1998. – №10. – С.104-111.

5. Шупиков А. Н., Долгополова Н. В. Нестационарное деформирование многослойных цилиндрических оболочек // Вестник ХГПУ.– Харьков: ХГПУ. – 2000 – Вып. 104.– С. 59-64.

6. Н. Долгополова, А. Беликов, А. Чаплыгин, В. Голендер, О. Сабитова Повышение безопасности использования машины спец назначения (АСК-МФ) за счет совершенствования лобового остекления. Theoretical Foundation Of Civil Engineering. // Polish-Ukrainian Transactions/ Ed. By W/Szczł'śniak Vol. 21, pp. 347-352, Warsaw 2013.

7. Патент Украины № 81113 от 25.06.20013, Бюл. №12.

References:

1. Spravochnik po inzhenerenoy psihologii. Pod red. Lomova B. F. – М.: Mashinostroenie. - 1982. – 368 s.

2. Atamanov S. Yu., Harchenko E. F., Mokeeva G. A. Udarozaschitnyiy kompozitnyiy shlem / Pat. RF N 2087111, (MPK A42V003/00; A42V003/06): Promyshlennaya Sibir: 2000-2005.

3. Gerhard Shperber Zashchitnyiy shlem i sposob ego izgotovleniya /Patent DE N 4329297.6 (MPK A42B003/06; A42C002/00): Promyshlennaya Sibir: 2000-2005.

4. Shupikov A. N., Dolgopolova N. V. Kolebaniya mnogoslounnyih tsilindricheskih paneley pri impulsnyih vozdeystviyah // Vestnik HGPU, Harkov: HGPU. – 1998. – N 10. – S. 104-111.

5. Shupikov A. N., Dolgopolova N. V. Nestatsionarnoe deformirovanie mnogoslounnyih tsilindricheskih obolochek // Vestnik HGPU.– Harkov: HGPU. – 2000 – Vyip. 104.– S. 59-64.

6. N. Dolgopolova, A. Belikov, A. Chaplyigin, V. Golender, O. Sabitova Povyishenie bezopasnosti ispolzovaniya mashinyi spets naznacheniya (ASK-MF) za schet sovershenstvovaniya lobovogo ostekleniya. Theoretical Foundation Of Civil Engineering. // Polish-Ukrainian Transactions/ Ed. By W/Szczł Vol. 21, pp. 347-352, Warsaw 2013.

7. Patent Ukrainyi N 81113 ot 25.06.20013, Byul. N 12.