

УДК 539.3:62-50:614.8

А. С. Беликов, д. т. н., проф., В. А. Шаломов, к. т. н., доц., О. А. Сабитова,
ГВУЗ «ПГАСА»,

И. Г. Маладыка, к. т. н., доц., Д. С. Федоренко, к. и. н.,
Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля НУГЗ Украины

ВЛИЯНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЗАЩИТНОЙ КАСКИ ПОЖАРНОГО

Представлены исследования прочностных характеристик защитной каски пожарного и предложена математическая модель фрагмента прозрачного монолитного забрала

Ключевые слова: Аварийно-восстановительные и ремонтно-строительные работы; защитные каски и забрала; напряженно-деформированное состояние; радиус кривизны и толщина остекления монолитного забрала; расчеты на прочность.

Постановка проблемы. Проведение аварийно-восстановительных (АВР), ремонтно-строительных (РСР) и аварийно-спасательных (АСР) работ в зданиях, тоннелях и других сооружениях связаны с опасностью возникновения обрушений строительных конструкций, что повышает уровень требований к экипировке работников специальных служб средствам их индивидуальной защиты.

Анализ последних достижений и публикаций. Учитывая, что при испытании каски защитной КП-1 она не отвечала требованиям безопасности по динамической нагрузке, возникла необходимость проведения исследований по повышению ее прочности.

Постановка задачи и ее решение. Согласно стандартной методики испытаний ДСТУ 3728-98 «Каска пожарная. Общие технические требования и методы испытаний», не учитываются динамические испытания остекления забрала. Поэтому возникла необходимость в разработке комплексного подхода при выборе материала остекления забрала и его испытания.

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которым посвящена статья. Вследствие этого возникла необходимость наряду с проведением стандартных испытаний, определение напряженно-деформированного состояния (НДС) забрала с применением тензометрии и установлением зависимостей, возникающих между напряжениями и деформациями. Кроме этого возникла необходимость в исследовании безопасности применения остекления забрала в реальных условиях при динамическом воздействии осколков разрушенных материалов в экстремальных ситуациях.

Изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных научных результатов.

Как следует из проведенного анализа наиболее ударно уязвимыми частями головы для оказавшегося в аварийной ситуации человека, является его лобная (между бровями) часть головы, что в случаях обрушений конструкций и оборудования приводит к травмированию, потере сознания или к шоковому состоянию.

При создании защитных касок для строителей, пожарных-спасателей и работников подразделений других спецслужб используют в основном экспериментальные методы оценки механической прочности и жесткости каски и забрала, а также способы определения теплотехнической стойкости таких головных «уборов», прописанные в Госстандартах, например, ДСТУ 3728-98 «Каска пожарная. Общие технические требования и методы испытаний». В них изложены требования к свойствам, которые необходимо соблюдать для обеспечения защиты головы человека от негативных внешних воздействий. Этим стандартом оговорены технические требования, предъявляемые к испытаниям уже готовой продукции.

Тем не менее, в литературных источниках теории упругости имеется достаточно теоретического материала, на основе которого разработаны подходы к расчету оболочечных строительных конструкций различного типа [1, 2, 5]. В соответствии с ТУ У 3.65-14311904-017-96 у защитных касок должны быть обеспечены, прежде всего, прочностные свойства забрала и корпуса каски. Вместе с этим, как показал проведенный нами анализ, до настоящего времени отсутствуют стандартные расчетные методики и методы исследований, которые позволили бы оценивать напряженно-деформированное состояние (НДС) этих защитных преград с учетом их применения в экстремальных условиях.

При принятии решения и назначении прочностных параметров забрала мы исходили из установления оптимальной прочности, которая варьировалась в области таких «граничных» значений прочности забрала за пределами которых: по нижнему пределу – забрало разрушается, не имея требуемых защитных качеств и эксплуатационной прочности; по верхнему пределу – прочность забрала велика настолько, что при силовом нагружении оно разрушается некоторой допустимой по величине силой, амортизируя внешнее воздействие непосредственно на голову и лицо, «смягчая» его до безопасного для человека значения. То есть передается с использованием необходимого в таких случаях ударно-поглощающего демпфирующего действия, связанного с разрушением слоев, составляющих забрало.

Общие уравнения движения монолитной панели «остекления» забрала применительно к решению задач обеспечения его динамической прочности.

Обычная защитная маска забрала это однородная прозрачная оболочка цилиндрической формы, изготавливаемая как монолитная панель постоянной толщины. Поэтому для численных исследований будем рассматривать ее в виде цилиндрической оболочки толщины h_0 , отнесенной к ортогональной криволинейной системе координат $Oxyz$, прямолинейная ось Oz которой направлена по размеру толщины, а нормальная ей координатная плоскость Oxy связана с наружной поверхностью монолитного слоя и имеет радиус R .

На рис. 1 изображен фрагмент прозрачного монолитного забрала, на поверхности которого обозначена площадка, по поверхности которой импульсно действует внешнее возмущение.

Согласно предложенной нами математической модели для рассматриваемой схемы (рис. 1) были сделаны допущения:

- цилиндрическая панель представляет собой элемент остекления забрала, изготовлена из однородного материала постоянной толщины и имеет кривизну $1/R$;
- в поперечном направлении панель несжимаема.

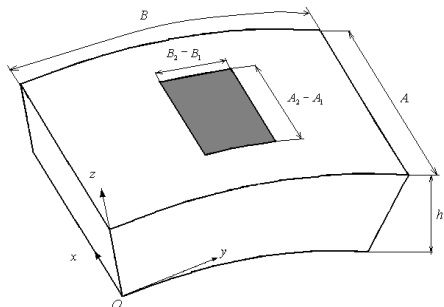


Рисунок 1 - Модель фрагмента прозрачного монолитного забрала $A \times B$, где:

A – длина образующей;

B – дуга, опирающаяся на угол φ ;

R – радиус кривизны пакета «остекления» забрала;

h_0 – толщина монолитного слоя. $(A_2 - A_1) \times (B_2 - B_1)$ – место приложения внешней распределенной нагрузки

Для описания перемещений (движения) элементов монолитного забрала (рис. 1) в направлении координатных линий x , y и z приняты следующие кинематические гипотезы [4]:

$$u = u^0 + z\psi_x; \quad v = v^0 + z\psi_y; \quad w = w^0,$$

где $u^0 = u^0(x, y, t)$; $v^0 = v^0(x, y, t)$; $w^0 = w^0(x, y, t)$ – перемещения точки поверхности в направлении координатных линий x , y , z ;

$\psi_x = \psi_x(x, y, t)$ и $\psi_y = \psi_y(x, y, t)$ – углы поворота нормали,

t – время.

Уравнения движения (колебания) элементов забрала под действием внешней импульсной нагрузки можно представить на основании вариационного принципа Остроградского-Гамильтона в следующем виде:

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

где \bar{U} – вектор искомых функций; $[\Omega]$ и $[\Lambda]$ – симметричные матрицы масс и жесткости размерностью $(5) \times (5)$; \bar{Q} – вектор внешних сил.

Решения уравнений (1) и внешняя нагрузка разлагаются в ряды Фурье по функциям, удовлетворяющим граничным условиям в системе координат x, y, z :

для $x = 0, x = A$: $v = 0, w = 0, \psi_y = 0, N_x = 0, M_x = 0$;

для $y = 0, y = B$: $u = 0, w = 0, \psi_x = 0, N_y = 0, M_y = 0$;

для $i = 1, 5$.

(2)

$$\begin{aligned} u &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \Phi_{1mn}(t) B_{1mn}(x, y); & v &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \Phi_{2mn}(t) B_{2mn}(x, y); \\ w &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \Phi_{3mn}(t) B_{3mn}(x, y); & \psi_x &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \Phi_{4,mn}(t) B_{4,mn}(x, y); \\ \psi_y &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \Phi_{5,mn}(t) B_{5,mn}(x, y); & Q_l &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} q_{lmn}(t) B_{lmn}(x, y). \end{aligned} \quad (3)$$

Координатные функции в подобных задачах выбираются как произведения тригонометрических функций [4].

$$B_{1mn} = \cos \frac{m\pi x}{A} \sin \frac{n\pi y}{B}; \quad B_{2mn} = \sin \frac{m\pi x}{A} \cos \frac{n\pi y}{B}; \quad B_{3mn} = \sin \frac{m\pi x}{A} \sin \frac{n\pi y}{B};$$

$$B_{4,mn} = B_{1mn}; \quad B_{5,mn} = B_{2mn}; \quad m = \overline{1, M}; \quad n = \overline{1, N}, \quad (4)$$

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 пластины или оболочки под действием нагрузки, моделирующей попадание на остекления фрагментарных осколков строительных конструкций:

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

- при авариях и экстремальных ситуациях – обломки строительных конструктивов, закладные и др.

В работе [1] были проведены исследования прочности лобового остекления мобильного 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 машины имели место, по сути, менее опасные 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 динамики взаимодействия груза при столкновении с защитной панелью забрала.

Моделирование динамики взаимодействия части элемента строительной конструкции с защитной панелью «остекления» забрала.

В данном случае мы рассматриваем ситуацию, когда груз массы P , кг и защитное остекление сближаются друг с другом с относительной скоростью V , м/с. Причем, поверхность элемента остекления забрала с касательной к траектории движения груза образует угол α в точке их соприкосновения. Наклонный удар наносится по наружной поверхности слоя в направлении стороны элемента, параллельной оси Ox (рис. 2). Обработка разнообразных многочисленных данных, полученных в результате натурных экспериментов [3], показала, что площадь контакта груза и элемента остекления приблизительно может быть представлена в виде эллипса или упрощенно – прямоугольника. В связи с этим и характер равномерного распределения нагрузки по поверхности контакта в самом общем случае описывается эллипсом; в нашем частном случае (рис. 2) – прямоугольником.

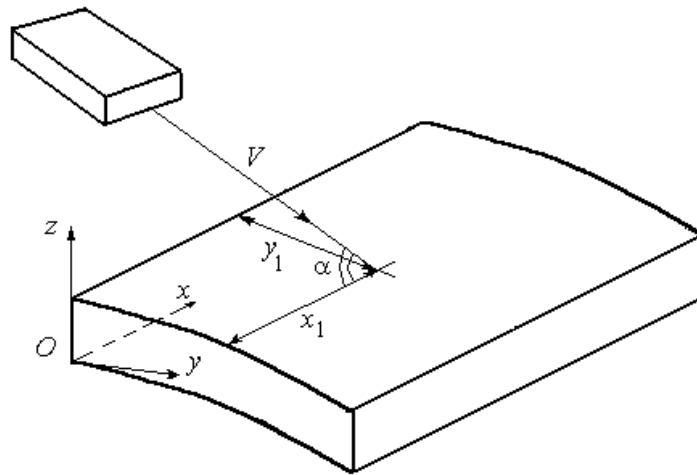


Рисунок 2 - Схема соударения элемента строительной конструкции с забралом.

Таким образом, составляющие вектора внешней нагрузки могут быть представлены в виде:

$$q_x^{\hat{a}\hat{a}\hat{\phi}} = q_y^{\hat{a}\hat{a}\hat{\phi}} = 0, \quad q_z^{\text{внеш}} = \frac{1}{2} P_0 [1 + \sin(\tau_p - t)] F, \quad (5)$$

где P_0 - интенсивность нагрузки, кН/м²;

$$F = \left[1 - \frac{(x - x_1 - \delta)^2}{a^2} - \frac{(y - y_1)^2}{b^2} \right]^{1/2}; \quad (6)$$

τ_p – время ударного контакта, с;

a и b – длины полуосей площадки нагружения, м;

x_1, y_1 – координаты точки пересечения траектории груза с поверхностью панели забрала, м;

$q_x^{внеш}, q_y^{внеш}, q_z^{внеш}$ – проекции вектора внешней нагрузки на координатные оси внешней силы, приложенной к наружной поверхности панели

δ – величина, характеризующая смещение центра площадки нагружения в зависимости от угла соударения, если удар осуществляется грузом из пластичного материала (при жестком соударении $\delta=0$).

Параметр интенсивности внешней нагрузки P_0 подбирается в каждый момент времени так, чтобы мгновенная сила удара имела заданную величину. Это условие можно записать в следующем виде:

$$\int_{\Omega(t)} q_z(x, y, t) dx dy = T(t), \quad (7)$$

где $T(t)$ – мгновенная сила удара, Н;

$\Omega(t)$ – область контакта груза с элементом остекления.

Условие (8) позволяет выразить величину P_0 , входящую в (7), через значение мгновенной силы удара $T(t)$

$$P_0 = \frac{3T(t)}{2\pi ab}. \quad (8)$$

Задание величин a, b, δ, T как функций времени в зависимости от массы груза, угла и скорости соударения осуществляется по методике, разработанной на основе данных, полученных при натурных экспериментах [1].

При этом, принято допущение, что внешняя нагрузка прилагается к наружной поверхности по прямоугольной площадке с размерами $(A_2 - A_1) \times (B_2 - B_1)$. Закон изменения во времени ее параметров можно записать двумя зависимостями:

$$q_x^{\hat{a}\hat{a}\hat{a}\hat{\phi}} = q_y^{\hat{a}\hat{a}\hat{a}\hat{\phi}} = 0; \quad q_z^{\hat{a}\hat{a}\hat{a}\hat{\phi}} = \frac{1}{2} P_0 H(t) \sin \pi \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \sin \pi \frac{y - y_1}{y_2 - y_1}; \quad (9)$$

$$x_1 \leq x \leq x_2, \quad y_1 \leq y \leq y_2;$$

а также:

$$q_z^{\hat{a}\hat{a}\hat{a}\hat{\phi}} = P_0 H(t); \quad x_1 \leq x \leq x_2, \quad y_1 \leq y \leq y_2, \quad (10)$$

где $H(t)$ – функция Хевисайда; P_0 – интенсивность нагрузки.

Таким образом (в обобщенном виде) представляется целесообразным рассматривать переходные процессы деформирования многослойных цилиндрических панелей с длинами сторон A и B с центральным углом φ (в том числе и однослойных монолитных).

Коэффициенты разложения этих нагрузок в ряд Фурье будут иметь вид:

для нагрузки (9) –

$$q_{3mn} = \frac{4P_0 H(t) A \cdot B \cdot (x_2 - x_1)(y_2 - y_1)}{\pi^2 [A^2 - m^2(x_2 - x_1)^2][B^2 - n^2(y_2 - y_1)^2]} \times$$

$$\times \left(\sin \frac{m\pi x_2}{A} + \sin \frac{m\pi x_1}{A} \right) \left(\sin \frac{n\pi y_2}{B} + \sin \frac{n\pi y_1}{B} \right); \quad (11)$$

для нагрузки (10) –

$$q_{3mn} = \frac{4P_0}{mn\pi^2} H(t) \left(\cos \frac{m\pi x_2}{A} - \cos \frac{m\pi x_1}{A} \right) \left(\cos \frac{n\pi y_2}{B} - \cos \frac{n\pi y_1}{B} \right), \quad (12)$$

где P_0 – интенсивность нагрузки; $m = \overline{1, M}$, $n = \overline{1, N}$.

Численные исследования распределения напряжений в зависимости от толщины монолитного слоя и величины внешней нагрузки.

Исследования на расчетных динамических моделях проводились нами для однородной монолитной панели ($i=1$) блока «остекления» забрала с геометрическими параметрами: $A = 0,02\text{м}$, $B = 0,03\text{м}$, $R=0,095\text{м}$, $\varphi=\pi$, 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 (9) прилагается к наружной поверхности панели по прямоугольной площадке ($A_1 = 0,075\text{м}$, $A_2 = 0,125\text{м}$ и $B_1 = 0,125\text{м}$, $B_2 = 0,175\text{м}$) двумя номиналами: с интенсивностью равной $1,0\text{МПа}$ и $0,75\text{МПа}$.

При изучении НДС в волокнах монолитной панели нами рассматривались выпускаемые промышленностью следующие толщины листов: $h_0 = 4\text{ мм}$, 8 мм и 12 мм . В результате проведенных нами исследований НДС каждого из стандартных монолитов были получены данные в виде характерных линейных зависимостей напряжений в волокнах, расположенных внутри «остекления» забрала (рис. 3-5), на соответствующей глубине. Приведенные значения напряжений, действующих в волокнах внутри монолитных цилиндрических панелей различной габаритной толщины, причем в первый период колебательного движения, когда они достигают своих максимальных значений.

В табл. 1 приведены расчетные и экспериментальные значения напряжений при действии нагрузки, величиной $P = 1,0\text{ МПа}$

Таблица 1 - Напряжения при нагрузке $P = 1,0\text{МПа}$

| | | | | |
|----------------------|----------------------------|-------------|-------|-----------|
| $h_0 = 12\text{ мм}$ | $z, \text{ мм}$ | 0 | 6 | 12 |
| | $\sigma_x(z), \text{ МПа}$ | -14,4/-14,1 | 1,9 | 10,2/9,9 |
| | $\sigma_y(z), \text{ МПа}$ | -16,7/-16,3 | -2,1 | 12,7/12,5 |
| $h_0 = 8\text{ мм}$ | $z, \text{ мм}$ | 0 | 4 | 8 |
| | $\sigma_x(z), \text{ МПа}$ | -27,4/-26,6 | -5,7 | 16,2/15,9 |
| | $\sigma_y(z), \text{ МПа}$ | -31/-30,3 | -5,3 | 20,5/19,8 |
| $h_0 = 4\text{ мм}$ | $z, \text{ мм}$ | 0 | 2 | 4 |
| | $\sigma_x(z), \text{ МПа}$ | -80/-79,1 | -23,5 | 32,2/31,5 |
| | $\sigma_y(z), \text{ МПа}$ | -88,6/-87,2 | -38,1 | 12,7/12,3 |

Примечание. Значения напряжений под дробной чертой получены при испытаниях на лабораторном стенде НПО «Хартрон» и свидетельствуют о приемлемой точности инженерных расчетов.

После обработки полученных данных были получены зависимости:

$$\sigma_x = -14,4 + 3,383x - 0,111x^2.$$

Сумма квадратов отклонений = $2,16345\text{E-}0028$

$$\sigma_y = -16,7 + 2,417x + 0,003x^2.$$

Сумма квадратов отклонений = 1,43967E-0029

С учетом малых значений отклонений полученные зависимости хорошо описывают НДС монолитного слоя.

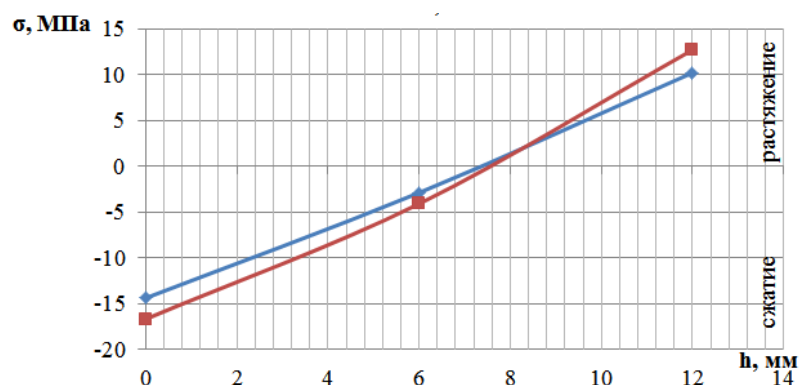


Рисунок 3 - Зависимости изменения НДС монолитного слоя при интенсивности $P_0 = 1$ МПа, толщине $h_0 = 12$ мм, где:

— σ_x — напряжения вдоль оси x ,
 — σ_y — напряжения вдоль оси y

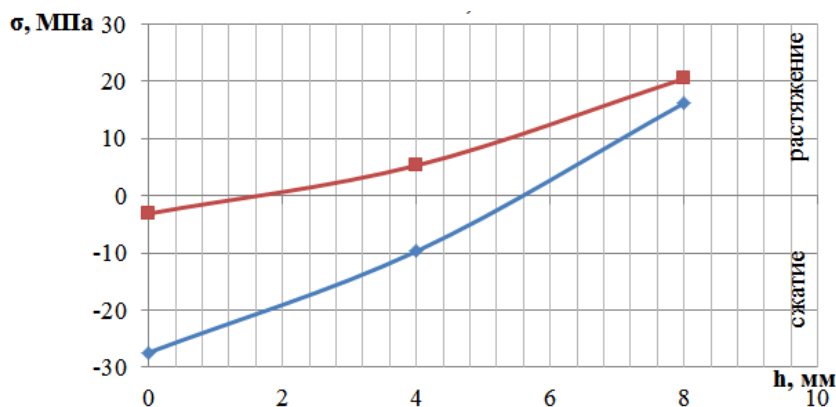


Рисунок 4 - Зависимости изменения НДС монолитного слоя при интенсивности $P_0 = 1$ МПа, толщине $h_0 = 8$ мм, где:

— σ_x — напряжения вдоль оси x ,
 — σ_y — напряжения вдоль оси y

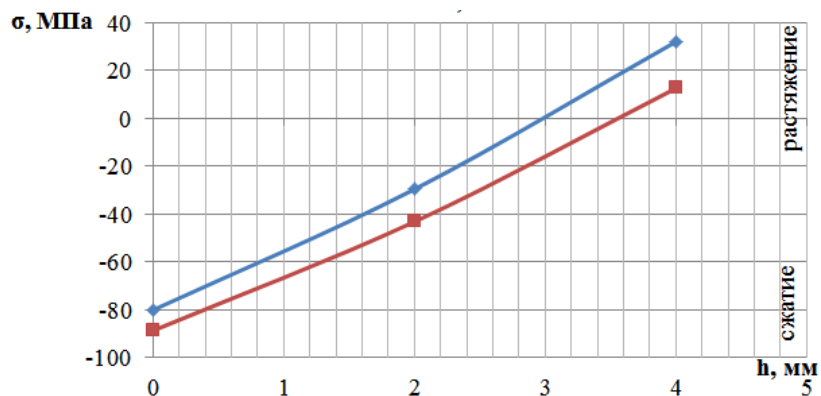


Рисунок 5 - Зависимости изменения НДС монолитного слоя при интенсивности $P_0 = 1$ МПа, толщине $h_0 = 4$ мм, где:

— σ_x — напряжения вдоль оси x ,
 — σ_y — напряжения вдоль оси y

После обработки полученных данных были получены зависимости:

$$\sigma_x = -27,4 + 5,4x + 0,006x^2.$$

Сумма квадратов отклонений = 1,34106E-0029.

$$\sigma_y = -31 + 6,413x + 0,003x^2.$$

Сумма квадратов отклонений = 3,23433E-0029.

С учетом малых значений отклонений полученные зависимости хорошо описывают НДС монолитного слоя.

После обработки полученных данных были получены зависимости:

$$\sigma_x = -80 + 28,45x - 0,1x^2.$$

Сумма квадратов отклонений = 0.

$$\sigma_y = -88,6 + 25,175x + 0,038x^2.$$

Сумма квадратов отклонений = 2,65057E-0028.

С учетом малых значений отклонений полученные зависимости хорошо описывают НДС монолитного слоя.

В результате сравнительного анализа данных, полученных расчетным путем и экспериментально на лабораторном стенде НПО «Хартрон» установлено, что погрешность наших расчетов не превышает допустимых пределов инженерной точности 3–5%, причем точность идет «в запас с избытком». Как видно из приведенных на рис. 3-5 графиков, численные значения максимальных напряжений (сжатия-растяжения) волокон, как и следовало ожидать, становятся большими при меньших значениях толщины монолитного слоя.

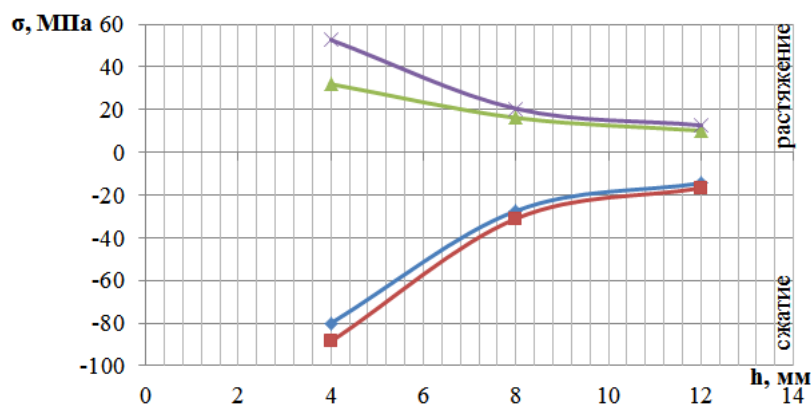
Анализ расчетных данных показывает, что σ_x и σ_y в монолитном слое достигают максимальных значений при толщине $h_0 = 4$ мм ($P_0 = 1,0$ МПа), и лежат в области предельно допустимых значений. То есть, неоспоримым фактом является то, что прочность «остекления» забрала по мере увеличения его габаритной толщины возрастает и согласно расчетам является косвенным подтверждением правомерности применения предложенного нами подхода в исследованиях. С другой стороны, отношения 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 естественно в сторону преобладания напряжений растяжения в направлении оси y , когда толщина монолитного «остекления» уменьшается. Причем, при уменьшении 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. Для напряжений сжатия все происходит наоборот. При увеличении габаритной толщины панели, положение области нахождения нейтральных волокон внутри «остекления» забрала смещаются от середины толщины монолита в противоположную сторону.

Проведенные нами исследования влияние толщины монолитного защитного блока на НДС его «остекления» позволяют прогнозировать принятие решений при его конструировании: существует объективная необходимость учитывать толщину монолитного слоя забрала с учетом требований безопасности для видов работ.

Расчетные данные, на основании которых построены рис. 3-5 в виде зависимостей максимальных напряжений от толщины монолитного блока, нами были обобщены и перестроены по реперным точкам « h » – « σ » (табл. 2) и приведены на рис. 6.

Таблица 2 - Распределения максимальных напряжений для различных толщин монолитной панели «остекления»

| h_0 , мм | 4 | 8 | 12 |
|--------------------|-------|-------|-------|
| σ_x^- , МПа | -80 | -27,4 | -14,4 |
| σ_x^+ , МПа | 32,2 | 16,2 | 10,2 |
| σ_y^- , МПа | -88,6 | -31 | -16,7 |
| σ_y^+ , МПа | 52,7 | 20,5 | 12,7 |

Рисунок 6 - Распределение максимальных напряжений по толщине панели «остекления» ($h_0 = 12$ мм), полученные расчетным путем, где:

— σ_x^- — σ_y^- — σ_x^+ — σ_y^+

После обработки полученных данных были получены зависимости:

$$\sigma_x^- = -172,2 + 28x - 1,238x^2.$$

Сумма квадратов отклонений = 5,16010E-0026.

$$\sigma_x^+ = 58,2 - 7,75x + 0,313x^2.$$

Сумма квадратов отклонений = 1,27480E-0027.

$$\sigma_y^- = -189,5 + 30,638x - 1,353x^2.$$

Сумма квадратов отклонений = 1,12902E-0025.

$$\sigma_y^+ = -10,7 + 7,8x - 0,488x^2.$$

Сумма квадратов отклонений = 2,55591E-0026.

С учетом малых значений отклонений полученные зависимости хорошо описывают распределение максимальных напряжений по толщине панели «остекления» ($h_0 = 12$ мм).

Выводы. Это позволило сделать выводы, которые имеют существенное значение для модернизации забрала каски и важны при конструирования новых панелей «остекления»:

- во-первых. Изменения напряжений в зависимости от толщины однородного слоя панели (рис. 6) носят нелинейный характер;

- во-вторых. Максимальные напряжения «сжатия» (рис. 6) распределяются следующим образом: в направлении x напряжения σ_x по абсолютным максимумам меньше значений напряжений в направлении y (σ_y), хотя при увеличении толщины монолита их численные величины, как и следовало ожидать, «сходятся» по асимптотам;

- в третьих. Определено, что более благоприятной зоной повышенной безопасности, с прочностной точки зрения, является область толщин однородной панели забрала, находящаяся в пределах от 8 до 12 мм, т.к. в этом диапазоне толщин уровень напряжений

сжатия и растяжения по обоим направлениям (x и y) во внешних наружных волокнах монолита минимален. Причем, он близок, исходя из вида полученных зависимостей, к предельному уровню. Однако заметим, что при этом весовые характеристики защитных панелей имеют естественную тенденцию в сторону увеличения;

- в четвертых. Установлено, что смещение от нейтральной средины монолита области с минимальными значениями напряжений σ_x и σ_y предопределяет необходимость разработки многослойной панели с разделением монолита на три слоя, где нейтральным (в середине) может быть прозрачный клеевой слой, который соединит наружный и внутренний в трехслойный пакет. Это позволяет варьировать в известных пределах толщинами слоев «остекления» забрала, но и обеспечить его безопасность.

В результате исследований установлено, что многослойный пакет «остекления» забрала должен количественно и качественно изменить ситуацию при замене им однородной панели «остекления» забрала. При этом в сторону улучшения должны измениться прочностные характеристики забрала (уменьшатся напряжения во внутреннем первом и наружном третьем слоях забрала), при одновременном снижении веса лицевого щитка.

Перспективы дальнейших исследований.

В результате исследований предложен комплексный подход, который позволяет оценивать безопасность применения защитной каски с забралом при разработке новых видов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беликов, А. С. Прочностные свойства защитных касок для работы на объектах стройиндустрии / А. С. Беликов, О. А. Сабитова, В. А. Голендер и др. // Строительство, материаловедение, машиностроение. Сборник научных трудов. – Днепропетровск: ГВУЗ Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры, 2013. Вып. 71, т. 2. – С. 24-28.
2. Абаимов С. Г. Статистическая физика сложных систем. От фракталов до скейлинг-поведения / С. Г. Абаимов. - Москва : URSS : Либроком, 2012. – 388 с.
3. Афанасьева И. Н. Моделирование двумерного нестационарного обтекания гибкой упругой конструкции в связанной постановке. Часть 3: верификация методики численного моделирования поведения гибкой упругой конструкции. International Journal of Computational Civil and Structural Engineering, Volume 10, Issue 3 – Москва, 2014, С. 40-48.
4. 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, p. 467-479.
5. Харисов, Г. Х., Калайдов, А. Н., Фирсов А. В. Организация и ведение аварийно-спасательных работ. Учеб. пособие. Под ред. А. И. Овсяника – М.: Академия ГПС МЧС России, 2013. – 276 с.