6. Садковой В.П., Абрамов Ю.А. Концептуальные основы построения систем автоматического пожаротушения // Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации. – Матер. межд. НПК. – Гомель: МЧС Республики Беларусь, 2006. – С.185 – 186.
7. Абрамов Ю.А., Садковой В.П. Алгоритм синтеза систем автоматического пожаротушения / Науковий вісник будівництва. – Х.: ХТУБА, 2006. – Вип.. 36. – С.199 – 202.
8. Первозванский А.А. Курс теории автоматического управления. – М.: Наука, 1986. – 616 с.
9. Красовский А.А., Поспелов Г.С. Основы автоматики и технической кибернетики. – М.: ГЭИ, 1962. – 724 с.

УДК 539.3

Светличная С.Д., канд. техн. наук, доц., УГЗУ

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТНОГО СОСТОЯНИЯ ВЗРЫВНЫХ БРОНЕКАМЕР В ФОРМЕ ПРЯМОУГОЛЬНОГО ПАРАЛЛЕЛЕПИПЕДА

(представлено д-ром техн. наук Куценко Л.Н.)

В рамках динамической теории упругости исследуется прочностное состояние упругого тела в форме прямоугольного параллелепипеда, принимаемого в качестве составляющего элемента коробчатой взрывной бронекамеры.

Постановка проблемы. В настоящее время широкое применение находят бронекамеры для проведения взрывных работ, выполненные в виде коробчатых конструкций, основными элементами которых являются пластины. В данной статье описана методика расчета нестационарных деформационных процессов, вызванных воздействиями импульсных или взрывных нагрузок, в упругом теле в виде прямоугольного параллелепипеда, который принимается как составляющий элемент взрывной бронекамеры.

В качестве определяющих уравнений используются трехмерные уравнения динамической теории упругости.

Анализ последних исследований и публикаций. Нестационарные процессы деформирования наиболее хорошо изучены в оболочках, для них получены решения многих задач. Результатов, описывающих переходные деформационные процессы на основе трехмерных уравнений теории упругости, гораздо меньше.

В настоящей работе развивается численно-аналитический подход к решению нестационарных задач теории упругости, описанный в работах [1-3].

Постановка задачи и ее решение. Рассмотрим нестационарное деформирование упругого тела, имеющего форму прямоугольного параллелепипеда. Будем предполагать, что на боковых гранях параллелепипеда $x = 0$, $x = x_0$; $y = 0$, $y = y_0$ выполняются граничные условия, соответствующие равенству нулю касательных напряжений и нормальных перемещений или нормальных напряжений и касательных перемещений. На гранях, соответствующих плоскостям $z = 0$, $z = z_0$, задаются нестационарные нагрузки, моделирующие взрывное воздействие. Материал параллелепипеда является однородным и изотропным.

Уравнения Ламе, описывающие движение точек упругой среды, при отсутствии массовых сил имеют вид [4]

$$\Delta\varphi = \frac{1}{a^2}\frac{\partial^2\varphi}{\partial t^2}, \quad \Delta\psi^{\alpha} = \frac{1}{b^2}\frac{\partial^2\psi^{\alpha}}{\partial t^2}, \quad \alpha = 1,2; \tag{1}$$

$$\bar{u} = grad\varphi + rot\,rot(\psi^1\bar{e}_z) + rot(\psi^2\bar{e}_z), \tag{2}$$

где φ, ψ^1, ψ^2 – скалярные потенциалы перемещений; $\bar{e}_z$ – орт оси Z; a, b – соответственно скорости распространения продольных и поперечных волн деформаций в упругой среде.

Решение волновых уравнений (1) можно представить в виде двойных разложений по переменным x, y

$$\varphi = \sum_{m=0}^{\infty}\sum_{k=0}^{\infty} R^1_{mk}(z,t) w_m(x) v_k(y);$$

$$\psi^1 = \sum_{m=0}^{\infty}\sum_{k=0}^{\infty} R^2_{mk}(z,t) w_m(x) v_k(y); \tag{3}$$

$$\psi^2 = \sum_{m=0}^{\infty}\sum_{k=0}^{\infty} R_{mk}^3(z,t)\frac{1}{\eta_m}\frac{dw_m(x)}{dx}\frac{1}{\nu_k}\frac{dv_k(y)}{dy},$$
$$\eta_m = m\pi / x_0, \quad \nu_k = k\pi / y_0.$$

Здесь $w_m(x), v_k(y)$ – известные функции соответствующих координат, а $R_{mk}^{\beta}(z,t)\,(\beta = 1,2,3)$ подлежат определению в дальнейшем. Разложения (3) аналогичны приведенным в работе [5].

Подставляя разложения (3) в выражения (2), получаем формулы для компонент вектора перемещения.

На боковых гранях параллелепипеда $x = 0$, $x = x_0$; $y = 0$, $y = y_0$ при выборе w_v, v_k в виде

$$w_m = \cos \eta_m x, \quad v_k = \cos \nu_k y, \tag{4}$$

выполняются граничные условия, отвечающие равенству нулю касательных компонент тензора напряжений и нормальных перемещений. При этом разложения (3) превращаются в двойные ряды Фурье по переменным x, y.

На грани параллелепипеда, соответствующие плоскостям $z = 0$, $z = z_0$, прикладываются импульсные нагрузки нормального и касательного вида, моделирующие взрывное воздействие

$$\begin{gathered}\sigma_{zx}(x,y,0,t) = 0;\ \sigma_{zx}(x,y,z_0,t) = 0;\\ \sigma_{zy}(x,y,0,t) = 0;\ \sigma_{zy}(x,y,z_0,t) = 0;\\ \sigma_z(x,y,0,t) = F(x,y,t);\ \sigma_z(x,y,z_0,t) = 0,\end{gathered} \tag{5}$$

где $F(x,y,t)$ – известная функция, определяющая изменение взрывного давления на лицевую плоскость параллелепипеда.

Систему начальных условий принимаем нулевой.

Для определения функций $R_{mk}^{\beta}(z,t)\ (\beta = 1,2,3)$, входящих в соотношения (3), волновые уравнения (1) с учетом (4) и нулевых начальных условий запишем в пространстве изображений по Лапласу, пометив изображения верхним индексом L:

$$\frac{d^2 R_{mk}^{\beta L}(z,S)}{dz^2} - \left[\eta_m + \nu_k^2 + \frac{S^2}{c_{\beta}^{\ 2}}\right] R_{mk}^{\beta L}(z,S) = 0, \tag{6}$$

$$\beta = 1{,}2{,}3;\; c_1 = a;\; c_2 = c_3 = b.$$

Уравнения (6) являются обыкновенными дифференциальными линейными однородными уравнениями 2-ого порядка. Их общие решения запишем в следующем виде:

$$R_{mk}^{\beta L}(z,S) = \frac{1}{S} A_{mk}^{\beta L}(S) \frac{e^{\frac{-z}{c_\beta}\sqrt{{c_{mk}^{\beta}}^2 + S^2}}}{\sqrt{{c_{mk}^{\beta}}^2 + S^2}} + \frac{1}{S} B_{mk}^{\beta L}(S) \frac{e^{\frac{-(z_0 - z)}{c_\beta}\sqrt{{c_{mk}^{\beta}}^2 + S^2}}}{\sqrt{{c_{mk}^{\beta}}^2 + S^2}}, \qquad (7)$$

$${c_{mk}^{\beta}}^2 = {c_\beta}^2({\eta_m}^2 + {\nu_k}^2).$$

Здесь $A_{mk}^{\beta L}(S)$, $B_{mk}^{\beta L}(S)$, – произвольные функции параметра преобразования S.

Соотношения (7) специально сконструированы таким образом, чтобы можно было на их основе получить решения в форме «бегущей волны» по переменным z, t. Основной формулой, которая используется при переходе в пространство оригиналов, является следующая [6]

$$L\left(\frac{e^{-\alpha\sqrt{S^2 + \beta^2}}}{\sqrt{S^2 + \beta^2}} \right) = H(t - \alpha) J_0(\beta\sqrt{t^2 - \alpha^2}), \qquad (8)$$

где $H(t)$ – функция Хевисайда, $J_0(t)$ – функция Бесселя нулевого порядка.

С применением формулы (8), а также основных правил операционного исчисления, в пространстве оригиналов получим такие выражения для функций, входящих в разложения (3)

$$R_{mk}^{\beta}(z,t) = H\left(t - \frac{z}{c_\beta}\right) \int_0^{t - z/c_\beta} A_{mk}^{\beta}(\tau) G\left(c_{mk}^{\beta} \sqrt{(t-\tau)^2 - \frac{z^2}{{c_\beta}^2}} \right) d\tau +$$

$$+ H\left(t - \frac{z_0 - z}{c_\beta}\right) \int_0^{t - (z_0 - z)/c_\beta} B_{mk}^{\beta}(\tau) G\left(c_{mk}^{\beta} \sqrt{(t-\tau)^2 - \frac{(z_0 - z)^2}{{c_\beta}^2}} \right) d\tau, \qquad (9)$$

где $G(t) = \int_0^t J_0(\tau) d\tau$.

Подставляем соотношения (9) с учетом разложений (3) в формулы (2) для вектора перемещения. Найдя компоненты вектора перемещения, по известным формулам получаем выражения для напряжений. Подчиняя полученные соотношения граничным условиям (5), приходим к системе интегральных уравнений Вольтерра во времени для неизвестных функций $A_{mk}^{\beta}(t)$, $B_{mk}^{\beta}(t)$ (β=1,2,3). Для решения этой системы применяется численный подход, который заключается в замене неизвестных функций аппроксимирующими функциями времени [2]

$$A_{mk}^{\beta}(t)=\sum_{p=1}^{n}A_{mk}^{\beta p}\Delta_p H;\ B_{mk}^{\beta}(t)=\sum_{p=1}^{n}B_{mk}^{\beta p}\Delta_p H; \tag{10}$$

$$\Delta_p H=H(t-t_{p-1})-H(t-t_p);\ A_{mk}^{\beta p}=const;\ B_{mk}^{\beta p}=const;\ t_p=p\Delta t,$$

где Δt - «шаг» по времени; $t<n\Delta t, n=1,2,...$

Подставляя выражения (10) в упомянутые интегральные уравнения, приходим к рекуррентной по индексу n системе алгебраических уравнений для нахождения величин $A_{mk}^{\beta n}$, $B_{mk}^{\beta n}$ (β = 0,1,2, n = 1,2,...). Преобразовывая с учетом аппроксимаций (10) формулы, найденные для коэффициентов разложений перемещений и напряжений, получаем удобные для численной реализации соотношения.

Выводы. Предложенная методика расчета прочностных характеристик упругого тела в форме прямоугольного параллелепипеда, подверженного воздействию импульсных или взрывных нагрузок, может быть использована в качестве предпроектных исследований при конструировании взрывных бронекамер коробчатого типа, предназначенных для проведения работ с взрывчатыми веществами. Эта методика обеспечивает точное удовлетворение системам определяющих уравнений, граничных и начальных условий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гузь А.Н., Кубенко В.Д., Бабаев А.Э. Гидроупругость систем оболочек.–К.: Вища школа, 1984.–208 с.
2. Янютин Е.Г. Импульсное деформирование упругих элементов конструкций.–К.: Наук. думка, 1993.–147 с.

3. Янютин Е.Г., Янчевский И.В. Импульсные воздействия на упруго деформируемые элементы конструкций.–Харьков: ХГАДТУ (ХАДИ), 2001.–184 с.
4. Поручиков В.Б. Методы динамической теории упругости.– М.: Наука, 1986.–328 с.
5. Фридман Л.И. Динамическая задача теории упругости для тел канонической формы. //Прикл. механика.–1987.–т.23, №12.–С. 102–108.
6. Диткин В.А., Прудников А.П. Справочник по операционному исчислению.–М.: Высш. шк., 1965.–467 с.

УДК 351.861

Соболь О.М., канд. техн. наук, докторант, УЦЗУ

РАЦІОНАЛЬНЕ РОЗБИТТЯ МІСТА НА РАЙОНИ ЕФЕКТИВНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ СТАНЦІЙ ШВИДКОЇ ДОПОМОГИ

(представлено д-ром техн. наук Комяк В.М.)

В роботі наведено моделювання раціонального розбиття міста на райони ефективного функціонування станцій швидкої допомоги з урахуванням обмежень щодо існуючої сітки доріг, рельєфу місцевості та розподілу щільності населення по районах міста.

Постановка проблеми. Захист населення, об’єктів економіки, національного надбання від згубного впливу надзвичайних ситуацій техногенного, природного або іншого характеру є основною складовою функціонування Єдиної державної системи цивільного захисту населення і територій (ЄСЦЗ). Але на теперішній час актуальною є проблема зменшення кількості постраждалих та загиблих внаслідок надзвичайних ситуацій різного характеру. Так, аналіз Національних доповідей про стан техногенної та природної безпеки України за останні чотири роки свідчить про те, що кількість загиблих та постраждалих людей внаслідок виникнення тієї чи іншої надзвичайної ситуації достатньо висока. Якщо розглянути таку надзвичайну подію як пожежа, то середня кількість загиблих за рік на 100 пожеж в Україні перевищує середній світовий показник майже в 6 разів [1,2]. Тому для вирішення вищезазначеної проблеми необхідне розв’язання цілого ряду задач, серед