

УДК 629.4: 629.12

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТАЮЩЕГО В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ**

*д.т.н., проф. Беликов А.С., Сабитова О.А., к.т.н., с.н.с. Голендер В.А., Долгополова Н.В. \*, Чаплыгин А.С.*

*ГВУЗ «Приднепровская государственная академия  
строительства и архитектуры»*

*\* Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины, г. Харьков*

**Постановка проблемы.** При решении комплексных вопросов безопасности работающих в условиях повышенного риска (при чрезвычайных ситуациях – ЧС, в экстремальных ситуациях при строительстве зданий и сооружений, на пожарах и др.) используются защитные каски, защищающие наиболее уязвимую и жизненно важную часть человеческого тела – голову. Например, ударно-защитный шлем-каска пожарного с присоединёнными устройствами защиты лица, шеи и органов зрения, которые в настоящее время изготавливаются из композитных материалов на основе волокнистых наполнителей и полимерных прослоек, их связывающих. Последнее обусловлено тем, что одними из первых среди аварийно-спасательных и аварийно-восстановительных ремонтно-строительных подразделений, прибывающих на ЧС, оказываются обычно пожарные и специальные спасательные подразделения (пожарные-спасатели), оснащенные традиционными средствами защиты, в том числе и средствами защиты органов дыхания (звенья ГДЗС). Естественно, что для безопасной их деятельности в современных техногенных структурах, не всегда эксплуатируемых в безопасных для людей условиях, необходима эффективная и надежная защита спасателей, прежде всего их органов зрения, осязания и опорно-двигательного аппарата от механического, лучистого, теплового и комплексного воздействия. В противном случае может случиться так, что терпящих бедствие людей некому будет спасать. Поэтому важность совершенствования защиты работников служб МЧС от нежелательных воздействий, большей частью на черепную коробку, несомненна.

Уместно дополнить, что экстремальные ситуации, связанные с обрушениями строительных конструкций зданий и сооружений, сопровождаются разрушениями целого ряда коммуникаций водоснабжения, водоотведения, газового и электрохозяйства, содержания емкостей и резервуаров для хранения взрывоопасных и пожароопасных веществ, что, безусловно, связано с рисками проведения аварийно-спасательных (АСР) и ремонтно-восстановительных (АВР) работ.

Шлем-каска всех модификаций призваны защитить наиболее уязвимые части головы человека от ударов, особенно их лобной и затылочной частей [1], для этого они должны иметь достаточно прочный корпус со смонтированным на нем защитным забралом. Более того, лицевая часть головы спасателя тоже

может быть подвержена нежелательным воздействиям пыли, воды, растворов кислот, щелочей, действием температуры и открытого пламени, поэтому во многих исследованиях вопрос совершенствования защитного забрала шлема-каска может иметь преобладающее значение

**Анализ последних исследований и публикаций.** Известны различные конструкции ударно защитных шлемов-касок отечественного и зарубежного производства [2, 3]. Их конструктивное исполнение отвечает в основном двум главным критериям. Являясь индивидуальным средством снаряжения, они обеспечивают защиту головы и лицевой ее части от механических и температурных воздействий, а также от других видов воздействий. Применяется не только в пожарной охране и спасательных подразделениях МЧС, но и во всех специализированных службах, работа которых сопряжена с повышенной опасностью.

В этом отношении нарушения целостности забрала каски и/или ее корпуса может привести к недопустимым воздействиям на лицо и голову оперативника растворов кислот, щелочей, морской воды и т.п.

**Постановка задачи.** Создание элементов конструкций каски полыми и слоистыми позволяет снизить их вес без уменьшения несущей способности и механической прочности. Что касается защитных шлемов-касок, применяемых пожарными-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 таких средств защиты головы.

Нами предложена новая конструкция каски, имеющая в своем составе многослойное забрало из поликарбоната и многослойный корпус из композитного материала (полиамид), позволяющие повысить защитные свойства корпуса каски с забралом. То есть – повысить эффективность и надежность защиты оперативных работников и, что особенно важно, их органов зрения от возможного воздействия на них механических и других негативных факторов.

**Изложение основного материала исследований.** 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 полой 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. Существует отно-

нительно 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 [6]. 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 [4]. 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  $\varphi$  ( $B = R\varphi$ ); базовые оси координат  $Oxyz$ ; толщины слоев многослойных конструкций ( $h_i = \delta_i$  – толщина  $i$ -го слоя).

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.

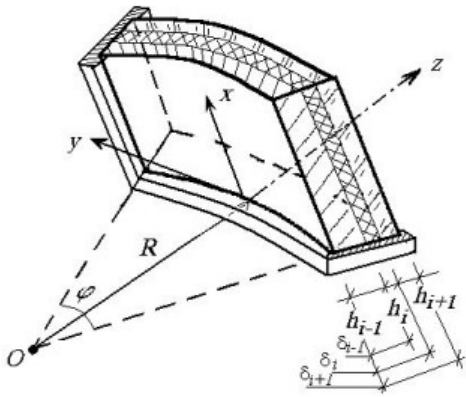


Рис. 1. Окантованное забрало  $A \times B$ :  
 $A$  – высота образующей;  $B$  – длина дуги;  $I=3$

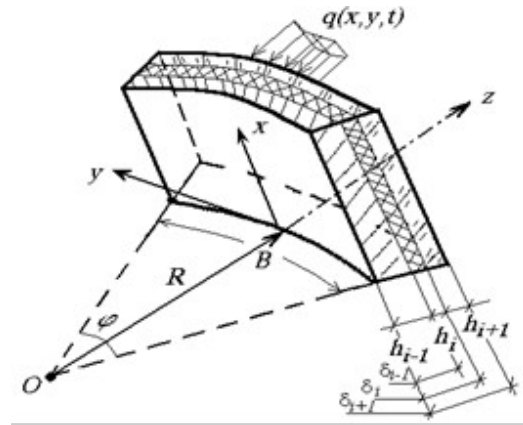


Рис. 2. Фрагмент многослойной каски:  $A$  и  $B$  – размеры сечений части каски;  $I=3$  - число слоев;  $R$  - кривизна

Под критичной прочностью корпуса шлема-каска (а также забрала) подразумевается такая критическая прочность, за границами которой: по нижней границе – шлем-каска не достигает требуемых защитных качеств с т.з. 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:

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

$$\delta_i = \sum_{j=1}^i h_j;$$

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:

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

$[\Omega]$  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].

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-ЛЮ.22, литьевой ГОСТ 10589-87.

Таблица 1

Механические характеристики используемых материалов

МАТЕРИАЛ	Модуль, Е МПа	Коэф. Пу- ассона, $\nu$	Удельный вес, $\rho$ кг/м <sup>3</sup>	Условное обознач.
Стекло сили- катн.	$6,67 \times 10^4$	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]

### Результаты первого этапа исследования украинской каски.

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 выдерживать 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<sup>2</sup>

в течение не менее 4 мин, а для теплового потока  $40 \text{ кВт/м}^2$  – 5 сек. Материалы, используемые в корпусе каски должны выдерживать воздействие температуры газовой среды до  $200^\circ\text{C}$  в течение 3-х мин., 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 (Каска пожарного КП-1 ТУ У 3.65-14311904-017-96), можно рассматривать, как первое приближение к решению поставленной задачи. Это отвечает нашей постановке для случая  $I = 1$ .

Методика исследований основана на экспериментально-теоретическом подходе к решению задачи, т.е. в рациональном сочетании методик и методов теории упругости, динамики и термодинамики оболочечных конструкций и адекватной экспериментальной оценки исследуемых процессов. Иными словами, решения уравнений (1), (2) и (3) проверялись экспериментальным путем согласно ДСТУ 3728-98 (соответствует ISO 3873 «Промышленная безопасная каска»).

**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 эти элементы каски многослойными.

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

3. С целью выполнения п. 2 с избытком 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].

### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

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/Szczt'niak Vol. 21, pp. 347-352, Warsaw 2013.

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