Таким образом, для исследования амплитудно-частотного действия сейсмовзрывной волны на процесс колебания основы охраняемого объекта было проведено численное моделирование взаимодействия упругой волны с прямоугольным твердым телом. Были исследованы особенности колебаний основы в зависимости от массы заряда, типа ВВ и характеристик гранта. Продолжением данной работы может бать исследование колебательного процесса системы «грунт – основание объекта» для различных типов грунтов и внедрение результатов для определения сейсмобезопасных параметров ведения взрывных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1 **Рилько, М. А.** О движении в упругой среде жесткого прямоугольного тела под действием плоской волны / М. А. Рилько // Механика твердого тела. – 1977 – № 1. – С 158–164.

2 **Денисюк И. И.** Управление сейсмовзрывным импульсом при строительстве в структурно-неустойчивых грунтах / И. И. Денисюк, В. И. Рогожникова; под ред. А. А. Вовка, А.Г. Смирнова // Применение энергии взрыва на земляных работах. – 1979. – С. 195–202.

3 **Лучко, И. А.**, Волны в неводонасыщенных грунтах при взрывах цилиндрических зарядов взрывчатых веществ различных типов / И.А. Лучко, Н.С. Ремез. Ин-т гидромеханики АН Укравины. – Киев, 1991. – 15 с. – Рус. – Деп.. в УкрНИИНТИ 11.11.1991. – № 1436 – Ук 91.

4 **Бойко, В. В.** Оценка сейсмобезопасности сооружений при воздействии на них взрывных волн с учетом их спектральных характеристик / В. В.Бойко, А. А. Кузьменко, Т.В. Хлевнюк. // Вісник Національного технічного університету України НТУУ "КПІ", Сер. Гірництво. – 2008. – № 16. – С. 3–13.

УДК 539.3

ЦИКЛИЧЕСКОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ ТРЕХСЛОЙНОГО СТЕРЖНЯ ПРИ НЕЙТРОННОМ ОБЛУЧЕНИИ

Д. М. САВИЦКИЙ

Московский государственный университет управления, Российская Федерация

Радиационное облучение твердых тел сопровождается возникновением дополнительной объемной деформации θ_I, изменением упругих и пластических характеристик материала.

Рассмотрим однородное изотропное тело, занимающее полупространство $z \geq 0$. Если на границу ($z = 0$) параллельно оси z падают нейтроны с одинаковой средней энергией и интенсивностью $\varphi_0 =$ = const, нейтрон/(м^{2}с), то интенсивность потока нейтронов, доходящих до плоскости z = const, будет $\phi(z) = \phi_0 e^{-\mu z}$. Величина μ называется макроскопическим эффективным сечением и имеет порядок 1/м. К моменту времени t через сечение z пройдет поток:

$$I(z) = \phi_0 t e^{-\mu z}. \tag{1}$$

Приближенно можно считать, что изменение объема материала прямо пропорционально потоку $I(z)$ и, следовательно, $\theta_I = BI(z)$, где B – опытная константа, которая в зависимости от энергии нейтронов и облучаемого материала может быть порядка 10^{-28}–10^{-24} м^2/нейтрон. Величина $I_0 = \varphi_0 t$ дает суммарный поток нейтронов на единицу площади поверхности тела. В реакторах φ_0 имеет порядок 10^{17}–10^{18} нейтрон/(м^{2}с), I_0 – 10^{23}–10^{27} нейтрон/(м^2), θ_I до 0,1.

На поверхности тела ($z = 0$) влияние радиации на предел текучести σ_y вполне удовлетворительно описывается формулой радиационного упрочнения:

$$\sigma_y = \sigma_{y0}\left[1 + A\left(1 - \exp(-\xi I_0)\right)^{1/2}\right], \tag{2}$$

где σ_{y0} – предел пластичности необлученного материала; A, ξ – константы материала.

На глубине z эта формула принимает вид

$$\sigma_y = \sigma_{y0}\left[1 + A\left(1 - \exp(-\xi I)\right)^{1/2}\right].$$

Рассмотрим в рамках теории малых упругопластических деформаций процесс комплексного воздействия на деформируемое тело внешних силовых и радиационных нагрузок. Пусть в начальный момент времени на тело, находящееся в естественном состоянии мгновенно воздействуют внешние силы F_i', R_i' при граничном перемещении u_{i0}' и одновременно нейтронный поток величиной $I_0 = \varphi t$. Предполагается, что в теле появляются области упругих и пластических деформаций. Изменением модулей упругости пренебрегаем. Возникающие в теле напряжения, деформации и перемещения помечаем одним штрихом вверху. Тогда, в упругопластическом деформируемом теле связь между напряжениями и деформациями при нагружении из естественного состояния в нейтронном потоке представима в виде

$$s'_{ij} = 2G\text{э}'_{ij} f'\left(\varepsilon'_u, I, a'_k\right),\ \sigma' = K(3\varepsilon' - BI), \tag{3}$$

где s'_{ij}, $\text{э}'_{ij}$ – девиаторы, σ', ε' – шаровые части тензоров напряжений и деформаций; G – модуль сдвига; K – модуль объемного деформирования; универсальная функция пластичности $f'\left(\varepsilon'_u, I, a'_k\right) = 1$ при $\varepsilon_u' \le \varepsilon_y'$, ε_y' – предел текучести по деформациям в начальный момент времени; a_k' аппроксимационные параметры; BI – дополнительное объемное деформирование за счет нейтронного облучения.

Пусть, начиная со времени $t = t_1$, воздействие нейтронного потока прекращается ($\varphi = 0$), а внешние силы изменяются так, что во всех точках пластически деформируемых областей тела V_p' происходит разгрузка и последующее знакопеременное нагружение объемными F_i'' и поверхностными силами R_i'' (на S_σ) при граничном перемещением u_{i0}'' (на S_u). Уровень облучения тела остается постоянным и равным его значению перед разгрузкой $I_1 = \varphi t_1$. Предел пластичности в точках тела зависит от координаты z и становится равным $\sigma_y''(I_1(z))$. Обозначим соответствующие напряжения, деформации и перемещения через σ_{ij}'', ε_{ij}'', u_i''. Для них физические уравнения состояния запишем следующим образом

$$s''_{ij} = 2G\text{э}''_{ij}\ f''\left(\varepsilon''_u, \varepsilon'_1, I_1, a''_k\right),\ \sigma'' = 3K\varepsilon''. \tag{4}$$

Здесь $f''\left(\varepsilon''_u, \varepsilon'_1, I_1, a''_k\right)$ – функция пластичности при повторном знакопеременном нагружении, причем $f'' = 1$ при $\varepsilon_u'' \le \varepsilon_y''$, ε_y'' – деформационный предел текучести при повторном нагружении.

Сложность краевой задачи для величин с двумя штрихами заключается в зависимости искомого решения от точки разгрузки (ε_1', σ_1'), поэтому, следуя Москвитину, введем разности для момента времени $t > t_1$:

$$s^*_{ij} = s'_{ij} - s''_{ij},\ \text{э}^*_{ij} = \text{э}'_{ij} - \text{э}''_{ij}. \tag{5}$$

Для величин со звездочками примем уравнения состояния

$$s^*_{ij} = 2G\text{э}^*_{ij}\ f^*(\varepsilon^*_u, \varepsilon'_1, I_1, a^*_k),\ \sigma^* = 3K\varepsilon^*, \tag{6}$$

где $f^*(\varepsilon^*_u, \varepsilon'_1, I_1, a^*_k)$ – новая универсальная функция, описывающая нелинейность диаграммы деформирования в осях $\sigma^* \sim \varepsilon^*$, на линейном участке следует положить $f^* = 1$.

Уравнения равновесия, граничные условия и соотношения Коши для величин σ_{ij}^*, ε_{ij}^*, u_i^* будут типа (4). Принятые соотношения для величин со звездочками образуют новую краевую задачу. Если теперь предположить, что функцию f^* в любой точке кривой деформирования можно приблизить функцией f', т. е. описать таким же аналитическим выражением только с другими параметрами a^*_k, то мы уйдем от зависимости f^* от ε_1':

$$f^* = f'\left(\varepsilon^*_u, I_1, a^*_k\right).$$

Сравнивая соотношения (3) для тела при нагружении из естественного состояния и соотношения для величин со звездочками (6) отмечаем, что они совпадают с точностью до обозначений. Поэтому, решение задачи для величин со звездочками можно получить из известного решения задачи, соответствующей нагружению из естественного состояния, путем некоторых замен. Например, если известно перемещение $u_i' = u_i'(x, \varepsilon_u', \varepsilon_y', I, a_k')$, то соответствующее перемещение $u_i^{*} = u_i'(x, \varepsilon_u^{*}, \varepsilon_y^{*}, I_1, a_k^{*})$, а искомое перемещение при повторном знакопеременном нагружении определяется из соотношения (5): $u_i'' = u_i' - u_i^{*}$.

УДК 620.192.32

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВОВ КОМПОЗИТОВ ДЛЯ АНТИКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Л. В. САМУСЕВА, А. С. НЕВЕРОВ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Большинство применяемых в промышленной индустрии металлов в той или иной мере подвержены разрушению под действием агрессивных факторов внешней среды. В ряде случаев, когда покрытия (металлические, лакокрасочные, полимерные) оказываются недостаточно эффективными для защиты строительных изделий и конструкций, целесообразно применение ингибиторов (замедлителей) коррозии.

Исследуемые в данной работе ингибированные полимерные пленки и волокна представляют собой трехкомпонентную систему. В состав такой системы входит полиэтилен низкого давления, антикоррозионная добавка (карбамид), и низкомолекулярная жидкость (пластификатор) – носитель ингибитора. Нахождение оптимального состава тройной системы полиэтилен – карбамид – минеральное масло представляет собой самостоятельную задачу, связанную с достаточно большим объемом экспериментальных исследований. Это определило выбор метода симплекс – решетчатого планирования для нахождения искомых зависимостей, позволяющих существенно сократить число экспериментов, оптимизируя при этом исследуемый материал по всем важнейшим эксплуатационным показателям. Таковыми для исследуемого материала являются прочностные характеристики при испытаниях на разрыв и сжатие, формуемость и относительное удлинение, в значительной мере определяющие перспективы его использования в качестве антикоррозионного материала. Для определения зависимости физико-механических характеристик от состава было использовано уравнение полинома 4-й степени Шефе, позволяющее решить задачу построения для многокомпонентных систем математической модели состав-свойство.

В данном случае под формуемостью будем понимать способность исследуемых составов при нагревании растекаться, заполняя зазоры формы, и при последующем охлаждении изделия, образовывать сплошной бездефектный барьер, обладающий удовлетворительными физико-механическими характеристиками. Для каждой исследуемой системы полиэтилен – карбамид – минеральное масло подготавливалось 15 составов, отвечающих определенным точкам на треугольнике (симплексе) составов, лежащих в узлах соответствующей симплексной решетки. Изготавливалось по 10 образцов каждого из составов, и оценивалась в баллах их формуемость, прочность и твердость. Средние величины этих показателей обрабатывались на компьютере по специально разработанной программе с выводом графической информации в виде треугольных диаграмм с нанесенными на них изолиниями постоянного значения свойства. Результаты исследования формуемости композиций на основе полиэтилена приведены на рисунке 1. Анализ диаграмм позволяет определить, что для обеспечения хорошей формуемости образцы состава полиэтилен – карбамид – минеральное масло должны содержать не более 15 % карбамида и не более 50 % минерального масла.

Аналогичные диаграммы были построены для зависимости от состава образцов прочности на разрыв и твердости. Анализ диаграмм показал, что наибольшей прочностью обладают составы с содержанием полиэтилена 70 %, карбамида 30 %, минерального масла 0 %, которые не очень удовлетворительны в антикоррозионном отношении, поскольку не содержат транспортирующего ингибитор агента – минеральное масло. Поэтому необходимо подобрать состав, обладающий удовлетворительными физико-механическими характеристиками и содержащий минеральное масло в количествах, достаточных для транспортирования ингибитора. Этому условию удовлетворяют составы, прочность