

УДК 539.3:62-50:614.8

## ВЛИЯНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМАТИВНОГО СОСТОЯНИЯ, ВОЗНИКАЮЩЕГО ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ НА УСЛОВИЯ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ КАСКИ

БЕЛИКОВ А. С.<sup>1\*</sup>; *д.т.н., проф.*,  
САБИТОВА О. А.<sup>2</sup>; *соискатель*,  
ЧАПЛЫГИН А. С.<sup>3</sup>; *к.т.н.*,  
ДОЛГОПОЛОВА Н. В.<sup>4\*\*</sup>; *к.т.н.*

<sup>1\*</sup> Кафедра безопасности жизнедеятельности, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47-16-01, e-mail: [bgd@mail.pgasa.dp.ua](mailto:bgd@mail.pgasa.dp.ua), ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

<sup>2</sup> Кафедра безопасности жизнедеятельности, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47-16-01, e-mail: [olgaandreevna84@inbox.ru](mailto:olgaandreevna84@inbox.ru), ORCID ID: 0000-0001-5552-4512

<sup>3</sup> Коминтерновский районный отдел Главного управления ГСЧС Украины в Харьковской области, ул. Зерновая 4-а, 61124, Харьков, Украина, тел +38 (0572)51-40-94, e-mail: [chaplygina\\_v@pochta.ru](mailto:chaplygina_v@pochta.ru); ORCID ID: 0000-0002-3213-8210

<sup>4\*\*</sup> Отдел прочности и оптимизации конструкций, Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины, ул. Пожарского 2/10, 61046, Харьков, Украина, тел +38 (050) 632-08-00, e-mail: [n\\_dolgopolova@ukr.net](mailto:n_dolgopolova@ukr.net), ORCID ID: 0000-0002-4326-2284

**Аннотация.** *Цель.* Повышение безопасности проведения аварийно-восстановительных и ремонтно-строительных работ за счет модернизации конструкции монолитной панели остекления забрала работников спецподразделений. *Методика.* Применение специальных технических средств для обеспечения безопасности специализированных подразделений при возникновении чрезвычайных ситуаций. *Результаты.* В статье рассматриваются вопросы обеспечения безопасности работников, выполняющих аварийно-восстановительные и ремонтно-строительные работы в экстремальных условиях на объектах строительной индустрии. Авторы предлагают конструкцию каски с забралом, защищенную патентом Украины и математически обоснованные расчетные модели к ней, которые позволяют обобщенно подойти к определению напряженно-деформированного состояния (НДС) многослойного защитного забрала. Усовершенствована (создана) методика расчета на прочность монолитной панели остекления забрала при столкновении с грузом, что согласовывается с методами проведения испытаний каски пожарного согласно ДСТУ. Как начальный этап заблаговременных (на стадии проектирования) расчетов напряжений и деформаций, возникающих от импульсного воздействия на наружную цилиндрическую поверхность остекления забрала разработана методика определения значений напряжений в монолитной конструкции панели остекления современной каски пожарного-спасателя, изготовленной из поликарбоната. Рассмотрены некоторые промышленностью выпускаемые толщины листов:  $h_0=4$  мм, 8 мм и 12 мм. *Научная новизна.* Для напряженно-деформированных состояний стандартных монолитов получены характерные линейные зависимости функций напряжений, действующих в волокнах остекления от глубины их расположения в остеклении забрала при заданной внешней импульсной нагрузке. Приведены конкретные расчетные данные. Сравнение результатов расчета с основными положениями теории упругости о НДС пластин и оболочек свидетельствуют об их корректности. *Практическая значимость.* Намечены пути модернизации каски пожарного-спасателя и способы ее конструктивного упрочнения, основанные на всестороннем анализе данных задачи принятия решений в условиях определенности.

*Ключевые слова:* Аварийно-восстановительные и ремонтно-строительные работ; безопасность выполнения работ; защитные каски и забрала; напряженно-деформированное состояние; пакет остекления забрала; радиус кривизны и толщина остекления монолитного забрала; расчеты на прочность

## ВПЛИВ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ, ЩО ВИНΙΚАЄ ПРИ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ НА УМОВИ БЕЗПЕЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ КАСКИ

БЕЛІКОВ А. С.<sup>1\*</sup>; *д.т.н., проф.*,  
САБИТОВА О. А.<sup>2</sup>; *здобувач*,  
ЧАПЛИГІН О. С.<sup>3</sup>; *к.т.н.*,  
ДОЛГОПОЛОВА Н. В.<sup>4\*\*</sup>; *к.т.н.*

<sup>1\*</sup> Кафедра безпеки життєдіяльності, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-16-01, e-mail: [bgd@mail.pgasa.dp.ua](mailto:bgd@mail.pgasa.dp.ua), ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

<sup>2</sup> Кафедра безпеки життєдіяльності, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-16-01, e-mail: [olgaandreevna84@inbox.ru](mailto:olgaandreevna84@inbox.ru), ORCID ID: 0000-0001-5552-4512

<sup>3</sup> Комінтернівський районний відділ Головного управління ДСНС України у Харківській області, вул. Зернова 4-а, 61124, Харків, Україна, тел +38 (0572)51-40-94, e-mail: [chaplygina\\_v@pochta.ru](mailto:chaplygina_v@pochta.ru); ORCID ID: 0000-0002-3213-8210

<sup>4\*\*</sup> Відділ міцності та оптимізації конструкцій, Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України, вул. Пожарського 2/10, 61046, Харків, Україна, тел +38 (050) 632-08-00, e-mail: [n\\_dolgopolova@ukr.net](mailto:n_dolgopolova@ukr.net), ORCID ID: 0000-0002-4326-2284

**Анотація. Мета.** Підвищення безпеки проведення аварійно-відновлювальних та ремонтно-будівельних робіт за рахунок модернізації конструкції монолітної панелі скління забрала працівників спецпідрозділів. **Методика.** Використання спеціальних технічних засобів для забезпечення безпеки спеціалізованих підрозділів при виникненні надзвичайних ситуацій. **Результати.** У статті розглядаються питання забезпечення безпеки працівників, які виконують аварійно-відновлювальні та ремонтно-будівельні роботи в екстремальних умовах на об'єктах будівельної індустрії. Автори пропонують конструкцію каски з забралом, яка захищена патентом України. Розрахункові моделі для визначення напружено-деформованого стану (НДС) багат шарового захисного забрала є математично обґрунтованими. Удосконалено методику розрахунку на міцність монолітної панелі захисного забрала при зіткненні з уламками будівельних конструкцій. Це узгоджується з методами проведення випробувань каски пожежного згідно ДСТУ. Визначено значення напружень в монолітній конструкції забрала у вигляді циліндричної панелі, яка виготовлена з полікарбонату. Це є початковим етапом передпроектних розрахунків на міцність при імпульсному впливі на зовнішню поверхню забрала у вигляді циліндричної поверхні. В роботі розглянута поведінка листів з полікарбонату, які випускаються промисловістю, з номінальною товщиною:  $h_0=4, 8$  та  $12$  мм. **Наукова новизна.** Для заданого імпульсного зовнішнього навантаження отримані характерні залежності функцій напружень від глибини їх розташування в захисному шарі, які діють у волокнах захисного забрала. Вони мають лінійний вигляд. Наведено конкретні розрахункові дані. Порівняння результатів розрахунку з основними положеннями теорії пружності про НДС пластин і оболонок свідчать про їх коректність. **Практична значимість.** Намічені шляхи модернізації каски пожежного-рятувальника та способи її конструктивного зміцнення, що засновані на всебічному аналізі даних задачі прийняття рішень в умовах визначеності.

**Ключові слова:** Аварійно-відновлювальні та ремонтно-будівельні роботи; безпека виконання робіт; захисні каски і забрала; напружено-деформований стан; пакет скління забрала; радіус кривизни і товщина скління монолітного забрала; розрахунок на міцність

## INFLUENCE OF THE STRESS-STRAIN STATE, ARISING UP AT DYNAMIC LOADINGS ON SAFE EXTERNAL OF HELMET ENVIRONMENTS

BYELIKOV A. S.<sup>1\*</sup>; *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,  
SABITOVA O. A.<sup>2</sup>; *Postgraduate*,  
CHAPLYHIN O. S.<sup>3</sup>; *Cand. Sc. (Tech.)*,  
DOLHOPOLOVA N. V.<sup>4\*\*</sup>; *Cand. Sc. (Tech.)*

<sup>1\*</sup> Department of Life Safety, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo st., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, phone +38 (0562) 47-16-01, e-mail: [bgd@mail.pgasa.dp.ua](mailto:bgd@mail.pgasa.dp.ua), ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

<sup>1\*</sup> Department of Life Safety, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo st., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, phone +38 (0562) 47-16-01, e-mail: [olgaandreevna84@inbox.ru](mailto:olgaandreevna84@inbox.ru), ORCID ID: 0000-0001-5552-4512

<sup>3</sup> Kominternovskiy District Department of the Main Directorate DSNS Ukraine in Kharkiv region, st. Grain 4-a, 61124, Kharkiv, 61046, Ukraine, phone +38 (0572)51-40-94, e-mail: [chaplygina\\_v@pochta.ru](mailto:chaplygina_v@pochta.ru); ORCID ID: 0000-0002-3213-8210

<sup>4\*\*</sup> The [A.N. Podgorny](http://www.podgorny.com) Institute for Mechanical Engineering Problems of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2/10 Dm. Pozharsky st., Kharkiv, 61046, Ukraine, phone +38 (050) 632-08-00, e-mail: [n\\_dolgopolova@ukr.net](mailto:n_dolgopolova@ukr.net), ORCID ID: 0000-0002-4326-2284

**Abstract. Purpose.** Due to modernization of construction of monolithic panel of glazing took away the increase of safety of leadthrough of emergency-restoration and repair-build works workers of the special divisions. **Methodology.** Application of the special hardwares for providing of safety of the specialized subdivisions in case of occurring of extraordinary situations. **Findings.** The paper deals with the ensure the safety employees who perform emergency repair and Repair construction works under extreme conditions. The authors propose the construction of helmet with visor, which is protected by patent Ukraine. Models for the calculation of the stress-strain state (SSS) of multilayer protective visor are mathematically justified. The strength calculation technique of monolithic panel protective visor under contact with fragments of building structures is developed. It is agreed with the methods of testing according to ISO fire helmets. The stresses in the monolith safe visor made as cylindrical panel from polycarbonate are determined. This is the first step of pre-strength calculations at impulse impact to the outer surface protective visor as a cylindrical surface. The paper considers the behavior of polycarbonate sheets which are produced with a nominal thickness:

$h_0 = 4, 8 \text{ \& } 12 \text{ mm}$ . **Originality.** For a given external impulse loading are received characteristic functions depending on the location depth of the stress in a protective layer that operate in the fibers protective visor. It's have a linear form. The calculation data are given. Comparing the calculation results with the basic provisions of elasticity theory of SSS plates and shells are carried out. **Practical value.** Ways of modernization helmets of fire-rescue and constructive ways of strengthening is planned.

**Keywords:** accident recovery and repair construction works; safety of work; protective helmets and visor; curvature radius and thickness of monolithic glazing visor; the calculation of strength.

### Введение

Известно, что снаряжение работников специальных подразделений во всех развитых странах наряду с защитной верхней одеждой включает в себя и защиту головы – каску. Конструктивно каска состоит из: корпуса овальной формы, изготовленного из материала, не поддерживающего горение; тульи и амортизатора с внутренней оснасткой; прозрачного лицевого защитного щитка (забрала); пелерины и подбородного ремня [2, 5]. Тулья крепится внутри корпуса каски с помощью амортизаторов, которые снижают силу возможных ударов за счет равномерного распределения внешнего механического воздействия по поверхности головы. Пелерина размещается на каске с затылочной стороны головы, а забрало – с лицевой. Они снижают риски влияния механических воздействий и действий тепловой и лучистой энергии на кожу лица и шеи, на органы зрения оперативника, а также защищают работника от попадания на лицо и шею жидкостей, осколков элементов строительных конструкций, строительного мусора и др. во время выполнения работ в экстремальных ситуациях [3].

К этому следует добавить, что каска любого оперативного работника должна не только надежно защитить его голову, лицо и шею от внезапных внешних воздействий, но и обеспечить эргономические удобства при выполнении его профессиональных обязанностей.

### Актуальность

Анализ случаев травматизма в спецподразделениях показывает, что при эксплуатации касок пожарных-спасателей достаточно часто имеют место случаи растрескивания лицевого щитка и, связанного с ним, корпуса каски вследствие их недостаточной прочности. Эти нарушения целостности забрала и корпуса каски, возникающие в реальных условиях выполнения работ спецподразделениями, трещины, сколы, размонтирования элементов монтажа забрала, и другие виды дефектов ведут, как правило, к механическим травмам, попаданию в лицо работника вредных веществ. Таким образом, дефекты защитного забрала и/или корпуса каски могут привести к недопустимым воздействиям на лицо и голову оперативника растворов кислот, щелочей, морской воды и т.п.

### Состояние вопроса

Среди причин выхода из строя и касок и забрала можно назвать визуальные ошибки восприятия непредвиденно появляющихся в поле зрения оперативного работника подвижных материальных объектов, которые с определенной степенью вероятности могут встретить на своем пути голову оперативника. Поэтому, использование забрала, в котором искажается зримая внешняя обстановка, представляет значительную опасность.

Здесь следует учитывать, что основную часть информации работающий получает через органы зрения. Естественно, побудительный мотив в принятии им решения возникает после того как любая информация о любой неожиданности подтверждается сигналом, который через органы зрения достигает мозга. Искаженное восприятие не позволяет работнику быстро и правильно оценить реальную обстановку так как у него возникает визуальная иллюзия. Причем, связь между визуальными иллюзиями и аварийными ситуациями, как показано в [2, 3], достаточно высоко коррелирована. Тем не менее, повышая оптические характеристики панели «остекления» забрала необходимо, прежде всего, достичь соответствующей величины запаса прочности каски вместе с забралом, обеспечив тем самым, безопасные условия в минимаксной ситуации (принцип Вальда). Что бы ни произошло на месте аварии или ЧС результат (исход) использования защитной каски должен быть не хуже выбранной максимины – «только бы не навредить!»

### Постановка задачи

Очевидно, что при такой постановке в двухпараметрической задаче принятия решений необходимым условием является достижение конструктивной прочности панели «остекления» забрала. Достаточное условие здесь формулируется с учетом визуальных искажений, связанных с преломлением лучей, отраженных от непредвиденных подвижных и неподвижных объектов наблюдения [1, 6, 12]. Удовлетворяя им обеим, можно, с учетом, так называемых коэффициентов «важности» сформулировать двудиную целевую функцию, теоретически предопределяя повышение надежности защиты оперативных работников от неожиданных происшествий при выполнении ими своих обязанностей [2]. Тем самым приближая решение задачи принятия оптимальных конструктивных решений к условиям определенности.

Таким образом, если есть два критерия качества (две функции реализации):  $K_j = K_j(\sigma_{\max})$  – критерий

максимальной прочности (необходимость); и  $K_2=K_2(\delta_{иск})$  – критерий минимальных искажений изображений (достаточность), то целесообразно формулировать задачу оптимального проектирования забрала такую, в которой в качестве критериев оптимальности совместно будут фигурировать и необходимое и достаточное условия. Указанные критерии измеряются в разных шкалах. Приводя их к одному скалярному критерию в безразмерной форме, получим:

$$K = \sum_{k=1}^2 \zeta_k \bar{K}_k, \text{ где } \bar{K}_1 = \sigma_{\max}^{(S)} / \max_{(S)}(\sigma_{\max}^{(S)}) \text{ и} \\ \bar{K}_2 = \delta_{иск}^{(S)} / \max_{(S)}(\delta_{иск}^{(S)}), \quad (1)$$

где  $S$  – вектор варьируемых параметров, зависящий от толщины пакета  $h$  и радиуса его кривизны  $R$ ;  $\zeta_k$ ,

( $k = 1,2$ ) – весовые коэффициенты «важности» соответствующего критерия, причем

$$\sum_{k=1}^2 \zeta_k = 1.$$

Тогда формулировка задачи принятия решений при конструировании забрала запишется

$$\min_x K_0(x) = \min_x \sum_{i=1}^2 \zeta_i \frac{K_i(x_i^*) - K_i(x)}{|K_i(x_i^*)|} \quad (2)$$

где искомое решение (результат) обычно ищут в виде оптимальной альтернативы  $x_i^* = A_{\text{опт}}$ , доставляющей функции реализации экстремум по максимуму:

$$K_i(x_i^*) = - \max_{x_i} K_i(x_i)$$

В качестве первого приближения к решению поставленной задачи первоначально рассмотрим вопросы повышения прочности остекления забрала, как первоочередной шаг в модернизации каски оперативного работника спецподразделения.

В общем и целом для обеспечения безопасности работников нами предложено каску и забрало изготавливать не однослойными, а многослойными [2, 3]. Многослойность позволяет повысить прочностные свойства этого защитного элемента каски. Это подтверждается не только исследованиями из теории упругости пластин и оболочек [4], но и практическим опытом. – Слоистым образованиям в природном мире присущи относительно высокие прочностные свойства.

В частности, если защитный лицевой щиток является однослойным монолитом (число слоев  $n=1$ ), то его прочность будут ниже (при прочих равных). Тем не менее, такой изначальный подход к модернизации однослойных монолитных конструкций удобен для дальнейшего анализа и сравнения результатов с последующими расчетами многослойных конструкций с точки зрения их оптимизации. Он (этот подход), к тому же, может быть применен в решении задачи об улучшении

эксплуатационных свойств существующих в настоящее время касок.

### Общие уравнения движения

При исследованиях панель защитного остекления представлена нами в наиболее общем виде – в виде многослойной прозрачной оболочки цилиндрической формы, состоящей из  $I=n$  однородных изотропных слоев постоянной толщины, где номер слоя отсчитывается от внутреннего слоя с радиусом кривизны  $R$  [7, 8, 13, 14]. На рис. 1 изображен фрагмент прозрачного многослойного забрала с учетом того, что исследуемый нами объект обрамлен жесткой рамкой, дополнительно скрепляющей его слои, и обеспечивает (технологически) прикрепление его к самой каске.

Согласно разработанной нами математической модели исследований наша обобщающая постановка задачи подразумевает, что многослойный цилиндрический пакет представляет собой элемент остекления забрала, собранный из  $I$  однородных изотропных слоев постоянной толщины, имеющий кривизну  $1/R$ . Контакт между слоями исключает их расслаивание и взаимное проскальзывание. Предполагается, что слои несжимаемы в поперечном направлении. Для всего пакета справедлива гипотеза лановой линии, а поведение каждого слоя описывается в рамках линейной уточненной теории оболочек первого порядка [9-11]. Тогда для перемещений  $i$ -го слоя (рис. 1), имеем:

$$u^i = u^0 + \sum_{j=1}^{i-1} h_j \psi_x^j + (z - \delta_{i-1}) \psi_x^i;$$

$$v^i = v^0 + \sum_{j=1}^{i-1} h_j \psi_y^j + (z - \delta_{i-1}) \psi_y^i;$$

$$w^i = w^0; \delta_i = \sum_{j=1}^i h_j; \delta_{i-1} \leq z \leq \delta_i; i = \overline{1, I}. \quad (3)$$

Здесь:  $u^0 = u^0(x, y, t); v^0 = v^0(x, y, t);$

$w^0 = w^0(x, y, t)$  – перемещения точки поверхности в направлении координатных линий  $x, y, z$ ;  $\psi_x^i = \psi_x^i(x, y, t)$  и  $\psi_y^i = \psi_y^i(x, y, t)$ ,  $i = \overline{1, I}$  – углы поворота нормали в пределах  $i$ -го слоя.

Уравнения движения фрагмента забрала под действием внешней импульсной нагрузки могут быть получены по аналогии на основании вариационного принципа Остроградского-Гамильтона и будут иметь вид:

$$[\Omega] \bar{U}_{,tt} - [\Lambda] \bar{U} = \bar{Q}; \\ \bar{U} = \{u^0, v^0, w^0, \psi_x^i, \psi_y^i\}; i = \overline{1, I}, \quad (4)$$

где  $\bar{U}$  – вектор искомых функций;  $[\Omega]$  и  $[\Lambda]$  – симметричные матрицы масс и жесткости размерностью  $(2I+3)*(2I+3)$ ;  $\bar{Q}$  – вектор внешних сил.

Внешняя нагрузка разлагается в ряды Фурье по функциям, удовлетворяющим граничным условиям: для  $x = 0, x = A: v = 0, w = 0, \psi_{iy} = 0, N_{ix} = 0, M_{ix} = 0$ ; для  $y = 0, y = B: u = 0, w = 0, \psi_{ix} = 0, N_{iy} = 0, M_{iy} = 0$ ; при  $i = \overline{1, I}; I = 1, 2, 3$

$$\begin{aligned}
 u &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \Phi_{1mn}(t) B_{1mn}(x, y); \\
 v &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \Phi_{2mn}(t) B_{2mn}(x, y); \\
 w &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \Phi_{3mn}(t) B_{3mn}(x, y); \\
 \psi_x^i &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \Phi_{3+i, mn}(t) B_{3+i, mn}(x, y); \\
 \psi_y^i &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \Phi_{3+I+i, mn}(t) B_{3+I+i, mn}(x, y); \\
 Q_l &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} q_{lmn}(t) B_{lmn}(x, y). \quad (5)
 \end{aligned}$$

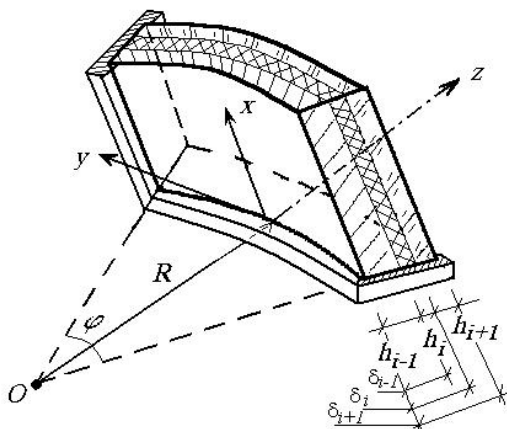


Рис. 1 – Фрагмент забрала  $A \times B$ :  $A$  – длина образующей;  $B$  – дуга / Fragments of the protective visor

Координатные функции выбираются в виде произведений тригонометрических функций.

$$\begin{aligned}
 B_{1mn} &= \cos \frac{m\pi x}{A} \sin \frac{n\pi y}{B}; \quad B_{2mn} = \sin \frac{m\pi x}{A} \cos \frac{n\pi y}{B}; \\
 B_{3mn} &= \sin \frac{m\pi x}{A} \sin \frac{n\pi y}{B}; \quad B_{3+1, mn} = B_{1mn}; \\
 B_{3+I+i, mn} &= B_{2mn}; \quad i = \overline{1, I}; \quad m = \overline{1, M}; \quad n = \overline{1, N}, \quad (6)
 \end{aligned}$$

где  $M$  и  $N$  – число удерживаемых членов ряда.

Для выполнения исследований на прочность рассматриваемого блока остекления забрала нами были проведены расчеты на динамическую прочность. Соответственно, задача определения прочностных характеристик такого забрала сводится к задаче о колебаниях многослойной пластины или оболочки под действием нагрузки, моделирующей попадание на остекления фрагментарных осколков строительных конструкций:

- при строительстве – кирпич, цементный раствор, бутовый камень и т.п;

- при авариях и ЧС – обломки строительных конструкций, закладные и др.

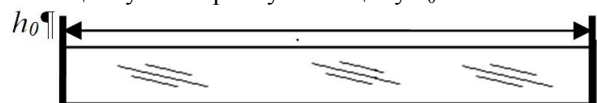
В работе [2, 3] были проведены исследования прочности лобового остекления специального многофункционального комплекса АСК-МФ на базе автомобиля КамАЗ. Однако здесь следует учитывать, что динамика столкновения защитного «остекления» забрала имеет свои отличительные особенности от рассматриваемой ранее задачи, где при более значительных размерах лобового остекления автомобиля имели место, по сути, менее опасные ветровые нагрузки. В данном случае импульсное нагружение забрала, защищающего лицо работника, может иметь более опасные последствия даже при меньшей площади воздействия на панель остекления. При этом возникла необходимость провести моделирование динамического взаимодействия груза при столкновении с защитной панелью забрала.

### Результаты

Исследования на динамических моделях в настоящей работе проводились нами для однородной монолитной панели ( $n=1$ ) блока «остекления» забрала с геометрическими параметрами:  $A = 0,02$  м,  $B = 0,03$  м,  $R = 0,095$  м,  $\varphi = \pi$ , при действии распределенной нагрузки по площадке  $A_1 \leq x \leq A_2$  и  $B_1 \leq y \leq B_2$ . Панель выполнена из поликарбоната (ПК). Импульсная нагрузка прилагается к наружной поверхности панели импульсивно с интенсивностью равной 1,0 МПа и 0,75 МПа по прямоугольной площадке ( $A_1 = 0,0125$  м,  $A_2 = 0,0175$  м и  $B_1 = 0,0075$  м,  $B_2 = 0,0125$  м).

При изучении напряженно-деформируемого состояния (НДС) в волокнах монолитной панели нами рассматривались некоторые промышленностью выпускаемые толщины листов:  $h_0 = 4, 8$  и 12 мм. В результате проведенных исследований для НДС каждого из стандартных монолитов были получены характерные линейные зависимости напряжений в волокнах от глубины их расположения в остеклении забрала (рис. 2, 3, 4). На этих рисунках в графической форме приведены данные о распределении расчетных значений напряжений внутри монолитных цилиндрических панелей различной габаритной толщины в момент времени, когда они достигают своих максимальных значений при вибрациях.

Для удобства анализа расчетных данных, представленных приведенных ниже рисунках, расположим упомянутые зависимости под сечением монолитной панели «остекления» забрала, имеющего обобщенную габаритную толщину  $h_0$ :



Как видно из приведенных зависимостей рис. 1, 2, и 3, численные значения максимальных напряжений (сжатия-растяжения) волокон, как и следовало

ожидать, становятся большими при меньших значениях толщины монолитного слоя.

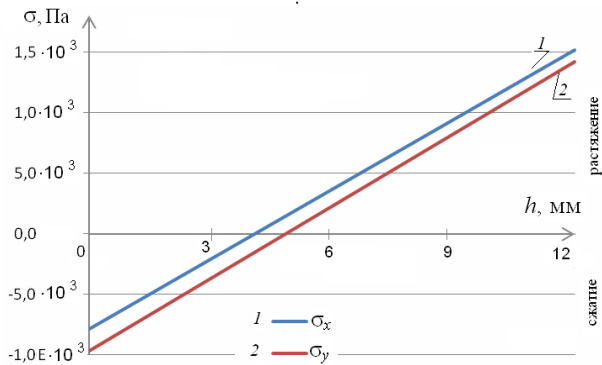


Рис. 2 – толщина монолита  $h_0=12$  мм; 1 – напряжения вдоль оси  $x$ , 2 – напряжения вдоль оси  $y$  / monolith thickness  $h_0=12$  mm; 1 - stress along the  $x$  axis, 2 - stress along the  $y$  axis

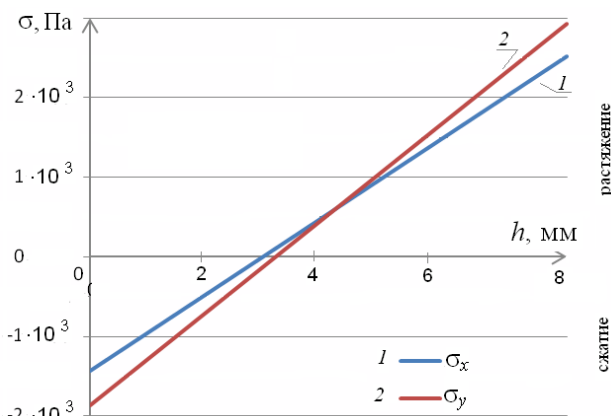


Рис. 3 – толщина монолита  $h_0=8$  мм; / monolith thickness  $h_0=8$  mm

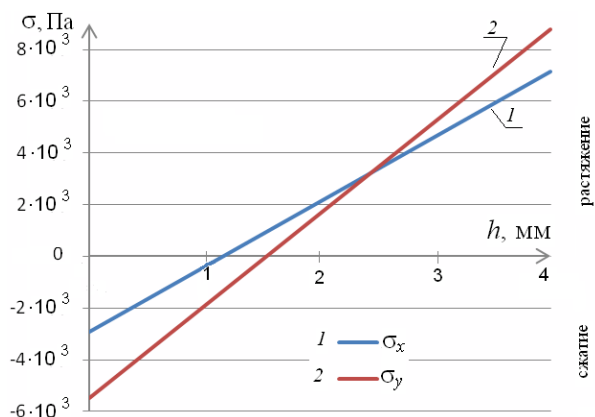


Рис. 4 – толщина монолита  $h_0=4$  мм / monolith thickness  $h_0=4$  mm

Это подтверждается фактом увеличения прочности «остекления» забрала по мере увеличения его габаритной толщины. С другой стороны, соотношения напряжений в волокнах во взаимно перпендикулярных направлениях, параллельных внешней поверхности защитного блока, имеют тенденцию к перераспределению. То есть, при больших значениях толщины панели это отношение

близко к постоянству, хотя здесь несколько большими являются величины напряжений растяжения волокон в направлении оси  $y$ . Тем не менее, соотношение меняется в сторону преобладания напряжений растяжения в направлении оси  $y$ , когда толщина монолитного «остекления» уменьшается. Причем, при уменьшении габаритной толщины панели, положение области расположения волокон нейтральной плоскости внутри однородной панели забрала (где нормальные напряжения близки к нулю) смещается в сторону от середины толщины монолита. В отношении напряжений сжатия все происходит инверсионно. При увеличении габаритной толщины панели, положение области нахождения нейтральных волокон внутри «остекления» забрала смещаются от середины толщины монолита в противоположную сторону.

Подытоживая данные расчетов, которые представлены на рисунках в виде линейных зависимостей напряжений от толщины монолитного защитного «остекления» и перестроив их по реперным точкам ( $h - \sigma$ ) к виду рис. 4, можно сделать выводы, которые имеют важное значение для модернизации забрала каски, и для конструирования новых многослойных панелей «остекления» забрала.

Во-первых, перестроенные на основании данных исходных расчетов графики, указывают на нелинейный характер изменения напряжений в зависимости от толщины однородного слоя панели (рис. 5).

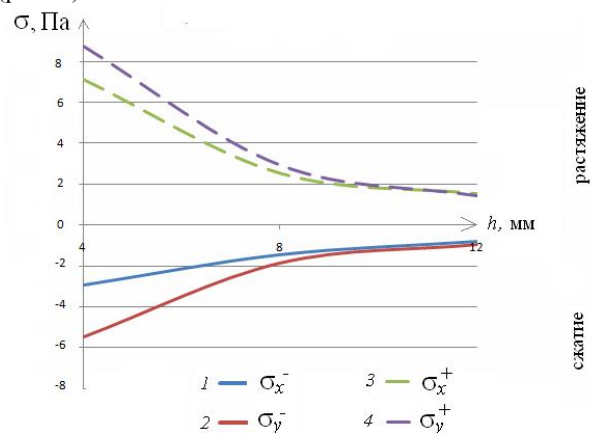


Рис. 5 – Распределение максимальных напряжений в зависимости от толщины панели «остекления» / Distribution of the maximum stresses depending on the thickness of the "glazing"

Во-вторых, кривые максимальных напряжений «сжатие» (рис. 4) распределяются по абсолютным максимумам следующим образом: в направлении  $x$  напряжения  $\sigma_x$  меньше значений напряжений в направлении  $y$  ( $\sigma_y$ ), хотя при увеличении толщины монолита их численные величины, как и следовало ожидать, асимптотически «сходятся». Тут же можно сделать вывод о том, что более благоприятной зоной с прочностной точки зрения повышения безопасности является область толщин однородной панели забрала в пределах от 8 до 12 мм. Так как в

этом диапазоне толщин панели «остекления» забрала уровень напряжений сжатия и растяжения по обоим направлениям ( $x$  и  $y$ ) в наружных волокнах монолита минимален. Причем, он близок к характерному для графиков уровню «насыщения». Однако заметим, что при этом масса защитных панелей имеют естественную тенденцию в сторону увеличения.

В-третьих, и это особенно важно для задач принятия оптимальных решений при конструировании трехслойного забрала. Факт смещения от нейтральной середины монолита области с минимальными значениями напряжений  $\sigma_x$  и  $\sigma_y$  в волокнах вглубь толщины остекления предопределяет возможность рационального деления монолитной панели остекления на три слоя, где нейтральным (по середине) желательнее иметь прозрачный клеевой слой, который соединит наружный и внутренний в трехслойный пакет. В результате такой многослойный защитный блок должен с успехом заменить монолитную панель «остекления» забрала. Это изменит характер распределения напряжений во внутреннем первом и наружном третьем слоях забрала, что при прочих равных условиях, будет способствовать не только увеличению его характеристик прочности, но и снижению веса лицевого щитка.

#### Заключение

В заключение отметим, что представленные в настоящей статье результаты являются начальной частью исследований, которые на первом этапе позволили создать методику расчетов на прочность и модернизировать конструкцию монолитной панели остекления забрала и определить область значений рациональных толщин его «остекления» (8 – 12 мм). Предложенный подход вполне согласовывается с методикой проведения испытаний каски пожарного согласно ДСТУ.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Абаимов, С. Г. Статистическая физика сложных систем. От фракталов до скейлинг-поведения / С. Г. Абаимов. – М.: Librokom, 2012. – 388 с.

Abaimov, S. G. Statisticheskaya fizika slozhnykh sistem. Ot fraktalov do skeyling-povedeniya / S. G. Abaimov. – М.: Librokom, 2012. – 388 p.

2. Беликов, А. С. Обеспечение безопасности работающего в экстремальных условиях / А. С. Беликов, О. А. Сабитова, В. А. Голендер, Н. В. Долгополова, А. С. Чаплыгин // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Сб. научн. тр. №76. – Днепропетровск, ГВУЗ Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры, 2014. – С. 50–56.

Belikov, A. S. Obespechenie bezopasnosti robotayushchego v ekstremal'nykh usloviyakh / A. S. Belikov, O. A. Sabitova, V. A. Holender, N. V. Dolhopolova, A. S. Chaplyihin // Building, materials sciences, mechanic engineering: Collection of scientific papers Issue №76 – Dnipropetrovsk, PSAES, 2014. – pp. 50-56.

3. Беликов, А. С. Прочностные свойства защитных касок для работы на объектах стройиндустрии / А. С.

*Статья рекомендована к публикации доктором д-ром. техн. наук, проф. С. З. Полищуком (Украина)*

Беликов, О. А. Сабитова, В. А. Голендер, Н. В. Долгополова, А. С. Чаплыгин // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Сб. научн. тр. №71. – Т. 2. – Днепропетровск, ГВУЗ Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры, 2013. – С. 24–28.

Belikov, A. S. Prochnostnyye svoystva zaschitnykh kasok dlya raboty na ob'ektakh stroyindustrii / A. S. Belikov, O. A. Sabitova, V. A. Holender, N. V. Dolhopolova, A. S. Chaplyihin // Building, materials sciences, mechanic engineering: Collection of scientific papers Issue №71 – Dnipropetrovsk, PSAES, 2013. – pp. 24-28.

4. Ведерников В. А., Савичева Г. В. О конечных группах, близких к вполне факторизуемым / Дискретная математика. – М.: Наука, 2007. – Т. 19, Вып. 2. – С. 78–84.

Vedernikov V. A., Savicheva G. V. O konechnykh gruppah, blizkikh k vpolne faktorizuemyim / Diskretnaya matematika. – М.: Nauka, 2007. – Т. 19, Вып. 2. – pp. 78–84.

5. Інженерна техніка та спеціальні машини для ліквідації надзвичайних ситуацій: навч. посіб. / О. М. Ларін, І. М. Грицина, Н. І. Грицина, А. Я. Калиновський. – Х.: НУЦЗУ, КП «Міськдрук», 2012 – 380 с.

Inzhenerna tehnika ta spetsialni mashini dlya likvidatsiy nadzvichaynih situatsiy: navch. posib. / O. M. Larin, I. M. Gritsina, N. I. Gritsina, A. Ya. Kalinovskiy. – H.: NUTsZU, KP «Miskdruk», 2012 – 380 p.

6. Никабадзе, М. У., Улуханян, А. Р. Математическое моделирование упругих тонких тел с одним малым размером с помощью систем ортогональных полиномов // Деп. в ВИНТИ РАН 21.08.2008. № 723-B2008. 65 с.

Nikabadze, M. U., Ulukhanyan, A. R. Matematicheskoe modelirovanie uprugih tonkih tel s odnim malym razmerom s pomoschyu sistem ortogonalnykh polinomov // Dep. v VINITI RAN 21.08.2008. № 723-B2008. 65 p.

7. Рассказов, А. О. Теория и расчет слоистых ортотропных пластин и оболочек / А. О. Рассказов, И. И. Соколовская. – К.: «Вища школа», 1986. – 191 с.

Rasskazov, A. O. Teoriya i raschet sloistyykh ortotropnykh plastin i obolochek / A. O. Rasskazov, I. I. Sokolovskaya. – K.: «Vischa shkola», 1986. – 191 p.

8. Mura T. Micromechanics of Defects in Solids. Martinus Nijhoff, 2002. 494 p.

9. Senashov, V. I. Characterizations of Layer-Finite Groups and Their Extensions // J. of Siberian Federal University. Mathematics and Physics. – 2009. – № 2(3). – pp. 279–287.

10. Shupikov, Aleksander N. Smetankina, Natalia V. and Sheludko, Hely A. Selection of Optimal Parameters of Multilayer Plats at Nonstationary Loading. Meccanica 33: pp. 553-564, 1998. © 1998 Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.

11. Shupikov, A. N. Ugrimov, S. V. Vibration of multilayer plates under the effect of impulse loads. Tree-dimensional theory. International Journal of Solids and structures 36 (1999) pp. 3391-3402.

12. The GAP Group GAP – Groups, Algorithms, and Programming, Version 4.4, 2006 (<http://www.gap-system.org>).

13. Ulukhanyan A. R. Dynamic Equations of the Theory of Thin Prismatic Bodies with Expansion in the System of Legendre Polynomials // Mechanics of Solids. 2011. Vol. 46, №3, pp. 467-479.

14. Ulukhanyan A. R. Representation of Solutions to Equations of Hyperbolic Type // Moscow University Mechanics Bulletin. Vol. 65, №. 2, 2010. pp. 47-50.

*Статья поступила в редколлегии 31.03.2015*