

запаху при варке вяжущего.

3. В результате анализа проведенных исследований предложено научную гипотезу по нейтрализации водорастворимых примесей P_2O_5 и F с использованием комплексной добавки, состоящей из карбоната кальция и активного кремнезема.

4. Использование комплексной добавки повышает прочность гипсового вяжущего до марки ГВФ-4, значительно снижает количество водорастворимых примесей фосфора и фтора, что позволяет использовать его в гражданском строительстве. В процессе тепловой обработки практически отсутствует неприятный запах.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. **Большаков В. И.** Строительное материаловедение / В. И. Большаков, Л. Й. Дворкин. – Д. : РВА, Днепр-VAL., 2004. – 678 с.
2. **Бут В. М.** Практикум по химической технологии вяжущих материалов: учеб. пособие для химико-технолог. Спец. вузов / Бут В. М., Тимашев В. В. – М., Высшая школа, 1973. – 504 с.
3. **Бутт Ю. М.** Дегидратация. Химическая технология вяжущих материалов / Ю. М. Бутт, М. М. Сычев, В. В. Тимашев. – М. : Высшая школа, 1980. – 472 с.
4. **Волженский А. В.** Гипсовые вяжущие и изделия / А. В. Волженский, А. В. Федоровская. – М. : Стройиздат., 1974. – 328 с.
5. **Волженский А. В.** Минеральные вяжущие вещества / А. В. Волженский. 4-е изд. – М. : Стройиздат 1986. – 464 с.
6. **Гордашевский П. Ф.** Производство гипсовых вяжущих материалов из гипсосодержащих отходов / П. Ф. Гордашевский, Ф. В. Долгорев. – М. : Стройиздат, 1987. – 104 с.
7. **Горшков В. С.** Методы физико-механического анализа вяжущих веществ / В. С. Горшков, В. В. Тимашев, В. Г. Савельев. М. : Высшая школа. 1981 – 334 с.
8. **Деревянко В. Н.** Нейтрализация вредных примесей в фосфогипсе / В. Н. Деревянко, В. А. Тельянов, А. А. Дрозд, А. Г. Чумак // Вестник Одесской госуд. акад. строит. и архитект. – Одесса, 2010. – № 39. Ч. 1. – С. 130 – 134.
9. **Кривенко П. В.** Будівельне матеріалознавство / П. В. Кривенко, К. К. Пушкарєва. К. : ТОВ УВПК «Екс об». – 2004. – 704 с.
10. Мала гірнича енциклопедія: в 3 т. / за ред. В. С. Білецького – Донецьк : Донбас, 2004.
11. **Миркин Л. И.** Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов / Л. И. Миркин. – М. : ГСФМЛ 1961. – 862 с.
12. **Пашенко А. А.** В'язучі матеріали / А. А. Пашенко, В. П. Сербин, Е. А. Старчевская. – К. : Вища школа 1985. – 440 с.
13. **Шуман В.** Горные породы и минералы / В. Шуман. – М. : Мир, 1986. – 215 с.
14. **Murat M.**, Cinétique d'hydratation des sulfates de calcium sémihydratés. Essai d'interprétation des courbes / M. Murat, E. Karmazsin, «Vitesse – degré d'avancement». In: Compterendu du Colloque International de la R.I.L.E.M. 25 – 27 mai 1977, Saint-Remy-Les-Chevreuse, France, pp. 217 – 236.

УДК 539.3

К ИТЕРАЦИОННОЙ ТЕОРИИ СЛОИСТЫХ ПОЛОГИХ ОБОЛОЧЕК

А. В. Плеханов, д. т. н., проф.

Ключевые слова: пологая оболочка, итерационная теория, уравнения

Анализ исследований. В работе [1], с использованием для реализации вариационного уравнения Рейсснера метод варьирования по определяемому состоянию, получены двумерные уравнения итерационной теории слоистых пологих оболочек. Как показали исследования [3], сходимость решений на основе этих уравнений ухудшается при существенном различии упругих характеристик слоев. Сходимость может быть улучшена путем привлечения для первого приближения итерационной теории более общей модели.

Цель работы. В данной работе получены уравнения уточненной геометрически линейной итерационной теории трансверсально изотропных слоистых пологих оболочек, учитывающие в

первом приближении неравномерность деформаций поперечного сдвига, обусловленную различием упругих характеристик слоев.

Постановка задачи. Основные уравнения и зависимости. Рассмотрим, как и в [1], многослойную пологую оболочку постоянной толщины h , составленную из произвольного числа m упругих трансверсально изотропных слоев толщиной t_k ($k = 1, 2, \dots, m$ – номер слоя, отсчитываемый от нижнего слоя оболочки к верхнему). Координатную поверхность $x_3 = 0$, расположенную на расстоянии h_1 от нижней лицевой поверхности оболочки, отнесем к ортогональной криволинейной системе координат x_1, x_2 , причем координатные линии $x_1 = const$ и $x_2 = const$ совпадают с линиями главных кривизн этой поверхности.

При построении уточненной теории воспользуемся методом разложения компонент напряжения и перемещения в ряды по толщинной координате x_3 . Выражения для перемещений k -го слоя оболочки в первом приближении ($i = 0, 1$) представим так

$$\begin{aligned} u_1^k &= u_1^0(x_1, x_2) - x_3 A_1^{-1} u_{3,1}^1 + \gamma^k(x_3) u_1^1(x_1, x_2) (1 \nleftrightarrow 2); \\ u_3^k &= u_3^1(x_1, x_2), \end{aligned} \quad (1)$$

где u_1^0, u_2^0 – тангенциальные перемещения координатной поверхности оболочки $x_3 = 0$, $z^k(x_3) = \epsilon_1^k + \epsilon_2^k x_3$.

Коэффициенты β_1^k и β_2^k определяются из условий контакта смежных слоев для тангенциальных перемещений и поперечных касательных напряжений. Выражения для напряжений y_1^k, y_2^k и y_{12}^k первого приближения определяются в соответствии с законом Гука. Аппроксимирующие функции для напряжений $y_3^k, y_{13}^k, y_{23}^k$ в первом приближении и для всех перемещений и напряжений последующих (самоуравновешенных) напряженных состояний приняты такими же, как и в [1; 2].

Таким образом, функции, аппроксимирующие перемещения и напряжения слоистой полой оболочки, представляются так

$$\begin{aligned} u_1^k &= u_1^0(x_1, x_2) - x_3 A_1^{-1} u_{3,1}^1 + \gamma^k(x_3) u_1^1(x_1, x_2) + \sum_{i=2}^{\infty} f_i(x_3) u_1^i(x_1, x_2) (1 \nleftrightarrow 2); \\ u_3^k &= \sum_{i=1}^{\infty} f_{i,3}(x_3) u_3^i(x_1, x_2); \\ \sigma_1^k &= E_0^k [A_1^{-1} u_{1,1}^0 + \nu_k A_2^{-1} u_{2,2}^0 - x_3 (A_1^{-2} u_{1,11}^1 + \nu_k A_2^{-2} u_{1,22}^1) + \gamma^k(x_3) (A_1^{-1} u_{1,11}^1 + \nu_k A_2^{-1} u_{2,2}^1) \\ &\quad - k_1 u_3^1 - \nu_k k_2 u_3^1 - \nu_{3k} (1 + \nu_k) (E_3^k)^{-1} (0,5p + a_1^k(x_3) \omega^1)] + \\ &\quad E_0^k D_1^{-1} \sum_{i=2}^{\infty} f_i(x_3) M_1^i(x_1, x_2) (1 \nleftrightarrow 2); \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{12}^k &= 0,5 E_0^k (1 - \nu_k) [A_2^{-1} u_{1,2}^0 + A_1^{-1} u_{2,1}^0 + x_3 (A_2^{-1} u_{1,2}^1 + A_1^{-1} u_{2,1}^1) + \gamma^k(x_3) (A_2^{-1} u_{1,2}^1 + A_1^{-1} u_{2,1}^1)] \\ &\quad + E_0^k D_1^{-1} \sum_{i=2}^{\infty} f_i(x_3) M_{12}^i(x_1, x_2); \\ \sigma_{13}^k &= \sum_{i=1}^{\infty} a_{i,3}^k(x_3) Q_1^i(x_1, x_2) (1 \nleftrightarrow 2); \\ \sigma_3^k &= -0,5p(x_1, x_2) - \sum_{i=1}^{\infty} a_i^k(x_3) \omega^i(x_1, x_2) (\omega^1 = -q(x_1, x_2)). \end{aligned}$$

Принятые здесь обозначения соответствуют [1,2].

Для получения уравнений равновесия, граничных условий и соотношений упругости воспользуемся вариационным принципом Рейсснера в сочетании с методом варьирования по определяемому состоянию. В соответствии с этим методом для получения уравнений первого приближения функционал Рейсснера будем варьировать по перемещениям и напряжениям первого (несамоуравновешенного) состояния, а для получения уравнений, описывающих последующие (самоуравновешенные) состояния будем варьировать только компоненты того состояния, которое определяется, считая все предыдущие состояния известными. В этом случае порядок уравнений для каждого напряженного состояния не будет зависеть от количества

удерживаемых членов разложений, тем самым устраняется существенный недостаток метода разложения – повышение порядка уравнений с увеличением количества удерживаемых членов разложений. Уравнения, полученные на основе метода варьирования по определяемому состоянию, будем называть несвязанными. Как показали исследования [3], несвязанные уравнения являются эффективным приближением системы связанных уравнений при том же количестве членов разложений, аппроксимирующих перемещения и напряжения.

Полученные на основе метода варьирования по определяемому состоянию уравнения равновесия имеют вид:

первое (несамоуравновешенное) напряженное состояние ($i = 0, 1$)

$$\begin{aligned} A_1^{-1}N_{1,1} + A_2^{-1}N_{12,2}^2 &= 0 \quad (1 \leftrightarrow 2); \\ A_1^{-1}M_{1,1}^* + A_2^{-1}M_{12,2}^* - L_{3811}Q_1^1 &= 0 \quad (1 \leftrightarrow 2); \\ A_1^{-2}M_{1,11}^1 + A_2^{-2}M_{2,22}^1 + 2A_1^{-1}A_2^{-1}M_{12,12}^1 + k_1N_1 + k_2N_2 &= -q, \end{aligned} \quad (3)$$

j -е ($j \geq 2$) самоуравновешенное напряженное состояние

$$\begin{aligned} L_{1jj}(A_1^{-1}M_{1,1}^j + A_2^{-1}M_{12,1}^j) - L_{3jj}Q_1^j &= \sum_{i=1}^{j-1} L_{3ij}Q_1^i - A_1^{-1}M_{1,1}^{j*} - A_2^{-1}M_{12,1}^{j*} (1 \leftrightarrow 2); \\ L_{3jj}(A_1^{-1}Q_{1,1}^j + A_2^{-1}Q_{2,2}^j) + L_{2jj}\omega^j &= -k_1N_1^j - k_2N_2^j - 0,5L_{20j}p - \sum_{i=2}^{j-2} L_{13ij}(k_1M_1^i + \\ & k_2M_2^i) - 0,5(F1jq - F2jp) - i=1j-1[L3jj(A1-1Q1,1i + A2-1Q2,2i) + L2ij\omega^j]. \end{aligned}$$

Уравнения (3) и (4) позволяют определять в различных приближениях все виды напряженных состояний многослойной трансверсально изотропной оболочки. При этом уравнения (3), в отличие от соответствующих уравнений в [1], описывают в первом приближении не только внутреннее напряженное состояние и вихревой погранслой, но и потенциальный погранслой. Уравнения (4) уточняют внутреннее напряженное состояние и погранслой. Порядок уравнений не зависит от числа слоев и количества удерживаемых членов разложений. При этом функции предыдущих состояний входят в качестве известных в уравнения для последующих состояний, выполняя в них роль нагрузочных членов.

Оценка точности решений. Выводы. Для оценки точности решений на основе полученных уравнений была рассмотрена задача об изгибе по цилиндрической поверхности свободно опертой по краям $x_1 = 0, a_1$ трехслойной пластины симметричного по толщине строения под действием поперечной нагрузки $q = q_0 \sin p x_1 a_1^{-1}$. Результаты решения (значения нормальных напряжений y_1 в крайних точках наружного слоя и перемещений u_3 срединной плоскости) для пластин с изотропными слоями ($\nu_1 = \nu_2 = \nu_3 = 0,3$) в первом приближении ($i = 1$) и результаты точного решения при $t_2/t_1 = 5$ и различных значениях параметров a_1/h и $E^{(1)}/E^{(2)}$ ($E^{(1)}, E^{(2)}$ – модули упругости наружного и внутреннего слоев) представлены в таблице.

Как видно из таблицы, результаты первого приближения находятся в хорошем соответствии с результатами точного решения даже для сравнительно толстых пластин и больших значений параметра $E^{(1)}/E^{(2)}$. Это свидетельствует о том, что при определении внутреннего напряженного состояния существенно неоднородных по толщине слоистых пластин можно ограничиться первым приближением уточненной итерационной теории.

Таблица

Значения напряжений и перемещений

$\frac{a_1}{h}$	$\frac{E^{(1)}}{E^{(2)}}$	σ_1/q_0			$u_3 E^{(1)}/q_0 a_1$		
		Точное решение	Первое приближение	Д %	Точное решение	Первое приближение	Д %
3	10	9,934	9,781	-1,5	11,98	12,04	0,5
	10^2	24,75	24,48	-1,1	69,71	70,76	1,5
	10^3	83,62	83,26	-0,4	304,4	311,5	2,3
	10^4	126,3	126,3	0,1	474,3	487,7	2,8
5	10	24,40	24,27	-0,5	33,53	33,50	-0,1
	10^2	41,27	41,10	-0,4	141,0	141,6	0,4
	10^3	144,6	144,3	-0,2	839,9	845,7	0,7
	10^4	317,1	317,0	0	2007,0	2026,0	1,0

Уравнения для последующих напряженных состояний следует использовать, главным образом, для уточнения вихревого и потенциального погранслоев.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Плеханов А. В. О построении уточненной теории пологих трансверсально изотропных слоистых оболочек // Статика сооружений. – К. : КИСИ. – 1978. – С. 106 – 109.
2. Плеханов А. В. О построении уточненной теории многослойных пластин // Исследования по теории сооружений. – 1977. – Вып. 23. – С. 111 – 119.
3. Плеханов А. В. Исследование сходимости и точности решений на основе итерационной теории слоистых оболочек и пластин // Вісник Придніпр. держ. акад. будівницт. та архітект. – Д., 2009. – № 3.– С. 21 – 26.

УДК 621.879.328

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ РОЗБИРАННЯ ТА ПЕРЕМІЩЕННЯ УЛАМКІВ ЗРУЙНОВАНИХ БУДІВЕЛЬ

С. В. Шатов, к. т. н., доц.

Ключові слова: стихійні лиха, техногенні аварії, зруйновані будівлі, уламки, технологічне обладнання навантажувачів

Актуальність проблеми. Стихійні лиха та техногенні катастрофи, аварії призводять до пошкодження або руйнування будівель і споруд та транспортних мереж. Під уламками зруйнованих об'єктів можуть знаходитися потерпілі. Розбирання завалів шляхом вилучення та переміщення уламків виконується машинами та механізмами, які не відповідають вимогам цих робіт, що зумовлює їх виконання за недосконалими технологічними схемами, а це збільшує терміни та трудомісткість їх ведення. Тому потрібне удосконалення технологічних операцій розбирання завалів та переміщення уламків зруйнованих будівель та споруд із використанням нових типів робочого обладнання машин.

Аналіз публікацій. Проявами техногенних катастроф та аварій є вибухи газу, пожежі. Руйнування споруд та будівель залежно від джерела аварії, їх потужності, часу дії та інших основних і другорядних чинників, має імовірнісний характер [1 – 3; 9]. У той же час є визначені окремі закономірності їх руйнування [8]. Знання цих закономірностей дозволяє обґрунтовано та за короткий термін спланувати, організувати та виконати роботи з розбирання завалів.



Рис. 1. Використання однокішшового навантажувача для розбирання завалу (м. Дніпропетровськ)