



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Российская академия архитектуры и строительных наук

НП СРО «Безопасность в промышленности»,

ООО «Строительное проектирование»

Тульский государственный университет

Кафедра «Строительство, строительные материалы
и конструкции»

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ

**XVI Международной
научно-технической конференции
«Актуальные проблемы строительства,
строительной индустрии и промышленности»
(30 июня-3 июля 2015 г.)**



**ТУЛА
2015**

В настоящем сборнике опубликованы материалы, представленные участниками XVI Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы строительства, строительной индустрии и промышленности» (Тульский государственный университет, 30 июня – 3 июля 2015 года, г. Тула).

Тезисы докладов соответствуют авторским оригинал макетам, поступившим в оргкомитет конференции.

ТЕМАТИЧЕСКИЕ СЕКЦИИ КОНФЕРЕНЦИИ

Механика материалов и строительных конструкций, проектирование зданий и сооружений.

Технология и экологические проблемы строительных материалов.

Эксплуатация, обследование и усиление строительных конструкций.

Промышленная безопасность зданий, сооружений и оборудования.

ОРГКОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Председатель:

Грязев М.В. – д.т.н., проф., ректор ТулГУ

Зам. председателя:

Трещёв А.А. – советник РААСН, д.т.н., проф., зав. каф. ТулГУ

Члены оргкомитета:

Моисеев В.А. – президент НП СРО ОПТО,

Захарова И.А. – к.ф.-м.н., доц. ТулГУ,

Теличко В.Г. – к.т.н., доц. ТулГУ,

Теличко Г.Н. – к.т.н., проф. ТулГУ

Секретариат – Фомичёва А.А., ст. лаборант ТулГУ

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Сопредседатели:

Карпенко Н.И. – действительный член РААСН, д.т.н., проф. (РААСН);

Петров В.В. – действительный член РААСН, д.т.н., проф. (СГТУ);

Мионов В.А. – почётный член РААСН, д.т.н., проф., ТверьГТУ (г. Тверь)

Члены программного комитета:

Белов В.В. – советник РААСН, д.т.н., проф., ТвГТУ (г. Тверь);

Зубчанинов В.Г. – д.т.н., проф., ТвГТУ (г. Тверь);

Калашников В.И. – советник РААСН, д.т.н., проф., ПГУАС (г. Пенза);

Малинин В.Г. – д.ф.-м.н., проф., Госуниверситет УНПК (г. Орёл);

Овчинников И.Г. – действительный член АТ, д.т.н., проф. (СГТУ);

Трещёв А.А. – советник РААСН, д.т.н., проф., ТулГУ (г. Тула).



Ministry of Education and Science of the Russian Federation

Russian Academy of Architecture and Construction Sciences

NP SRO "Bezopasnost v promishlennosti"

ООО "Stroitelnoe proektirovanie"

Tula State University

Department of engineering, engineering materials
and constructions

INFORMATION PACKAGE

**XVI International
scientific and technical conference
«Contemporary issues of engineering
and building industry»
(June 30 – July 3, 2015)**



**TULA
2015**

This package consists of articles submitted by participants of XVI International scientific and technical conference «Contemporary issues of engineering and building industry» (Tula State University, June 30 – July 3, 2015, Tula).

Theses of reports match with original drafts that were submitted to organizing committee.

CONFERENCE SESSIONS

Mechanics of materials and engineering structures, structural design.

Technology and ecological issues of constructional materials.

Operation, structural survey and reinforcement of engineering structures.

Industrial safety of buildings, structures and equipment

ORGANIZING COMMITTEE

Convener:

Gryazev M.V. – Doctor of Engineering, professor, president of TSU;

Deputy convener:

Treschev A.A. – advisor of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Doctor of Engineering, professor, head of the department, TSU;

Members of the committee:

Moiseev V.A. – president of NP SRO OPTO;

Zaharova I.A. – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, docent, TSU;

Telichko V.G. – Candidate in Engineering Sciences, docent, TSU;

Telichko G.N. – Candidate in Engineering Sciences, professor, TSU;

Secretary – Fomicheva A.A., senior departmental assistant, TSU.

PROGRAM COMMITTEE

Co-conveners:

Karpenko N.I. – active member of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Doctor of Engineering, professor (RAACS);

Petrov V.V. – active member of RAACS, Doctor of Engineering, professor, (Saratov State Technical University);

Mironov V.A. – honorary member of RAACS, Doctor of Engineering, professor, Tver State Technical University (Tver).

Members of program committee:

Belov V.V. – advisor of RAACS, Doctor of Engineering, professor, Tver State Technical University (Tver);

Zubchaninov V.G. – Doctor of Engineering, professor, Tver State Technical University (Tver);

Kalashnikov V.I. – advisor of RAACS, Doctor of Engineering, professor, Penza State University of Architecture and Engineering (Penza);

Malinin V.G. – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, professor, State University ESPC (Orel);

Ovchinnikov I.G. – active member of AT, Doctor of Engineering, professor (Saratov State Technical University);

Treschev A.A. – advisor of RAACS, Doctor of Engineering, professor, TSU.

УСТОЙЧИВОСТЬ ГИБКИХ ЛИНЕЙНО УПРУГИХ ПОЛОГИХ АРОК

Адылов А.М., Кривошеин И.В.

СГТУ, г. Саратов, Россия

Исследуем устойчивость статически неопределимых пологих арок, используя аналогии с расчетом цилиндрических панелей по теории В.З. Власова. Система нелинейных разрешающих уравнений в перемещениях имеет вид

$$\left\{ \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} - k_x \frac{\partial W}{\partial x} + \frac{\partial^2 W \partial W}{\partial x^2} \right\} I_1 + \left[\frac{\partial U}{\partial x} - k_x W + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial W}{\partial x} \right)^2 \right] \frac{\partial I_1}{\partial x} = 0,$$

$$\left\{ -\frac{\partial^4 W}{\partial x^4} I_3 - 2 \frac{\partial^3 W}{\partial x^3} \frac{\partial I_3}{\partial x} - \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \frac{\partial^2 I_3}{\partial x^2} \right\} + \left[\frac{\partial U}{\partial x} - k_x W + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial W}{\partial x} \right)^2 \right] \left(k_x + \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \right) I_1 + \frac{\partial W}{\partial x} \left\{ \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} - k_x \frac{\partial W}{\partial x} + \frac{\partial^2 W \partial W}{\partial x^2} \right\} I_1 + \left[\frac{\partial U}{\partial x} - k_x W + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial W}{\partial x} \right)^2 \right] \frac{\partial I_1}{\partial x} = -q, \quad (1)$$

где жесткости записываются в виде $I_1(x) = Ebh(x)$, $I_3(x) = Ebh(x)^3 / 12$. Приведем уравнения (1) к безразмерному виду с использованием формул

$$\xi = \frac{x}{a}, \bar{q} = \frac{12qa^4}{Ebh_0^4}, k_\xi = \frac{k(2a)^2}{h_0}, w = \frac{W}{h_0}, u = \frac{Ua}{h_0^2}, M_\xi = \frac{Ma^2}{Ebh_0^4}, N_\xi = \frac{Na^2}{Ebh_0^3}. \quad (2)$$

Решаем систему уравнений (1) при заданных граничных условиях методом Ньютона-Канторовича с использованием метода конечных разностей. В таблице представлены данные о влиянии величины параметра кривизны k_ξ на НДС и значения нагрузок бифуркации равновесных состояний $P_{буф.}$ и верхних предельных нагрузок P_e пологой арки постоянной толщины при условиях жесткого защемления в пятых опорах.

k_ξ		P	W_{\max}	$P_{буф.} / P_e$	$M_{\xi \max} \cdot 10$	$ N_\xi _{\max}$	σ_{\max}
16	$P_{буф.}$	4,72075	0,823	0,9944	1,5248	4,6154	4,7323
	P_e	4,74724	0,910		1,7243	4,8349	5,2193
24	$P_{буф.}$	8,72091	0,540	0,8764	1,0758	5,2996	4,0413
	P_e	9,95101	0,920		2,2814	6,9548	7,0974
32	$P_{буф.}$	12,6564	0,406	0,7831	0,8343	5,5656	3,6345
	P_e	16,1624	0,890		2,7007	8,1160	8,3615

Получено, что, в отличие от цилиндрических панелей, в пологих арках с заземлением в пяттовых опорах бифуркация равновесных состояний реализуется при $P_{\text{биф.}} < P_{\text{с.}}$, при этом с ростом величины параметра кривизны k_{ξ} отношение $P_{\text{биф.}} / P_{\text{с.}}$ существенно снижается.

ПРИМЕНЕНИЕ РЕЦИКЛИНГОВОЙ ВОДЫ В БЕТОНАХ

Александрова О.В.
МГСУ, г. Москва, Россия

Важнейшей задачей промышленности строительных материалов является разработка и внедрение эффективных, ресурсосберегающих технологий производства с использованием местного сырья и техногенных отходов промышленности [1]. В последнее время все более остро встает вопрос утилизации остаточного бетона и шлама, получаемого в результате промывки автобетоносмесителей и бетононасосов.

В большинстве случаев минеральные шламы представляют собой ультрадисперсные, гетерогенные системы, которые в процессе последующей коагуляции и обезвоживания осаждаются, а в отдельных случаях образуют структуры твердения. Высокая дисперсность и стабильный химический состав некоторых шламов открывают широкие перспективы применения их в качестве минеральных микронаполнителей, химических активаторов гидратации и структурообразования цементных и композиционных материалов.

Отличительной особенностью структуры цементной матрицы с микронаполнителем является то, что в ней создаются благоприятные условия для формирования межчастичных контактов, во многом определяющих прочность материала. В таких структурах локализуются внутренние дефекты и снижается концентрация напряжений, возникающих в процессе гидратации и твердения.

В технологии современных растворов и бетонов все большее значение приобретают высокотехнологичные смеси, модифицированные суперпластификаторами (СП) и комплексными добавками на их основе.

Известно, что тонкомолотые минеральные порошки, полученные на основе природных материалов, и тонкодисперсные техногенные шламы, в отличие от цементных систем в значительной большей степени подвержены разжижающему влиянию суперпластификаторов. Введение в цементные системы тонкодисперсных минеральных наполнителей, инертных по отношению к воде, позволяет создавать необходимые реологические условия для получения высокотехнологичных и удобоукладываемых смесей и формирования плотно упакованных структур твердения [2]. Высокая плотность структуры может быть достигнута за счёт введения в систему 2-3 фракций минеральных микронаполнителей, близких друг к другу по кристаллохимическому строению.

Наиболее целесообразным в этом случае является использование микронаполнителей, параметры кристаллических структур которых соизмеримы с аналогичными параметрами гидратных фаз цементных систем.

Массовое вовлечение крупнотоннажных шламовых отходов различных отраслей промышленности в производство строительных материалов становится одной из важнейших задач строительного материаловедения. Решение этой проблемы позволит получать не только высокие экономические эффекты за счёт рационального использования цемента, но и имеет огромное природоохранное значение.

Библиографический список

1. Галкина, О.А. Повышение эффективности бетонов для монолитных полов полимерными добавками. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Московский государственный строительный университет / О.А. Галкина. – М: МГСУ, 2004. – 20 с.
2. Козлов, Н.В. Гипсовые вяжущие повышенной водостойкости на основе промышленных отходов / Н.В. Козлов, А.И. Панченко, А.Ф. Бурьянов, В.Г. Соловьев, Е.Н. Булдыжова, Н.А. Гальцева // Научное обозрение, 2013. – № 9. – С. 200-205.

ДОЛГОВЕЧНОСТЬ НЕЛИНЕЙНО ДЕФОРМИРУЕМЫХ ПОЛОГИХ ОБОЛОЧЕК

Аннина О.Г., Курилко О.Ю.
СГТУ, г. Саратов, Россия

Рассматриваем гибкие пологие оболочки из нелинейно деформируемого материала под действием равномерно распределенной поперечной нагрузки q и двусторонней агрессивной среды.

Используем выражение вида $\Delta D_\sigma = (2/3)[E_k \Delta D_\varepsilon F(B) + E_c D_\varepsilon F'(B) \Delta B]$, где ΔD_σ , ΔD_ε – соответственно приращения компонентов девиатора тензора напряжений и девиатора тензора деформаций, $E_k = d\sigma_i / d\varepsilon_i$ и $E_c = \sigma_i / \varepsilon_i$ – соответственно касательный и секущий модули, $F(B)$ – функция деградации секущего модуля, B – концентрация агрессивной среды в точке материала.

Для расчета оболочек используем итерационный метод Ньютона-Канторовича (МНК) и метод конечных разностей (МКР).

На первом этапе рассчитываем пологие оболочки на действие поперечной нагрузки q , затем считаем, что $q = const$, а изменение НДС оболочки определяется деградацией свойств ее материала. В этом случае система разрешающих уравнений в приращениях компонентов вектора перемещения решается при последовательном двустороннем увеличении толщины пораженного слоя

на величину $\Delta\delta = h / 256$, где h – толщина оболочки с принятием функции деградации секущего модуля в виде $F(B) = e^{-\lambda B}$. При малой толщине $\delta = n \cdot \Delta\delta$ слоя материала оболочки, пораженного агрессивной средой, считаем, что концентрация агрессивной среды по толщине оболочки изменяется по линейному закону. По формуле $t = (\delta(t) / \alpha)^2$ находим время воздействия агрессивной среды, при этом величина экспериментального коэффициента α ($\text{мм} / \text{год}^{0.5}$) находится для конкретной пары «материал оболочки – агрессивная среда». Долговечностью оболочки считаем время от начала ее эксплуатации до возникновения опасного состояния, соответствующего моменту равенства интенсивности напряжений в некоторой точке оболочки временному сопротивлению материала, убывающему с течением времени действия агрессивной среды.

Полученные результаты свидетельствуют, что долговечность оболочек существенно убывает с ростом параметра поперечной нагрузки P , вызывающим рост наибольшей интенсивности напряжений по объему оболочки $\sigma_{i \max}$. Выявлено также, что при действии на пологие оболочки двоякой положительной кривизны величин нагрузок P , существенно меньших значений верхних критических нагрузок потери устойчивости по симметричной форме P_g , потери устойчивости оболочки в процессе деградации свойств поверхностных слоев ее материала не происходит.

ЦЕМЕНТЫ НИЗКОЙ ВОДОПОТРЕБНОСТИ. ТЕХНОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ПЕРСПЕКТИВА

Баишев Д.И., Хохряков О.В., Хозин В.Г.
КГАСУ, г. Казань, Россия

Портландцемент имеет первостепенное значение для строительной отрасли, являясь практически универсальным материалом. Мировое его потребление на 2014 год составляет порядка 4000 млн. т. При этом нельзя не отметить проблемы, связанные с производством – затраты сырья и топлива – до 220 кг/т клинкера, 2 т сырья/т клинкера и высокая экологическая нагрузка на окружающую среду – более 900 кг CO_2 и 300-900 кг пыли на 1 т вяжущего.

Цементы низкой водопотребности (далее – ЦНВ), разработанные ещё в 80-е годы прошлого века в СССР, расширяют возможности производства цемента, являясь одновременно не менее эффективными, нежели обычные цементы. Получение таких вяжущих представляет собой домол цемента с минеральным наполнителем и добавкой-суперпластификатором. Способные к поглощению до 50% по массе количества отходов энергетической, металлургической и других тяжёлых промышленности, ЦНВ открывают значительные возможности к ресурсо-, энергосбережению и снижению уровня загрязнения

окружающей среды отходами, которые отрицательно сказываются на состоянии среды обитания человека.

В таблице приведены сравнительные характеристики бетонов на портландцементе и ЦНВ из них с золой-уносом ТЭЦ.

№ п/п	Вид вяжущего	Расход материалов					ОК, см	Плотность смеси/бетона, кг/м ³	Прочность, МПа, в возрасте	
		вяжущее, кг/м ³	гравий 5-20 мм, кг/м ³	песок кварцевый М _к =2,5, кг/м ³	С-3, % от вяжущего	вода, л/м ³			ТВО	28 сут.
1	ЦЕМ I 42,5Б	420	1100	700	0,5	173	18	2350/2335	41,25	53,6
2	ЦНВ-50				2	145				

МОДЕЛИРОВАНИЕ НДС ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ КИНЕТИКИ АГРЕССИВНЫХ СРЕД

Башкатов А.В., Теличко В.Г., Гречишкин Е.А.
ТулГУ, г. Тула, Россия

Проблема обеспечения долговечности и безопасности при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов фортификационных сооружений, промышленных предприятий и транспортных сетей является одной из важнейших сторон деятельности научно-исследовательских и проектных организаций во многих развитых странах мира. В России она входит в число приоритетных направлений научных исследований государственной Российской академии архитектуры и строительных наук.

Железобетон, как конструкционный материал позволяет создавать достаточно сложные конструктивные схемы, однако данного вида конструкции подвержены комплексу внешних воздействий, снижающих их работоспособность. Агрессивные эксплуатационные среды являются одним из основных негативных факторов, влияющих на работоспособность инженерных сооружений из железобетона. Наиболее распространенной является хлоридсодержащая среда, основными источниками которой являются: хлоридсодержащие средства-антиобледенители; морская вода и солевой туман, которые контактируют с поверхностью армированных конструкций, технологические хлоридсодержащие среды.

Анализ известных определяющих соотношений для материалов с усложненными свойствами, эксплуатируемых в агрессивных средах, имеют ряд недостатков, не учитывающих важных особенностей их деформирования, что, во многих случаях, вносит серьезные модельные ограничения на характеристики материалов или приводит к значительным погрешностям в оценках. Решение прикладных задач нелинейной механики материалов с усложненными свой-

ствами требует применения достаточно универсальных и надежных определяющих соотношений, а также усовершенствования известных моделей решения этих задач.

Авторами данной работы решена задача построения общей теории расчета конструкций из армированных структурно-анизотропных разносопротивляющихся материалов, находящихся под действием агрессивных эксплуатационных сред. В основу разработанной теории были приняты гипотезы Л.А. Толоконникова, Н.М. Матченко, А.А. Трещева, А.А. Ильюшина, И.Г. Овчинникова и В.В. Петрова, с применением метода конечных элементов. Численная реализации предлагаемой теории использует модификацию гибридных КЭ с тремя степенями свободы в узле [1], разработанных Р.Куком. Использование данных КЭ позволяет уйти от прогрессирующего возрастания изгибной жесткости, возникающей при использовании изопараметрических КЭ, учитывающих деформации поперечного сдвига. Вывод соответствующих соотношений МКЭ и набор используемых технических гипотез приведен в работе [1]. Проблема защиты железобетонной конструкции от воздействия агрессивной среды решался путем введения в модель защитного слоя из полимербетона. Взаимодействие агрессивной среды с материалом защитной конструкции описан в работе [2], использованы исследования, проведенные в работах В.В. Петрова, О.В. Пениной, П.В. Селяева [3].

Таким образом, была получена модель деформирования железобетонной плиты с полимербетонным слоем под действием агрессивной среды.

Численный анализ разработанной модели проводился на примере расчета напряженно-деформированного состояния железобетонных плит, глубокое экспериментальное исследование которых проводилось в опытах Г. Баха и О. Графа, В. Гелера и Х. Амоса.

Библиографический список

1. Теличко, В.Г. Гибридный конечный элемент для расчета пространственных конструкций с усложненными свойствам / В.Г. Теличко, А.А. Трещев // Сборник научных трудов XXXII Всероссийской научно-технической конференции: «Актуальные проблемы современного строительства». – Пенза: Изд-во ПГАСА, 2003. – Ч. 2. Строительные конструкции. – С. 138-143.

2. Трещев, А.А. Построение математической модели деформирования комплексной железобетонной плиты с полимербетонным слоем под действием агрессивной среды / А.А. Трещев, В.Н. Теличко, А.В. Башкатов // Периодическое научное издание Вестник МГСУ. Научно-технический журнал – М.: Издательство МИСИ – МГСУ, 2014. – № 3. – С. 126-132.

3. Петров, В.В. Построение инкрементальных соотношений для физически нелинейного материала с развивающейся неоднородностью // Проблемы прочности элементов конструкций под действием нагрузок и рабочих сред / Саратов: Сарат. ун-т, 2005. – С. 138-143.

ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ СВЯЗУЮЩЕЙ МАТРИЦЫ ГАЗОБЕТОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КАРБОНАТНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ

Белов В.В., Али Р.А., Новиченкова Т.Б.
ТвГТУ, г. Тверь, Россия

По результатам исследований была получена зависимость прочности на сжатие от количества минерального порошка в составе композиции. С увеличением процентного содержания минерального порошка предел прочности при сжатии повышается и достигает максимального значения при 10%-м содержании. При дальнейшем увеличении содержания минерального порошка прочность постепенно снижается, что видно на интервале от 20 до 60%. Наиболее плотная упаковка композиции будет достигнута при содержании минерального порошка в интервале от 10 до 20%, где наблюдается максимальное значение прочности. Для разработки состава неавтоклавного газобетона с оптимизированной структурой связующей матрицы применяли трехфакторный планированный эксперимент. В качестве постоянного фактора принимали оптимальное соотношение минерального порошка к портландцементу и режимы твердения. В качестве переменного фактора принимали водотвердое отношение, содержание алюминиевой пудры и NaOH (щелочная добавка). Матрица планирования эксперимента типа В-D13 представлена в таблице.

№	Матрица планирования			Значения факторов			Показатели		
	X1	X2	X3	В/Т- отношение	Al, г/м3	NaOH % ПЦ	$\rho_0^{сп}$, кг/м ³	$R_{ср}^{28сут}$, МПа	Коэффициент прочности, МПа
1	-1	-1	-1	0,56	550	0,5	666	1,48	3,3
2	+1	-1	-1	0,60	550	0,5	655	1,18	2,8
3	-1	+1	-1	0,56	650	0,5	660	1,23	2,8
4	-1	-1	+1	0,56	550	1,5	611	1,32	3,5
5	-1	0,19	0,19	0,56	609,5	1,095	536	1,13	3,9
6	0,19	-1	0,19	0,584	550	1,095	581	1,09	3,2
7	0,19	0,19	-1	0,584	609,5	0,5	724	1,08	2,1
8	-0,29	+1	+1	0,574	650	1,5	500	1,03	4,0
9	+1	-0,29	+1	0,60	585,5	1,5	568	1,35	4,2
10	+1	+1	-0,29	0,60	650	0,855	566	1,09	3,4

По результатам планированного эксперимента получены математические модели зависимостей, средней плотности, предела прочности на сжатие и коэффициента. В итоге разработаны составы конструкционно-теплоизоляционного неавтоклавного газобетона с использованием неактивированного минерального порошка, который применяется для изготовления асфальтобетонных смесей, с физико-механическими свойствами, соответствующими нормативным требованиям. Совместное присутствие указанных веществ в смеси пред-

лагаемого состава обеспечивает получение неавтоклавных газобетонных изделий марок по средней плотности D500 и D600, классов по прочности B0,75 и B1 соответственно.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАРБОНАТНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ

Белов В.В., Куляев П.В., Куделя Н.Н.
ТвГТУ, г. Тверь, Россия

Важнейшей задачей современного материаловедения является разработка и внедрение эффективных, долговечных и экологически чистых материалов, изготавливаемых по безотходным технологиям с максимальным использованием местных сырьевых ресурсов. Значительную группу таких ресурсов составляют карбонатные породы.

Наполнители и добавки на основе данных пород в настоящее время широко используются при реконструкции и в дорожном строительстве [1]. Известняковый тонкодисперсный наполнитель используется как компонент вяжущего. Это позволяет компенсировать недостаток цементных композитов без добавок, который проявляется в том, что, обладая высокой прочностью при сжатии в затвердевшем состоянии, они склонны к усадке и образованию трещин.

Исследования [2] показали, что введение в мелкозернистый бетон тонкодисперсного известнякового компонента позволяет повысить трещиностойкость цементного композита и уменьшить его склонность к усадке, а также несколько повысить прочностные и деформативные свойства бетона.

Отмечается сближение значений напряжений, соответствующих началу трещинообразования и кубиковой прочности бетона на сжатие. Этот эффект отмечается тогда, когда количество тонкомолотого известнякового компонента в вяжущем не превышает 30%, причем количество фракции 0,05-0,08 составляет не менее 4% от его массы.

Тонкодисперсный известняковый наполнитель способствует улучшению технологических и эксплуатационных свойств мелкозернистых бетонов, улучшая объемное распределение активных центров и кинетику твердения за счет пролонгации процесса гидратации, тем самым повышая порог трещиностойкости композитов.

Библиографический список

1. De Schutter, G. Effect of limestone filler as mineral addition in self compacting concrete / G. De Schutter / Belgium Magnel laboratory of concrete research / 36 Conference on Our World in concrete & Structures, Singapore, 14-16/08/2011.
2. Белов, В.В. Прочностные и деформативные свойства бетонов с карбонатными микронаполнителями / В.В. Белов, С.Л. Субботин, П.В. Куляев // НТП Журнал «Строительные Материалы», март, 2015. – С. 25-28.

ПОГОНАЖНЫЕ ИЗДЕЛИЯ ИЗ ПЕНОБЕТОНА

Богатина А.Ю.

РГУПС, г. Ростов-на-Дону, Россия

Моргун Л.В.

РГСУ, г. Ростов-на-Дону, Россия

При сопряжении оконных и дверных блоков со стеновыми конструкциями применяют оштукатуривание вертикальных и горизонтальных откосов цементно-песчаным раствором. Штукатурный раствор обеспечивает:

- защиту внутреннего пространства здания от проникновения влаги и воздуха через места сопряжения;
- нормированные геометрические параметры элементов фасада.

Однако метод оштукатуривания откосов не лишен недостатков, к важнейшим из которых относятся:

- низкие теплозащитные свойства цементно-песчаных растворов, формирующих "мостики холода" в местах сопряжения строительных конструкций;
- наличие "мокрого процесса" и ручного труда при производстве работ; высокая трудоёмкость штукатурных работ, выполняемых с лесов, и необходимость соблюдения повышенных мер безопасности;
- низкое качество затвердевшей штукатурки, уложенной в дело при температурах выше +18°C или ниже 0°C, поскольку, при указанных параметрах

Мы предлагаем применять погонажные изделия из фибропенобетона плотностью 400...500 кг/м³ взамен оштукатуривания.

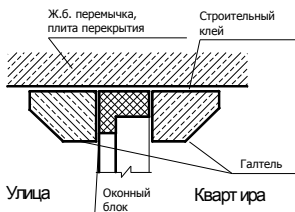


Рис. 1. Деталь установки галтелей



Рис. 2. Деталь установки вкладыш-галтелей

Возможность изготовления погонажных изделий, сложных в плане конфигурации, объясняется тем, что у фибропенобетона прочность на растяжение при изгибе достигает 60% от прочности на сжатие. У традиционных пенобетонов этот показатель не превышает 10%. Универсальные формообразующие свойства фибропенобетонных смесей в сочетании с высокой прочностью и морозостойкостью затвердевшего материала позволяют изготавливать погонажные изделия сложной формы без металлического армирования. Применение фибропенобетона обеспечивает строительным изделиям высокие теплоизолирующие и улучшенные монтажные и эксплуатационные свойства.

СУХИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ СМЕСИ НА ОСНОВЕ МНОГОФАЗОВОГО ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО

Булдыжова Е.Н., Гальцева Н.А.
МГСУ, г. Москва, Россия

В последнее время одним из перспективных направлений развития строительства является производство и применение сухих строительных смесей (ССС) на основе гипсового вяжущего. Гипсовые ССС для внутренней отделки помещений придают им как архитектурную выразительность, так и создают комфортные условия для жизнедеятельности человека. Высокое качество смесей связано со свойствами и стабильностью фазового состава гипсового вяжущего.

Целью данной работы стало исследование свойств улучшенного многофазового гипсового вяжущего и получение эффективных сухих строительных смесей на его основе.

Свойства МГВ зависят от многих факторов. Одним из них является процентное соотношение фаз, которое определяет физико-механические свойства и позволяет регулировать их в зависимости от назначения сухих строительных смесей на его основе. Каждая фаза в МГВ индивидуальна, проявляет свои особенности и влияет на свойства вяжущего в целом. Следовательно, его свойства и качество также зависят от свойств и качества фаз, включенных в состав вяжущего.

По проделанной работе можно сделать следующие выводы: применение улучшенного строительного гипса в производстве сухих строительных смесей на основе МГВ положительно влияет на их строительные характеристики; позволяет снизить расход функциональных добавок, а, следовательно, получить значительный экономический эффект при производстве ССС.

Библиографический список

1. Фишер, Х.-Б. Влагопоглощающая способность полугидратов сульфата кальция / Х.-Б.Фишер, С. Новак, И. Острадецкий // Инновации и моделирование в строительном материаловедении и образовании. –Тверь. 2014. – С. 128-134.
2. Garkavi, M., Nekrasova S., Melchaeva O., Garkavi S., Fischer H.-B., Nowak S. Thermodynamic explanation of rational conditions of the «aging» of plaster binder / M. Garkavi, S. Nekrasova, O. Melchaeva, S. Garkavi, H.-B. Fischer, S. Nowak // 18 ibausil. Internationale Baustofftagung. – Weimar, 2012. – Pp. 1-0741-0748.
3. Галкина, О.А. Повышение эффективности бетонов для монолитных полов полимерными добавками. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Московский государственный строительный университет / О.А. Галкина. – М: МГСУ, 2004. – 20 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАГРУЖЕНИЯ ПОЛОГИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПАНЕЛЕЙ

Володин В.П., Надиров Э.Р.

ТвГТУ, г. Тверь, Россия

При исследовании устойчивости и закритического поведения прямоугольных в плане пологих оболочек с учетом физической и геометрической нелинейностей очень часто используются вариационные методы. При этом задачу удобнее всего решать в перемещениях, так как это позволяет наложить на них такие условия, которые соответствуют реальному закреплению краев оболочки.

В работе предлагается способ получения уравнений процесса нагружения рассматриваемой панели на основе вариационного уравнения Лагранжа и методика определения перемещений.

Выражения для перемещений обычно выбираются в виде рядов, представляющих собой произведение постоянных коэффициентов на известные аппроксимирующие функции, удовлетворяющие геометрическим граничным условиям. Выбор этих функций требует очень тщательного подхода, поскольку от него зависит точность, трудоемкость, сходимости и достоверность решения.

Предлагаемая методика определения аппроксимирующих функций относительно простая и наиболее рациональная с точки зрения сходимости и достоверности решения. Она является итогом обобщения работ П.Ф. Папковича, М.С. Корнишина, П.А. Лукаша, В.В. Петрова и др. Эта методика является рациональной и потому, что позволяет относительно просто определить и деформации в оболочке.

Вследствие гипотезы прямых нормалей достаточно знать перемещения точек срединной поверхности оболочки. Эти перемещения и соответствующие аппроксимирующие функции определяются на основании дифференциальных уравнений равновесия, записанных в перемещениях, для упругих оболочек. Эти уравнения существенно нелинейные, так как при их получении в выражениях для деформаций точек срединной поверхности учитываются общепринятые нелинейные слагаемые. Что касается выражений для кривизн изгиба и кручения точек срединной поверхности, то они традиционно линейные, однако помимо общепринятых слагаемых, выражающихся через вторые производные от прогиба, в работе учтены слагаемые содержащие квадраты и произведения кривизн оболочки. Если исследуется процесс нагружения панели, то эти слагаемые могут сыграть существенную роль в начале процесса нагружения, а значит повлиять и на весь последующий процесс.

Предложенный вариационный метод решения задачи об исследовании процесса нагружения пологих цилиндрических панелей позволяет относительно просто получить систему разрешающих уравнений этого процесса.

**АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ
РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД
ДЛЯ РЕМОНТА МОСТОВОГО ПОЛОТНА
МОСТА ЧЕРЕЗ ВОЛГУ В г. САРАТОВЕ**

Габриелян Г.С., Овчинников И.Г.
СГТУ, г. Саратов, Россия

При проведении работ по снятию слоев старой дорожной одежды в процессе ее ремонта на мосту через Волгу в Саратове оказалось, что при установке плиток, их омоноличивании и устройстве железобетонной плиты проезжей части работы проводились с отклонениями от проекта. В результате одна половина неразрезной части моста оказалась на отдельных участках выше другой, причем превышение доходило до 15 см. Это существенно усложнило технологию ремонта дорожной одежды на мосту и было решено использовать конструкцию из трех слоев: мастичная гидроизоляция толщиной 20 мм, слой литого асфальтобетона 40 мм, верхний слой 50 мм из щебеночно-мастичного асфальтобетона. Нижние два слоя выполняли две функции – обеспечение гидроизоляции и выравнивание тех неровностей, которые остались после выравнивания плиты проезжей части бетоном.

Далее в докладе рассматриваются проблемы, возникшие при устройстве дорожной одежды на Обуховском вантовом мосту через Неву в Санкт-Петербурге, где после непродолжительной (около 2 лет) эксплуатации в верхнем слое из щебеночно-мастичного асфальтобетона образовалась продольная трещина над ребром коробчатой балки пролетного строения. Также анализируются проблемы, возникшие при устройстве дорожной одежды на Президентском мосту через Волгу в Ульяновске, где по ортотропной плите использована следующая конструкция: гидроизоляция с праймером – 5,55 мм; литой асфальтобетон тип I – 50 мм; щебеночно – мастичный асфальтобетон ЦМА – 15-60 мм. Проведенные в апреле 2014 года наблюдения за покрытием на этом мосту показали, что состояние покрытия неудовлетворительное. Далее в работе обсуждается состояние дорожной одежды на мостовых сооружениях мостового перехода через Волгу у села Пристанное Саратовской области и анализируются причины неудовлетворительного состояния дорожной одежды на отдельных участках мостовых сооружений.

В заключение отмечается, что с технологической точки зрения использованная на мосту в Саратове конструкция дорожной одежды более удобна из-за необходимости «гасить» те неровности плиты проезжей части, которые оставались после ее выравнивания бетоном, и которых не наблюдается на металлической ортотропной плите проезжей части. С точки же зрения прочности и долговечности дорожной одежды на железобетонной плите проезжей части четкого предпочтения какой-либо конструкции отдать нельзя, так как имеющаяся информация противоречива. Необходимы дальнейшие тщательные исследования.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИНТЕТИЧЕСКОГО АНГИДРИТА СУЛЬФАТА КАЛЬЦИЯ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ЗАКЛАДОЧНЫХ СМЕСЕЙ

Гальцева Н.А., Булдыжова Е.Н.

МГСУ, г. Москва, Россия

Возможный профицит серной кислоты на предприятиях цветной металлургии повышает актуальность новых (альтернативных) направлений утилизации серной кислоты, например, путем обработки ее кальцийсодержащими нейтрализующими реагентами (известняк, мел, известь, известковое молоко) с получением различных модификаций сульфата кальция, которые, в конечном счете, используются в качестве гипсовых вяжущих. В частности, по данному направлению ЗФ ОАО «ГМК «Норильский никель» выполнены в лабораторных условиях работы по получению из серной кислоты техногенного ангидрида сульфата кальция с последующим использованием его для приготовления закладочных смесей для закладки отработанного пространства рудников.

Основной целью исследования являлась – разработка рекомендаций по использованию синтетического ангидрида сульфата кальция, полученного при взаимодействии концентрированной H_2SO_4 и молотого известняка, для приготовления рецептур закладочных смесей типа АШЦ (ангидритошлакоцементные) с максимальным сокращением доли доменного шлака и цемента, пригодных для закладки выработанного пространства рудников.

Полученные результаты исследований показали возможность и перспективность применения модифицированного синтетического сульфата кальция в составах закладочных смесей. Применение различных местных заполнителей (крупного и мелкого) при разработке составов закладочных смесей различных марок на основе модифицированного синтетического сульфата кальция позволит достигнуть результатов, полученных в данном исследовании, и в отдельных случаях возможно получить более высокие результаты.

Библиографический список

1. Гриневич, А.В. Получение синтетического ангидрида сульфата кальция из концентрированной серной кислоты и молотого известняка / А.В. Гриневич, А.А. Киселев, Е.М. Кузнецов, А.Ф. Бурьянов. – Строительные материалы, 2013. – № 11. – С. 16-19
2. Белов, В.В. Модификация структуры и свойств строительных композитов на основе сульфата кальция / В.В. Белов, А.Ф. Бурьянов, Г.И. Яковлев и др. – М.: Изд-во «Де Нова», 2012. – 196 с.
3. Гриневич, А.В. Способ получения сульфата кальция / А.В. Гриневич, А.А. Киселев, А.Ф. Бурьянов, Е.М. Кузнецов, В.Г. Мошкова. – Патент РФ № 2445267. – Оpubл. 20.03.2012. – Бюл. № 8.
4. Андрианов, Р.А. Защитно-покровные материалы на основе фенолформальдегидных олигомеров / Р.А. Андрианов, А.М. Орлова, С.Б. Аширбекова, О.В. Александрова // Конструкции из композиционных материалов, 2006. – № 2, С. 5-13.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЗУЧЕСТИ ПРИ ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

Гараников В.В.
ТГТУ, г.Тверь, Россия

Испытания на ползучесть при повышенной температуре проводились на сплошных цилиндрических образцах с резьбовой головкой на славках АМг6, 01570, А1-19, и трубчатых образцах для металлокомпозиата А1-В. Испытания проводились на машине FPZ-100/1 в термостате, который предназначен для поддержания постоянной температуры образца при длительных механических испытаниях. Термостат состоит из: электронного блока, датчика температуры, электронагревателя и вентилятора. При проведении испытаний образец помещается в камеру. На стенке камеры установлен вентилятор, перед которым укреплен электронагреватель. Таким образом, воздушная струя проходит через нагреватель. Датчик температуры (транзистор) устанавливается вблизи образца. Верхний предел для данного термостата $+60^{\circ}\text{C}$. Отклонения от задания $\pm 00.1^{\circ}\text{C}$. Термостат поддерживает стабильную температуру воздуха во всем объеме камеры. Регулирование температуры осуществляется путем автоматического включения-отключения электронагревателя. Малая инерционность системы обеспечена: интенсивным перемешиванием воздуха вентилятором; применением малоинерционного электронагревателя и датчика температуры; рациональным взаимным расположением вентилятора, нагревателя и датчика температуры. Точность поддержания температуры обеспечивается малой мощностью электронагревателя и чувствительной схемой измерения температуры. Вентилятор собран на электродвигателе ЭДГ-1 с четырехлопастной крыльчаткой, наружный диаметр которой 10 см. Электронагреватель, изготовленный из тонкой нихромовой проволоки ($d=0.25\text{ мм}$), закреплен на вентиляторе. В качестве датчика температуры используется кремниевый транзистор КТ3102В в металлическом корпусе. Разработан электронный блок, который предназначен для регулирования температуры в пределах $-60^{\circ}\text{...}+60^{\circ}\text{C}$. На лицевой панели электронного блока расположены: выключатель вентилятора; индикатор включения вентилятора; выключатель регулятора температуры; индикатор включения-выключения нагревателя; дискретный переключатель задания температуры ($0^{\circ}; 10^{\circ}; 20^{\circ}; 30^{\circ}; 40^{\circ}; 50^{\circ}\text{C}$); ручка плавной установки задания температуры в диапазоне 10°C . Для измерения деформаций ползучести использованы тензорезисторы типа 5П1-20-400-А-12, которые наклеивались в среднем сечении образца. Данный тип тензорезисторов, согласно техническому паспорту, предназначен для измерения деформаций в интервале температур $-100^{\circ}\text{...}+200^{\circ}\text{C}$. Сигналы, соответствующие напряжению и деформации, регистрировались на цифropечатающем устройстве Ф5033К.

Диаграммы растяжения σ - ε снимались на испытательной машине FPZ-100/1. Индуктивный датчик для измерения деформаций на образец не устанавливался. Испытывались по три образца из каждого сплава. Для сплавов АМг6, 01570, А1-19 основные механические характеристики соответственно равны: модуль упругости $E = (71.4, 70.7, 69.0) \times 10^3$ МПа; предел упругости $\sigma_{0.005} = (160, 225, 109)$ МПа; предел текучести $\sigma_{0.2} = (190, 278, 157)$ МПа. Механические характеристики при повышенной температуре ($T=+50^\circ\text{C}$) оказались несколько ниже, чем при комнатной температуре. Отличие составляет не более 5%. Повышенная температура практически не повлияла на диаграмму растяжения металлокомпозиата А1-В. Расхождения между модулями упругости внутри каждой партии находится в пределах погрешности измерений.

Испытания при повышенной температуре начинались с напряжений, уровень которых на ступень ниже уровня напряжений, при котором обнаруживалась ползучесть в условиях комнатной температуры. Качественный вид полученных кривых ползучести такой же, что и при испытаниях в условиях комнатной температуры. Деформации ползучести возрастают с ростом напряжений и прекращаются через 1.3 часа при $\sigma = 0.5\sigma_{0.2}$, 1.7 часа при $0.6\sigma_{0.2}$ и около 3.5 часов при $0.7\sigma_{0.2}$. Значения максимальной деформации ползучести несколько выше значений при комнатной температуре. Для более полного исследования ползучести были расширены границы исследования. Данные материалы испытывались на ползучесть при напряжениях равных пределу текучести. Экспериментально установлено, что в этом случае деформации ползучести значительно возрастают при приближении к пределу текучести.

Библиографический список

1. Зубчанинов, В.Г. Автоматизированный комплекс для исследования упруговязкопластических свойств материалов при сложном нагружении. Решение о выдаче свидетельства на полезную модель / В.Г. Зубчанинов, А.В. Акимов, Н.Л. Охлопков. – М., ВНИИГПЭ, 1997. – № 97108023/20 (008702).
2. А.с. №1624284 СССР, МКИ:G 01 N 3/10. Силомоментный датчик // А.П.Андреев, В.Г.Зубчанинов, Д.И.Иванов. – Бюл. Откр. Изобр. № 4, 1991.
3. Гараников, В.В. Устройство для измерения деформаций при сложном нагружении / В.В. Гараников, В.Г. Зубчанинов, Н.Л. Охлопков // Свидетельство Роспатента на полезную модель № 13092. – Бюл. № 8, 2000. – С. 309.
4. Гараников, В.В. Экспериментальная пластичность: Монография. Книга 1: Процессы сложного деформирования / В.В. Гараников, В.Г. Зубчанинов, Н.Л. Охлопков. – Тверь: ТГТУ, 2003. – 172 с.
5. Гараников, В.В. Экспериментальная пластичность: Монография. Книга 2: Процессы сложного нагружения / В.В. Гараников, В.Г. Зубчанинов, Н.Л. Охлопков. – Тверь: ТГТУ, 2004. – 184 с.

**ПРОСТЕЙШИЕ МОДЕЛИ ВЯЗКО-УПРУГИХ ТЕЛ.
МОДЕЛЬ МАКСВЕЛЛА**

Губарева Н.В.
СГТУ, г. Саратов, Россия

Теория линейной вязко-упругости представляет собою естественное обобщение классической механики сплошной среды. Комбинируя свойства упругости и вязкости в различных сочетаниях, можно построить большое количество различных гипотетических сред, поведение которых, по крайней мере, качественно, соответствует поведению реальных тел, промежуточных между твердыми телами и жидкостями.

В упругом материале напряжение и деформация связаны законом Гука:

$$\sigma = Ee.$$

Напряжение и скорость деформации в вязкой жидкости связаны законом вязкости Ньютона:

$$\sigma = 3\eta\dot{\epsilon},$$

Объединяя свойства вязкости и упругости приходим к вязко-упругому телу Максвелла, для которого связь между напряжениями и деформациями дается следующим уравнением:

$$\dot{\epsilon} = \frac{\dot{\sigma}}{E} + \frac{\sigma}{3\eta}. \quad (1)$$

Если действующее на тело напряжение постоянно, то деформации происходит с постоянной скоростью. Предположим теперь, что тело растянуто напряжением σ_0 , после чего деформация e зафиксирована, так что при $t=0$: $\sigma = \sigma_0$, при $t>0$, $e=0$. Приняв $3\eta/E = \tau$, получим из (1)

$$\dot{\sigma} + \frac{\sigma}{\tau} = 0.$$

Проинтегрируем это уравнение с учетом начального условия $t=0$: $\sigma = \sigma_0$. Характеристическое уравнение имеет вид $r_1 = -1/\tau$, корень один, действительный. Тогда решение дифференциального уравнения имеет вид $\sigma = c_1 \exp(\tau_1 t) = c_1 \exp(-t/\tau)$, при $t=0$: $\sigma = \sigma_0$ отсюда $c_1 = \sigma_0$. Окончательно получим:

$$\sigma = \sigma_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right). \quad (2)$$

Формула (2) дает закон релаксации (ослабления) напряжения при постоянной деформации. Постоянная τ носит название времени релаксации.

Рассматривая свойства упругости и вязкости в различных сочетаниях, можно получить уравнения, отличные от (1).

СВЯЗАННАЯ ЗАДАЧА ТЕРМОУПРУГОСТИ НЕЛИНЕЙНЫХ РАЗНОСОПРОТИВЛЯЮЩИХСЯ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ КВАДРАТНОЙ ОБОЛОЧКИ ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ ГАУССОВОЙ КРИВИЗНЫ

Делягин М.Ю., Трещёв А.А., Теличко В.Г.
ТулГУ, г. Тула, Россия

Рассматривается связанное термомеханическое деформирование квадратной в плане оболочки положительной гауссовой кривизны. В качестве материала принят графит АРВ, для которого характерными являются нелинейность диаграмм деформирования и зависимость термоупругих свойств, в том числе коэффициентов линейного температурного расширения от вида напряжённого состояния [1].

Для описания свойств материала применялся термодинамический потенциал Гиббса, полученный объединением потенциала деформаций нелинейных разнородных материалов Н.М. Матченко и А.А. Трещёва и температурной части квазилинейного потенциала Гиббса этих же авторов. Математическая модель расчёта строилась на основании метода конечных элементов. Был модифицирован объёмный конечный элемент в виде тетраэдра с четырьмя узлами [2] и разработана прикладная программа для расчёта конструкций с его помощью по деформируемой схеме.

Проводилось сравнение решений с учётом нелинейной разнородности, квазилинейной разнородности Н.М. Матченко и А.А. Трещёва, классической линейной термоупругости с осреднёнными характеристиками материала. Дополнительно оценивались эффекты термомеханической связанности и деформируемости расчётной схемы. Величина максимальных прогибов не превосходила 10% толщины оболочки.

На основании анализа напряжённо-деформированного состояния свободно жёстко защемлённой оболочки можно сделать вывод, что рассмотренная модель нелинейной разнородности позволяет существенно уточнить решение задачи в классической постановке. Поправки в величины нормальных напряжений достигают 42%. Различия между нелинейной разнородностью и квазилинейной разнородностью Н.М. Матченко и А.А. Трещёва [1] не превосходят 12%. Влияние эффекта связанности полей напряжений и температур достигает 16%, однако, он проявляется лишь в первые секунды эксплуатации конструкции. Также существенным для рассмотренной задачи оказывается влияние пересчёта координат узлов, которое достигает 24% в величине нормальных напряжений на нижней поверхности оболочки.

Библиографический список

1. Трещев, А.А. Теория деформирования и прочности материалов, чувствительных к виду напряженного состояния. Определяющие соотношения / А.А. Трещев. – М.: Тула; ПААСН; ТулГУ, 2008. – 264 с.
2. ANSYS, Inc. Release 11.0 Documentation for ANSYS.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗЕЛЕННЫХ КРЫШ

Дорожкина Е.А.
МГСУ, г. Москва, Россия

Крыша – это часть здания, которая служит защитой от атмосферных осадков, перепада температур, солнечной радиации, ветра и даже от вредных выбросов промышленных предприятий. Чтобы быть надежной защитой, кровельное покрытие должно быть устойчивым ко всем этим явлениям. Надежность ему обеспечивают использование качественных материалов и профессиональное исполнение кровельных работ.

В настоящее время можно выделить два основных вида крыши: скатная и плоская. Плоской крышей считается крыша с уклоном не более 12%.

Наибольший интерес и распространение в настоящее время приобретает плоская кровля, преимущественно из-за множества вариантов ее использования. Наиболее практичным является устройство, так называемой, эксплуатируемой крыши. На сегодняшний день их устройство актуальной тенденцией в градостроительном проектировании. Горизонтальные площадки городской застройки решаются организацией дополнительного пространства, пригодного для пребывания людей, выращивания растений.

Важным вопросом остаются технические вопросы организации рассматриваемых территорий. Такая конструкция отличается от типовых решений эксплуатируемых крыш наличием дополнительного источника негативного воздействия, помимо влияния основных нагрузок и воздействий. Среди основных групп нагрузок, действующих на эксплуатируемую плоскую крышу следует выделять постоянные нагрузки (собственный вес строительной конструкции, вес стационарного оборудования, вес элементов благоустройства, вес грунта), временные нагрузки (вес выпадающих осадков, вес людей, обслуживающих механизмов и техники, вес растительности, особые нагрузки функциональных процессов, связанных с назначением крыши). Также не менее важно при проектировании конструкции учитывать ряд воздействий (атмосферных осадков, температуры, воздушной среды, солнца, ветра).

Влияние перечисленных нагрузок и воздействий необходимо учитывать при проектировании строительных конструкций зеленой крыши для ее долговечности и несущей способности. А также создания комфортных условий, в том числе ветрозащитных и солнцезащитных сооружений.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ СТАЛЕФИБРОБЕТОНОВ

Елсуфьева М.С.
МГСУ, г. Москва, Россия

Долговечность изделий и конструкций из бетона во многом зависит от степени трещинообразования в бетонной матрице, что приводит к необходимости

разрабатывать новые и совершенствовать существующие виды бетона для повышения трещиностойкости.

Не секрет, что основной причиной возникновения трещин в бетоне являются усадочные деформации.

Одним из эффективных технологических приемов снижения усадочных деформаций является применение стальной фибры, которая способствует равномерному перераспределению возникающих в бетоне усилий, тормозит процесс образования и раскрытия трещин, соединяя края трещины за счет хорошей анкеровки в бетонной матрице и высокой прочности материала на растяжение.

Другим технологическим приемом снижения усадки является применение напрягающих цементов или расширяющихся добавок, в результате действия которых в бетонах в процессе твердения поры зарастают гидросульфатом кальция. Цементный камень при этом получается плотным с равномерно распределенными мельчайшими герметизированными порами определенной гранулометрии, наличие которых придает упругость и снижает внутренние напряжения, повышая тем самым трещиностойкость бетона.

Рассмотрим комплексное влияние расширяющей добавки и фибрового армирования на усадочные деформации сталефибробетона.

Усадочные деформации фибробетонов с расширяющими добавками в процессе твердения определялись на образцах размером $70 \times 70 \times 280$ мм. Образцы изготавливались из смеси с Ц:П = 1:2 при В/Ц = 0,4 с добавлением суперпластификатора – 0,8% от массы цемента. Для дисперсного армирования применялась стальная волновая фибра длиной 15 мм и диаметром 0,3 мм в количестве (μ_v) 0,3%, 1,1% и 1,9% по объему. В качестве расширяющего компонента вводилась добавка РСАМ в количестве 5, 10 и 15% от массы вяжущего. Дополнительно были изготовлены контрольные образцы со стальной фиброй, но без расширяющихся добавок.

Результаты проведенных испытаний приведены в таблице 1.

Анализируя полученные данные можно сделать вывод, что введение стальной фибры в мелкозернистые бетоны без расширяющихся добавок приводит к снижению усадочных деформаций на 26÷42%.

Введение стальной фибры в составы мелкозернистых бетонов с расширяющими добавками в количестве 5% приводит к снижению усадочных деформаций на 46÷68%.

Введение стальной фибры в составы мелкозернистых бетонов с добавкой РСАМ в количестве 10 % от массы вяжущего, расширение которого в возрасте 28 суток составляет 0,271 мм/м, приводит к снижению расширяющихся деформаций на 40÷66%.

Введение стальной фибры в составы мелкозернистых бетонов с расширяющимися добавками в количестве 15%, усадка которых в возрасте 28 суток составляет 0,130мм/м, приводит к снижению усадочных деформаций на 45 ÷ 84%.

В таблице приведены деформации сталефибробетона с расширяющимися добавками в возрасте 28 суток.

№ п.п.	Тип добавки	Дозировка добавки, %	μ, %	Деформации в возрасте 28 суток, мм/м	Изменение деформаций в возрасте 28 суток*, %
1	Без добавки	0	0,3	-0,175	26
2			1,1	-0,156	34
3			1,9	-0,138	42
4	РСАМ	5	0	-0,157	0
5			0,3	-0,084	46
6			1,1	-0,069	56
7		1,9	-0,050	68	
8		10	0	0,271	0
9			0,3	0,162	40
10			1,1	0,137	49
11		1,9	0,093	66	
12		15	0	-0,130	0
13	0,3		-0,071	45	
14	1,1		-0,038	71	
15	1,9	-0,021	84		

* – по сравнению с контрольными составами без фибры и тем же содержанием расширяющейся добавки.

Таким образом, можно установить, что введение стальной фибры в мелкозернистый бетон снижает его собственные деформации на 26 ÷ 84% в зависимости от коэффициента армирования. Это связано с тем, что стальная фибра, находясь в объеме бетона, воспринимает растягивающие напряжения и играет роль ограничения, при котором создается обжатие бетона, вызывая сжимающие напряжения в нем и тем самым сдерживая развитие усадочных деформаций.

Подведя итог исследованиям комплексного влияния стальной фибры и расширяющихся добавок, установлено, что, изменяя количество и вид расширяющейся добавки и варьируя коэффициент армирования можно получить сталефибробетоны с регулируемыми значениями собственных деформаций. Это позволяет предотвратить развитие дефектов, снизить степень образования трещин, тем самым получив бетоны с повышенной трещиностойкостью и долговечностью.

АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ. КОМПЕТЕНЦИИ МАГИСТРА

Ерофеев А.В.
ТГТУ, г. Тамбов, Россия

Согласно новому федеральному государственному образовательному стандарту высшего образования по направлению подготовки 08.04.01 – Строительство, утвержденного приказом № 1419 Минобрнауки России от 30 октября 2014 года, у выпускника магистратуры должны быть сформирован ряд общекультурных, общепрофессиональных и профессиональных компетенции. Общекультурные и общепрофессиональные компетенции, которые должны быть сформированы у выпускника магистратуры, прописаны непосредственно в стандарте. Иначе дело обстоит с профессиональными компетенциями, которые выбираются исходя из вида будущей профессиональной деятельности (инновационная, изыскательская и проектно-расчетная; производственно-технологическая; научно-исследовательская и педагогическая; по управлению проектами; профессиональная экспертиза и нормативно-методическая) и направленности магистратуры (академическая, прикладная). Таким образом, вузам представляется возможность помимо, прописанных в стандарте профессиональных компетенций, самостоятельно назначить дополнительные профессиональные компетенции, формируемые в ходе обучения. У студентов, обучающихся по академической магистерской программе «Архитектурно-строительное материаловедение», на наш взгляд должны быть помимо основных профессиональных компетенций сформированны ряд дополнительных:

ПКВ-1 – готовность использовать в профессиональной деятельности знания теоретических основ получения различных строительных материалов с заданным комплексом эксплуатационных свойств, в том числе с использованием местного сырья и отходов промышленности;

ПКВ-2 – способность разрабатывать физические основы технологии получения различных строительных материалов с заданным комплексом эксплуатационных свойств с использованием углубленных теоретических и практических знаний;

ПКВ-3 – готовность руководствоваться при осуществлении профессиональной деятельности положениями нормативной документации в области производства и использования строительных материалов и изделий;

ПКВ-4 – способность разрабатывать составы и способы производства эффективных строительных материалов, в том числе экологически безопасных и ресурсосберегающих;

ПКВ-5 – готовность использовать в своей профессиональной деятельности для определения возможной области применения строительных материалов методы оценки их свойств;

ПКВ-6 – готовность использовать существующие и разрабатывать новые методики прогнозирования, оценки и повышения стойкости строительных материалов и изделий в заданных условиях эксплуатации;

ПКВ-7 – способность исследовать совместную работу строительных материалов с разными свойствами в слоистых и сложных строительных конструкциях.

На наш взгляд формирование приведенных дополнительных профессиональных компетенций поможет выпускнику магистратуры решать при осуществлении профессиональной деятельности сложные задачи.

РЕАКЦИЯ ПРИРОДНЫХ СИЛИКАТОВ, АКТИВИРОВАННЫХ ТОНКОДИСПЕРСНЫМ АЛЮМИНИЕМ И СОДЕРЖАЩИМИ МОДИФИКАТОРЫ, НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ СВЧ

Женжурист И.А.

КГАСУ, г. Казань, Россия

На основе силикатных и алюмосиликатных систем получают большой ассортимент строительных материалов различного назначения. По своей природе эти материалы являются диэлектриками и имеют традиционную для этих материалов реакцию на электромагнитные поля, которая может зависеть от внутренней структуры материалов.

Изучению влияния электромагнитного поля на процессы формирования структуры материалов на основе глинистых композиций и алюмооксидных модификаторов посвящен ряд работ автора, в которых отмечено усиление активности алюмосиликатной композиции под действием СВЧ, приводящей к изменению технологических характеристик системы и конечных свойств обожженного материала.

На примере Нурлатского бентонита, Нижне-Увельской огнеупорной глины, диатомита, кварцевого песка и суглинков Волго-Уральского региона исследовано действие нанодисперсных частиц оксида алюминия (гидрозоля), гидроксида алюминия в виде шлама и поля СВЧ на процессы формирования структуры алюмосиликатов. Отмечено, что под действием поля СВЧ при перемешивании исходной композиции достигаются наибольшие показатели прочности обожженных образцов из силикатных систем, модифицированных гидрозодем оксида алюминия и гидроксидом алюминия. Отмечено увеличение прочности образцов, изготовленных из масс, обработанных СВЧ в 1,2-1.8 раз.

Особенности формирования структуры модифицированных образцов отмечены всеми проведенными видами анализов. На ИК-спектрах появляются или становятся более четко обозначенными линии поглощения деформационных колебаний связей Si-OH и Al-O-Si. Рентгеноструктурный анализ показывает резкое снижение размерности кристаллита формирующегося алюмосиликата до 20-30 нм. после облучения СВЧ с 200 нм без облучения, появление алюмосиликатной фазы (силлиманита) при температуре 800-900°C.

Полученные данные могут иметь большое значение для совершенствования технологии получения керамических материалов.

Работа в направлении изложенных выше исследований выполнена в рамках проектной части государственного задания № 7.1955.2014/К в сфере научной деятельности по теме: Разработка научно-технологических основ малотоннажной строительной химии – как отрасли строительной индустрии России (эффективной отрасли национальной экономики России).

УЧЕТ КЛИМАТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ПРИ ОЦЕНКЕ ФИЗИЧЕСКИХ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КРОВЕЛЬНЫХ МЕМБРАН НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДА

Загородникова М.А.
ГТТУ, г. Тамбов, Россия

В последние годы все большее применение в строительстве находят пленочные гидроизоляционные материалы или кровельные мембраны. Их используют для гидроизоляции кровель производственных зданий и павильонов большой площади, подземных сооружений и тоннелей, искусственных водоемов, бассейнов, емкостей для хранения жидкостей.

При применении полимерных мембран в качестве кровли существенное влияние на поведение материала оказывают различные атмосферные и климатические факторы.

Проводились исследования прочности, долговечности и термического расширения кровельных гидроизоляционных мембран на основе поливинилхлорида торговой марки ПЛАСТФОИЛ® с учетом теплового и ультрафиолетового старения.

Результаты испытаний показали, что долговечность ПВХ-мембран целесообразно прогнозировать с позиции термофлуктуационной теории прочности твердых тел. По полученным значениям физических констант были рассчитаны долговечность, а также другие параметры работоспособности (прочность и термостойкость) при заданных значениях напряжения, температуры и времени эксплуатации.

При идеальных условиях материал может служить довольно долго (более 100 лет). Для получения более точных значений долговечности был проведен ряд опытов после воздействия на материал теплового и ультрафиолетового старения. По измененным значениям физических констант можно судить о влиянии внешних атмосферных и климатических воздействий на долговечность полимерных мембран.

Дилатометрические испытания показали, что структура материала и воздействие внешних факторов оказывает непосредственное влияние на термическое расширение образцов ПВХ-мембран. После 100 ч ультрафиолетового старения наблюдается увеличение относительного удлинения образцов в среднем

на 30 % по отношению к первоначальным значениям, то есть материал становится более пластичным; структура всех материала выравнивается и расширение происходит более линейно.

Таким образом, при использовании ПВХ-мембран в качестве кровли следует учитывать возможность термического расширения под влиянием высоких температур, а также повышение пластичности материала.

О ПРОЧНОСТИ БЕТОНА В30 В СЛОЖНОМ НАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ

Зиборов Л.А., Теличко В.Г.

ТулГУ, г. Тула, Россия

В работе рассматриваются некоторые вопросы прочности бетона В30 в сложном напряженном состоянии. Получены экспериментальные данные и критерий прочности бетона при различных напряженных состояниях.

Экспериментальные исследования прочности бетона В30 для двухосного сжатия, сжатия с растяжением, двухосного растяжения позволяет получить условие прочности бетона и необходимые данные для расчета железобетонных конструкций по предельному состоянию. Материалы типа бетона обладают различным сопротивлением растяжению и сжатию. Принятая предельная поверхность (известное условие Гениева Г.А.) содержит два, реже три расчетных параметра: R_c – предел прочности при одноосном сжатии; R_t – предел прочности при одноосном растяжении; T – предел прочности при чистом сдвиге. Такая предельная поверхность не может учесть изменение прочности в сложном напряженном состоянии, которое наблюдается в опытах.

Для повышения сходимости экспериментальных и теоретических данных предлагается деформировать названное выше условие и записать в следующем виде:

$$\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + A_{12}\sigma_1\sigma_2 + A_{23}\sigma_2\sigma_3 + A_{31}\sigma_3\sigma_1 + (R_b - R_{bt})(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) = R_b R_{bt}, \quad (1)$$

где $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ - главные напряжения; R_b – сопротивление бетона осевому сжатию (призменная прочность) ($\sigma_1 = \sigma_2 = 0, \sigma_3 = -R_b$); $R_{bt} = R_t$ – предел прочности бетона при одноосном растяжении ($\sigma_1 = R_{bt}, \sigma_2 = \sigma_3 = 0$); A_{12}, A_{23}, A_{31} – экспериментально определяемые параметры.

Особенностью условия (1) является наличие пяти расчетных параметров $R_b, R_{bt}, A_{12}, A_{23}, A_{31}$. Расчетные базисные параметры R_{bt}, R_b – нормируются для каждого класса бетона, а для параметров A_{12}, A_{23}, A_{31} необходимо проведение экспериментов.

Рассмотрим двухосное сжатие ($\sigma_1 = 0 > \sigma_2 > \sigma_3$), из условия (1) получим

$$\sigma_2^2 + \sigma_3^2 + A_{23}\sigma_2\sigma_3 + (R_b - R_{bt})(\sigma_2 + \sigma_3) = R_b R_{bt}, \quad (2)$$

где $A_{23} = \frac{R_b R_{bt}}{R_{2b}^2} + 2 \frac{R_b - R_{bt}}{R_{2b}} - 2$, R_{2b} - предел прочности бетона при двухосном

сжатии равной интенсивности $\sigma_1 = 0$, $\sigma_2 = \sigma_3 = -R_{2b}$.

Для проверки прочности и определения R_{2b} проведены эксперименты при двухосном сжатии бетона В30 на плиточных образцах 100x100x20 мм с использованием универсальной машины ГМС-100 в комбинации с переоборудованным пятитонным прессом, получено хорошее совпадение экспериментальных данных и условия (2). Получено $R_b \approx R_{2b}$, тогда на основании опытов

имеем $A_{23} = -\frac{R_{bt}}{R_b} = -0,09$, условие (2) принимает вид

$$\sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 0,09\sigma_2\sigma_3 + (R_b - R_{bt})(\sigma_2 + \sigma_3) = R_b R_{bt}. \quad (3)$$

Если принять

$$R_{2b} = -\sqrt{R_b^2 + R_{bt}^2 - R_b R_{bt}} - (R_b - R_{bt}), \quad (4)$$

получим $A_{23} = -1$, условие (2) принимает вид двухпараметрического критерия.

Для двухосного растяжения $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3 = 0$ условие (1) принимает вид

$$\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + A_{12}\sigma_1\sigma_2 + (R_b - R_{bt})(\sigma_1 + \sigma_2) = R_b R_{bt}, \quad (5)$$

где $A_{12} = \frac{R_b R_{bt}}{R_{2t}^2} - 2 \frac{R_b - R_{bt}}{R_{2t}} - 2$, R_{2t} - прочность бетона на растяжение, при

двухосном растяжении равной интенсивности $\sigma_1 = \sigma_2 = -R_{2t}$, $\sigma_3 = 0$.

Для проверки прочности и определения R_{2t} проведены эксперименты при двухосном растяжении бетона В30 на тонких трубчатых образцах с использованием осевой растягивающей силы универсальной машины ГМС-100 и давления воздуха, поступавшего в резиновый мешок, расположенный внутри бетонного образца. Получено $R_{2t} \approx 0,67R_{bt}$, тогда на основании опытов

$A_{12} = -7,5$, условие (5) принимает вид

$$\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - 7,5\sigma_1\sigma_2 + 24,50(\sigma_1 + \sigma_2) = 64,6. \quad (6)$$

Для растяжения со сжатием ($\sigma_1 > \sigma_2 = 0 > \sigma_3$) условие (1) имеет вид:

$$\sigma_1^2 + \sigma_3^2 + A_{13}\sigma_1\sigma_3 + (R_b - R_{bt})(\sigma_1 + \sigma_3) = R_b R_{bt}, \quad (7)$$

где $A_{13} = 2 - \frac{R_b R_{bt}}{T}$, T - предел прочности при чистом сдвиге

$$\sigma_1 = -\sigma_3 = T, \quad \sigma_2 = 0.$$

Для проверки прочности и определения T проведены эксперименты растяжения со сжатием бетона В30 на трубчатых тонких образцах с использованием

осевой сжимающей силы универсальной машины ГМС-100 и давления воздуха, поступавшего в резиновый мешок, расположенной внутри бетонного образца. Получено $T \cong 0,95 R_{bt}$, тогда $A_{13} = -10,2$ условие (7) принимает вид

$$\sigma_1^2 + \sigma_3^2 - 10,20\sigma_1\sigma_3 + 24,50(\sigma_1 + \sigma_3) = 64,60, \quad (8)$$

Полученные экспериментально параметры $R_b, R_t, A_{12}, A_{23}, A_{31}$ для бетона В30 условия (3), (6), (8) позволяет записать общее условие (1) в виде:

$$\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 7,5\sigma_1\sigma_2 - 0,09\sigma_2\sigma_3 - 10,20\sigma_1\sigma_3 + (R_b - R_{bt})(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) = R_b R_{bt}. \quad (9)$$

Организация проведения исследования прочности бетона при объёмном напряженном состоянии связано с определенными техническими трудностями и практически отсутствуют опытные данные:

- при всестороннем равномерном сжатии ($\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 < 0$) и неравномерном сжатии ($\sigma_1 \neq \sigma_2 \neq \sigma_3 < 0$);
- при всестороннем равномерном растяжении ($\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 > 0$) и неравномерном растяжении ($\sigma_1 \neq \sigma_2 \neq \sigma_3 > 0$);
- при напряженном состоянии для двух растягивающих напряжениях $\sigma_1, \sigma_2 > 0$ и одном сжимающем напряжении $\sigma_3 < 0$.

Рассмотрим объёмное сжатие, когда ($\sigma_1 = \sigma_2 = q > \sigma_3 = \sigma_{\max}$), т.е. имеем случай возрастания осевого сжатия $\sigma_3 = \sigma_{\max}$ при наличии бокового обжатия « q » условие (1) имеет вид:

$$\sigma_3^2 + \sigma_1^2 (2 + A_{12}) + \sigma_1\sigma_3 (A_{12} + A_{13}) + (R_b - R_{bt})(2\sigma_1 + \sigma_3) = R_b R_{bt}. \quad (10)$$

С учетом расчетных параметров A_{12}, A_{23}, A_{31} для бетона В30 условия (9) $A_{12} = -7,5, A_{23} = -0,09, A_{31} = -10,2$ получим

$$\sigma_3^2 - 5,5\sigma_1^2 - 17,7\sigma_1\sigma_3 + (R_b - R_{bt})(2\sigma_1 + \sigma_3) = R_b R_{bt}. \quad (11)$$

Для возрастающего осевого сжатия $\sigma_3 = \sigma_{\max}$ при наличии бокового обжатия $\sigma_1 = \sigma_2 = q$ можно аппроксимировать известным условием

$$\sigma_{\max} = -R_b + 4,1q. \quad (12)$$

Для возрастающего бокового сжатия $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3 = -q$ при осевом сжатии условие (1) принимает вид

$$\sigma_1^2 + \sigma_3^2 (2 + A_{23}) + \sigma_3\sigma_1 (A_{12} + A_{31}) + (R_b - R_{bt})(\sigma_1 + 2\sigma_3) = R_b R_{bt}. \quad (13)$$

Учитывая расчетные параметры A_{12}, A_{23}, A_{31} для бетона В30 условие (9) при $A_{12} = -7,5, A_{23} = -0,09, A_{31} = -10,2$ получим

$$\sigma_1^2 + 1,91\sigma_3^2 - 17,7\sigma_1\sigma_3 + (R_b - R_{bt})(\sigma_1 + 2\sigma_3) = R_b R_{bt}. \quad (14)$$

Для возрастающего бокового обжатия « q » при осевом сжатии σ_1 экспериментальные данные для объемного сжатия эксперименты можно аппроксимировать условием

$$q = -1,5R_b + 2,5\sigma_1. \quad (15)$$

Условие (1) в виде (11) и (13) имеют отклонения до 20% от соответствующего экспериментального условия (12).

РАЗМОЛОСПОСОБНОСТЬ РАСШИРЯЮЩИХСЯ ДОБАВОК

Зорин Д.А.

МГСУ, г. Москва, Россия

Применение бетонных и железобетонных конструкций требует преодоления сложностей, связанных со свойствами бетона при высыхании и затвердевании уменьшаться в объеме и претерпевать усадку.

В настоящее время большое внимание уделяется материалам, которые после помола добавляются к обыкновенному портландцементу и позволяют получить безусадочные, расширяющиеся и напрягающие цементы. Чаще всего в качестве таких добавок применяют глиноземистые шлаки, сульфоалюминатный, сульфоферритный и сульфоалюмоферритный клинкеры.

Постоянный рост тарифов услуг ЖКХ, в том числе и электроэнергии заставляет предприятия задуматься об экономии. Были проведены исследования для определения удельного расхода электроэнергии, затрачиваемой на размол расширяющих добавок. Добавки мололись в лабораторной мельнице до размера удельной поверхности равной 300 м²/кг (для цемента марки М400 требуется не менее 280-300 м²/кг).

Полученные результаты показали, что наиболее энергоемким является помол сульфоалюмоферритного клинкера. Так для достижения заданной удельной поверхности на помол сульфоалюмоферритного клинкера требуется 42 кВт·ч/т, сульфоферритного клинкера – 37,3 кВт·ч/т, портландцементного клинкера – 32,7 кВт·ч/т, глиноземистого шлака – 23,3 кВт·ч/т, сульфоалюминатного клинкера – 9,3 кВт·ч/т.

Из приведенных данных видно, что затраты удельного расхода электроэнергии различны при одинаковых условиях измельчения, и эта разница в первую очередь обусловлена кристаллической структурой клинкеров и их твердостью.

Если оценивать размалываемость по остатку на сите R₀₀₈, то наиболее трудно размалываемыми следует считать сульфоалюминатный клинкер и глиноземистый шлак. Так при удельной поверхности – 300 м²/кг, остаток на сите составил для сульфоалюмоферритного клинкера – 15%, сульфоферритного клинкера – 15%, глиноземистого шлака – 32%, сульфоалюминатного клинкера – 30%.

Таким образом, установлено, что для сульфатированных клинкеров и глиноземистого шлака между величиной удельной поверхности и процентом остатка на контрольном сите R_{008} нет однозначной зависимости.

Так для сульфоалюминатного и глиноземистого шлака при удельной поверхности – $300 \text{ м}^2/\text{кг}$ величина остатка на сите составляет более 30%, что выше величины требуемой стандартом для портландцементов ($R_{008}=15\%$).

Можно сделать вывод, что при выборе расширяющей добавки не стоит опираться на показатели затрат на помол, а стремиться к выполнению условий, устанавливаемых стандартами.

О ВЛИЯНИИ КРИВИЗНЫ ТРАЕКТОРИЙ В ПРОЦЕССЕ СЛОЖНОГО УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ НА ЗАПАЗДЫВАНИЕ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ

Зубчанинов В.Г., Алексеева Е.Г.

ТвГТУ, г.Тверь, Россия

Опыты с пластичными материалами показывают, что ориентация вектора напряжений в естественном репере Френе-Ильюшина относительно траектории деформирования зависит не от всей траектории, а только от ее некоторого участка, предшествующего рассматриваемой точке, который называется следом запаздывания λ . Свойство запаздывания векторных свойств материалов – это совершенно общее свойство упруго-пластически деформируемых тел, которое имеет место и для различных криволинейных траекторий. При этом величину следа запаздывания λ нельзя назвать стабильной характеристикой материалов. Обычно величина следа запаздывания векторных свойств материалов λ определяется на двузвенных ломанных траекториях при различных углах излома траектории ϑ_1^0 .

Здесь расчеты по определению следа запаздывания производились на плоских криволинейных траекториях постоянной кривизны $\kappa_1 = 1/R$, где R – радиус траектории деформирования. В процессе деформирования стальные трубчатые образцы растягивались по прямолинейному лучу в точку излома K при напряжении σ_k^T , а затем производился излом траектории на угол $\vartheta_1^0 = 90^\circ$, и материал деформировался по центральной окружности радиуса R при совместном растяжении с кручением. При деформировании по окружности при $\Delta s = \lambda$ устанавливался режим деформирования с практически постоянным значением угла сближения ϑ_1^* при принятом допуске.

В результате была получена серия зависимостей $\vartheta_1 - \Delta s$ и установлена для них величина λ при разной кривизне κ_1 траекторий деформирования. Каждая

из полученных кривых стремится к асимптотическому значению ϑ_1^* . Это значение согласно линеаризованной модели теории процессов В.Г. Зубчанинова можно определить по формуле $\vartheta_1^* = \kappa_1 / k$, где постоянная величина

$$k = \alpha 2G / \sigma_k^T,$$

σ_k^T – значение нового предела текучести в точке излома траектории, G – упругий модуль сдвига, $\alpha = 0,68$ (по теории средних кривизн В.И. Малого). Тогда, для кривой с $\kappa_1 = 50$ получим $\vartheta_1^* = 0,125$, что соответствует $7,16^\circ$. Таким образом, все траектории, для которых кривизны $0 < \kappa_1 < \kappa_1^* = 50$ можно отнести к траекториям малой кривизны.

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕОРИИ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЛАСТИН СЛАБОГО СДВИГА К РАСЧЕТУ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД НА ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЯХ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

Ильченко Е.Д.
СГТУ, г. Саратов, Россия

Как известно, главной задачей мостового сооружения является обеспечение проезда транспорта, которое обеспечивается не только надежными конструкциями фундаментов, опор, пролетных строений, но и качественной дорожной одеждой мостового полотна. На металлических мостах дорожная одежда укладывается на ортотропную плиту, причем предполагается, что ортотропная плита и дорожная одежда работают совместно. Однако наблюдения показывают, что по достижении 3-5 лет появляются трещины в покрытии, причем продольных трещин больше, чем поперечных, чего не наблюдается на автомобильных дорогах.

В то же время мировая практика показывает, что срок службы дорожной одежды на большом мосту может достигать 15-20 лет. Отечественный опыт также свидетельствует об этом, например, дорожная одежда с использованием литого асфальтобетона на мосту через Волгу у Саратова уже прослужила без ремонта 15 лет. Одной из главных проблем оценки работы дорожной одежды на ортотропной плите мостового сооружения до недавних пор являлось отсутствие моделей и методик расчета, предусматривающих совместную работу системы «ортотропная плита – дорожная одежда». В последнее время ситуация несколько изменилась – в работах И.Г. Овчинникова с учениками (Щербаков А.Г., Телегин М.А.) рассматриваются различные подходы к расчету дорожных одежд на мостовых сооружениях, причем в работах Телегина М.А. рассматривается применение программного комплекса Midas к расчету ортотропной плиты совместно с дорожной одеждой, а в работах Щербакова А.Г. рассматривается расчет дорожной одежды на железобетонной плите проезжей части

моста, причем учитывается и нелинейность и разномодульность как материала слоев дорожной одежды, так и материала плиты проезжей части. В данной работе предлагается использовать для моделирования поведения дорожной одежды на металлической плите проезжей части теорию многослойных пластин слабого сдвига, причем рассматриваются две модели: в первой предполагается что ортотропная плита является одним из слоев в многослойном пакете, а во второй принимается, что многослойная дорожная одежда опирается на деформируемое основание, свойства которого определяются характеристиками ортотропной плиты.

БИФУРКАЦИОННЫЙ КРИТЕРИЙ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ «ВЫСОТНЫЙ ОБЪЕКТ – УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКИЙ СЛОЙ ОСНОВАНИЯ»

Иноземцев В.К., Дуничев С.С.
СГТУ, г. Саратов, Россия

Рассматривается решение задач общей устойчивости системы «высотный объект – упруго-пластический слой основания». К таким объектам, например, относятся регенераторы стекловаренных печей, представляющие собой относительно жесткие сооружения с высоко расположенным центром тяжести на фундаментных плитах, взаимодействующих со слоем основания в условиях высокотемпературного техногенного воздействия. Общая устойчивость такой системы зависит от деформационных свойств основания, как наиболее слабого в деформационном смысле звена данной системы. Общая устойчивость системы рассматривается на основе замечательного свойства идеальных упруго-пластических систем проявлять бифуркационное ветвление при нагрузках типа «касательно-модульной». Линеаризованная постановка задачи устойчивости выявляет потерю единственности пути деформирования и гарантирует устойчивость исходного строго вертикального деформирования высотного объекта на упруго-пластическом основании. Бифуркационная концепция устойчивости сужает область исследования и позволяет рассматривать устойчивость только исходного строго вертикального деформирования системы, оставляя нерешенным вопрос об устойчивости системы после потери единственности пути деформирования. Однако для реальных неидеальных систем, которые обычно нагружены, наряду с параметрической нагрузкой (собственный вес и вертикальная «полезная» нагрузка), значительной по величине горизонтальной нагрузкой (ветровая нагрузка), при параметрической нагрузке близкой к «касательно-модульной» происходит развитие значительных деформаций крена высотного объекта, что, например, для регенераторов стекловаренных печей недопустимо. Расчет напряженно-деформированного состояния основания высотного объекта на базе совокупности статических, геометрических и физических уравнений сводится к многопараметрической нелинейной задаче:

$$A(u_1, \dots, u_n, a_1, \dots, a_m) = 0$$

Здесь A – нелинейный оператор задачи; u_1, \dots, u_n – минимальное число фазовых переменных, при решении задачи в перемещения фазовые переменные – это перемещения; a_1, \dots, a_m – параметр нагрузки и физические параметры диаграммы деформирования среды основания, учитывающие внешние техногенные воздействия, изменяющие деформационные свойства основания в процессе его эксплуатации. В рамках инкрементальной модели оператор A дифференцируем по параметрам a_1, \dots, a_m , тогда приращение фазовых переменных определяется из решения линеаризованного уравнения [1,2]:

$$[A'(u_1, \dots, u_n, a_1, \dots, a_m)](\Delta u_1, \dots, \Delta u_n) + \frac{\partial A}{\partial a_1} \Delta a_1 + \dots + \frac{\partial A}{\partial a_m} \Delta a_m = 0$$

Здесь A' -производная Фреше исходного оператора A в точке фазового пространства, заданной вектором фазовых переменных (u_1, \dots, u_n) , $(\Delta u_1, \dots, \Delta u_n)$ – искомое приращение вектора фазовых параметров, вызванное возмущением параметров a_1, \dots, a_m на величины $\Delta a_1, \dots, \Delta a_m$. В процессе деформирования системы «высотный объект – упруго-пластический слой основания» на базе инкрементальной модели легко обходятся трудности численной реализации, которые появляются в особых точках, соответствующих значениям отдельных параметров, таких как критические и предельные точки решения. Для упруго-пластического слоя основания высотного объекта точка бифуркации исходного процесса деформирования системы находится в соответствии с концепцией «равноактивной» бифуркации [3,4].

Библиографический список

1. Иноземцев, В.К. Деформирование элементов конструкций из нелинейного разномодульного неоднородного материала / В.В.Петров, И.Г.Овчинников, В.К.Иноземцев. – Саратов: СГТУ, 1989. – 160 с.
2. Иноземцев, В.К. Математическая модель деформирования геомассивов. Применительно к деформационным процессам в основаниях сооружений / В.К. Иноземцев, В.И. Редков. – Саратов: СГТУ, 2006. – 412с.
3. Ключников, В.Д. Устойчивость упруго-пластических систем / В.Д. Ключников. – М.: Наука, 1980. –240 с.
4. Коллатц, Л. Задачи на собственные значения / Л. Коллатц. – М.: Наука, 1978.

ВЫСОТНЫЙ ОБЪЕКТ ЗА ГРАНЬЮ УСТОЙЧИВОСТИ

Иноземцев В.К., Дуничев С.С.
СГТУ, г. Саратов, Россия

К высотным объектам относятся здания и сооружения с достаточно высоко расположенным центром сил тяжести, что делает их склонными к потере

общей устойчивости. Под общей устойчивостью будем понимать устойчивость исходного вертикального положения равновесия высотного объекта на деформируемом основании [1,2,3].

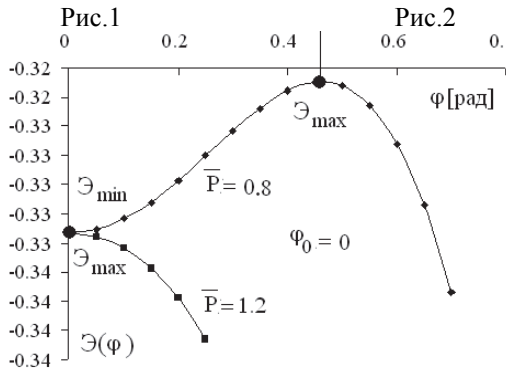
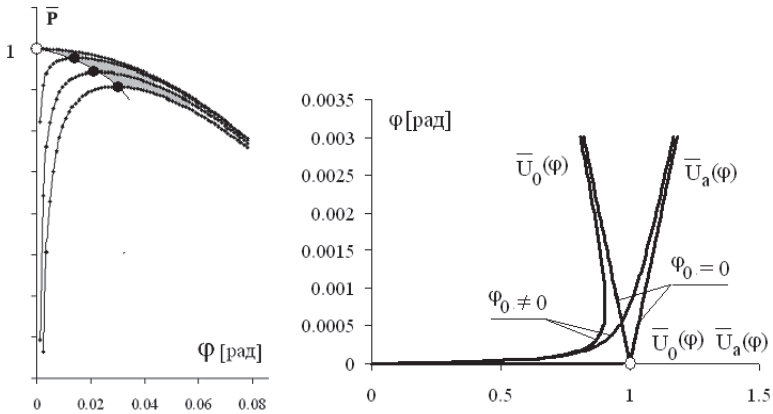


Рис.3

На рис.1 приведены кривые равновесных состояний в зависимости от угла поворота высотного объекта в вертикальной плоскости φ , который принят в качестве независимого параметра перемещений. Безразмерный параметр бифуркационной критической нагрузки для идеализированной системы трансформируется в предельную критическую для системы с начальным несовершенством в виде начального угла поворота высотного объекта φ_0 . При этом критическая нагрузка снижается. Это обстоятельство представляет серьезную опасность для возникновения эксцентриситета и развития деформаций крена. Опасность возникновения таких деформаций обусловлена тем, что в сложной системе конструктивных элементов любого сооружения основание обычно

наиболее деформируемый элемент, а фундаменты и подземная часть высотного здания, наиболее нагруженные элементы конструктивной схемы. В результате высотный объект испытывает значительные осадки, сопровождающиеся кренами. Заметим, что величина и характер развития предельных деформаций (осадок грунтового основания) связаны с общей устойчивостью высотного объекта. На рис.2 приведены графики ($\bar{U}_o(\varphi)$, $\bar{U}_a(\varphi)$) безразмерных вертикальных перемещений (осадок) фундаментной плиты для торцевых точек. Строго вертикальный процесс деформирования основания для идеального высотного объекта возможен только до точки бифуркации решений (Рис.2). Затем вертикальное перемещение правого торца плиты значительно превосходит перемещение левого торца, что вызывает соответствующий крен высотного объекта. Здесь закономерно возникает вопрос не только о предельной величине деформаций (осадок) основания, но и об устойчивости послебифуркационного равновесного состояния, характеризующегося деформациями крена. Для этого возможно рассмотреть величину потенциальной энергии системы. Равновесие будет устойчивым, когда потенциальная функция $\mathcal{E}(\varphi)$ принимает минимальное значение. Равновесие, при котором потенциальная функция имеет максимум, является неустойчивым.

Проведенный анализ энергетических уровней для двух значений безразмерного параметра нагрузки (Рис.3) показал, что при уровне нагружения меньшем чем бифуркационная критическая нагрузка состояние равновесия является устойчивым. На ответвляющемся из точки бифуркации нелинейном решении вершина энергетического барьера свидетельствует о неустойчивости равновесного состояния. При нагрузке выше бифуркационной критической состояние равновесия естественно неустойчиво. Таким образом, при выбранной модели основания высотного объекта в точке бифуркации происходит классический «обмен устойчивостью».

Библиографический список

1. Иноземцев, В.К. Деформирование элементов конструкций из нелинейного разномодульного неоднородного материала / В.В. Петров, И.Г. Овчинников, В.К. Иноземцев. – Саратов: Изд-во СГТУ, 1989. – 160 с.
2. Иноземцев, В.К. Математическая модель деформирования геомассивов. Применительно к деформационным процессам в основаниях сооружений / В.К. Иноземцев, В.И. Редков. – Саратов: Изд-во СГТУ, 2006. – 412 с.
3. Иноземцев, В.К. Общая устойчивость сооружений на неоднородном нелинейно деформируемом основании / В.К. Иноземцев, Н.Ф. Синева, О.В. Иноземцева. Саратов: Изд-во СГТУ, 2008.

К РАСЧЕТУ ОБЩЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ ВЫСОТНОГО СООРУЖЕНИЯ НА УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКОМ СЛОЕ ОСНОВАНИЯ

Иноземцев В.К., Иноземцева О.В.
СГТУ, г. Саратов, Россия

Рассматривается исследование общей устойчивости инженерного сооружения с высоко расположенным центром тяжести на плитном фундаменте, взаимодействующем с упруго-пластическим слоем основания. Модель системы «сооружение-основание» строится на базе модели слоистого основания В.З.Власова [1].

Критерий устойчивости сооружения сформулирован на базе концепции бифуркационной устойчивости процессов деформирования. Проблема устойчивости сооружения на упруго-пластическом основании формулируется в рамках плоской задачи.

Уравнения модели основания в инкрементальной форме для системы «плита – слой основания» представляются в виде трех дифференциальных уравнений относительно приращения функции вертикальных перемещений поверхности слоя для трех областей интегрирования: при $x < 0$ и $x > L$ – области свободной поверхности слоя основания; при $0 < x < L$ – область контакта фундаментной плиты и слоя основания.

Неоднородность в уравнении (параметр нагрузки от высотного сооружения) содержится в граничных условиях задачи. Так, естественным условием для свободных краев плиты является равенство нулю изгибающего момента. Условие неразрывности функции вертикального перемещения поверхности слоя основания на свободных краях плиты позволяет записать еще два условия, в которые входят обобщенные поперечные силы [1] и приращения опорных реакций сооружения на шаге нагружения.

Учет упруго-пластических деформаций основания на базе полученной инкрементальной системы уравнений требует для каждого этапа нагружения подсчитать матрицу жесткостных коэффициентов. Для подсчета жесткостных коэффициентов необходимо конкретизировать нелинейные деформационные свойства грунтовой среды слоя основания, то есть установить связь между интенсивностью напряжений и интенсивностью деформаций на шаге нагружения. Такая связь задается в виде нелинейной диаграммы деформирования $\sigma_i(e_i)$, что соответствует условию применения деформационной теории пластичности. Тогда элементы матрицы констант деформируемой среды основания на шаге нагружения E_{ij} , определяются по формулам инкрементальной теории наведенной неоднородности [2]:

$$E_{22} = \frac{4}{3}E_c + \frac{\sigma_z^2}{\sigma_i^2}(E_k - E_c); \quad E_{33} = \frac{1}{3}E_c + \frac{\tau^2}{\sigma_i^2}(E_k - E_c); \quad E_{23} = E_{32} = \frac{\sigma_z \tau}{\sigma_i^2}(E_k - E_c); \quad (1)$$

Здесь E_c , E_k – секущий и касательный модули диаграммы деформирования.

Разбивая область интегрирования сеткой, методом конечных разностей совокупность основных линеаризованных дифференциальных соотношений математической модели в инкрементальной форме сводим к системе алгебраических уравнений, решение которой осуществляем на основе пошаговой процедуры. Такой подход к исследованию устойчивости называется «прослеживанием» равновесных состояний системы с малыми начальными возмущениями [2].

В качестве малого начального возмущения здесь выступает начальный эксцентриситет высотного сооружения. При приближении нагрузки, действующей на систему, к критическому значению «крен» сооружения быстро возрастает и в части объема упруго-пластического слоя основания возникают зоны разгрузки, развитие которых определяет картину послебифуркационного за-критического деформирования системы «основание – фундаментная плита – высотное сооружение».

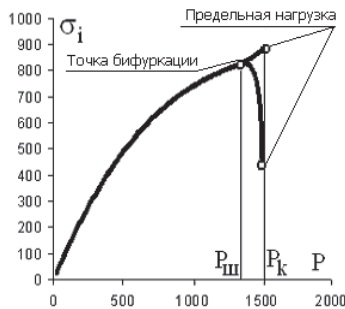


Рис. 1

Получаемые при этом критические нагрузки соответствуют критической нагрузке по критерию бифуркационной устойчивости (концепция Шенли) и критической предельной нагрузке (концепция Энгессера-Кармана).

Библиографический список

1. Власов, В.З. Избранные труды / В.З. Власов. – В 3 т. – М: Наука. 1964. – Т. 3. – 407 с.
2. Петров, В.В. Теория наведенной неоднородности и ее приложения к проблеме устойчивости пластин и оболочек / В.В. Петров, В.К. Иноземцев, Н.Ф. Синева. – Саратов: СГТУ, 1996. – 312 с.

ВЫСОТНЫЙ ОБЪЕКТ НА ДЕФОРМИРУЕМОМ ОСНОВАНИИ В ЗАКРИТИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Иноземцев В.К., Иноземцева О.В.

СГТУ, г. Саратов, Россия

Высотный объект это строительный или промышленный объект с высоко-расположенным центром сил тяжести. Настолько высоко, что возникает опасность потери устойчивости исходного строго вертикального состояния равновесия (общая потеря устойчивости). Вопросы общей потери устойчивости высотного объекта на деформируемом упруго-пластическом основании рассматривались в работе [1].

Основой анализа в [1] являлись линеаризованные уравнения устойчивости. Линеаризованная постановка задачи устойчивости выявляет потерю единственности пути деформирования и гарантирует устойчивость исходного строго вертикального деформирования высотного объекта на грунтовой упруго-пластическом основании на этом пути. Однако устойчивость не всегда подразумевает единственность пути деформирования.

Исследование закритического поведения высотного объекта после потери бифуркационной устойчивости исходного вертикального состояния равновесия возможно только на базе геометрически нелинейной постановки задачи. Однако, учет геометрической нелинейности это не единственный фактор, определяющий послебифуркационное поведение высотного объекта. Существенными здесь являются сложные свойства деформируемой среды грунтового основания.

Особенностью грунтовой среды является зависимость ее деформационных свойств от характера нагружения (траектории нагружения). Таких траекторий нагружения выделяют несколько: компрессионное сжатие, стесненное нагружение, раздавливание, девиаторное нагружение. В [1] приведены данные эксперимента (проф.Копейкина В.С.), содержащие компоненты напряженно-деформированного состояния при различных уровнях нагружения для основных траекторий нагружения, таких как: траектория компрессионного сжатия (траектория №1), траектория стесненного сжатия (траектория № 2), траектория нагружения по схеме раздавливания (траектория № 3) и траектория чисто девиаторного нагружения для песка в плотном состоянии (траектория № 4). При этом за исходное напряженное состояние образца принималось состояние гидростатического сжатия, составившего в данном случае $\sigma_{\text{окт}}=200$ кПа. На рис. 2 для различных траекторий нагружения показан характер связи между напряжениями и деформациями [1].

На рис. 3 для: линейно деформируемого основания (1), при девиаторном нагружении; нелинейно деформируемого основания (2), при компрессионном нагружении; нелинейно деформируемого основания (3) показан качественный

вид графиков начального закритического поведения нелинейных решений для) стойки (рис. 1).

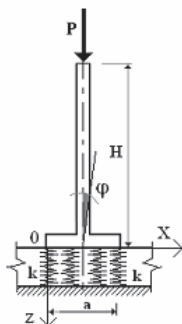


Рис. 1.

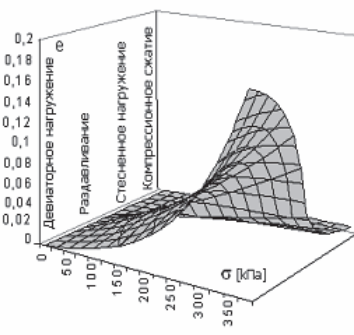


Рис.2.

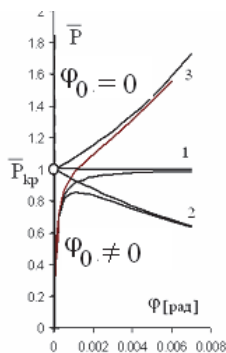


Рис. 3.

Анализируя приведенные на рис.3 графики можно сделать ряд выводов.

Характер траектории нагружения грунтового массива основания существенно влияет на закритическое деформирование стойки. Так для идеализированной стойки можно однозначно утверждать, что до потери единственности процесса деформирования в точке бифуркации исходного нулевого решения, стойка остается устойчивой.

После точки бифуркации исходного нулевого решения (графики 1,2,3 на рис. 3) в области начального закритического деформирования нелинейные решения могут быть различными в зависимости от характера траектории нагружения массива грунта основания.

Библиографический список

1. Иноземцев, В.К. Общая устойчивость сооружений на неоднородном нелинейно деформируемом основании / В.К. Иноземцев, Н.Ф. Синева, О.В. Иноземцева. – Саратов: Изд-во СГТУ, 2008.

РАСЧЕТ ЛИНЗООБРАЗНЫХМЕМБРАННО-ПНЕВМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ШАГОВЫМИ МЕТОДАМИ

Ким А.Ю.

СГТУ, г. Саратов, Россия

Развитие строительства с учетом современных достижений и в условиях мирового экономического кризиса требует повышения эффективности сооружений при экономии затрат за счёт внедрения прогрессивных конструкций и улучшения эксплуатационных качеств.

Мембранно-пневматические системы, как показал международный опыт строительства сооружений в течение последних десятилетий, относятся к прогрессивным конструкциям. Это облегчённые большепролетные системы сооружений, которые всё чаще возводятся в мире. Теория расчета таких сооружений находится ещё в стадии разработки. Сложилась ситуация, в которой, с одной стороны, ощущается необходимость в создании облегчённых и экономичных большепролётных сооружений для промышленности, сельского хозяйства, министерства обороны, МЧС и так далее, а, с другой стороны, несмотря на успехи и значительную работу, проделанную учёными в области проектирования таких сооружений, проявляется несовершенство теории расчёта. При расчете возникает необходимость учёта упругих свойств воздуха в пневматических полостях сооружений; потребность в учёте геометрической, физической и конструктивной нелинейности систем с использованием шаговых методов.

Отсюда вытекает научная проблема, требующая создания на основе существующих шаговых методов расчёта более совершенного метода для расчёта мембранно-пневматических сооружений с учётом последних достижений в области строительной механики, численных методов и ЭВМ.

Автор доклада для расчета таких систем разработал итерационный метод приращений параметров с поэтапным применением численной процедуры Эйлера-Коши и универсального уравнения состояния газа, предназначенный для статического расчёта мембранно-пневматических систем при последовательных нагружениях, для исследования и подбора параметров систем при целенаправленном варьировании параметров жёсткости и для динамического расчёта систем в форме итерационного метода приращений времени.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОЙ РОССИИ

Ким А.Ю.

СГТУ, г. Саратов, Россия

Около семидесяти лет прошло с того момента, когда инженеры впервые увидели пневматический купол, убедившись в его лёгкости, упругости и высокой сопротивляемости нагрузкам. В настоящее время уже более ста тысяч пневматических сооружений смонтированы на всех континентах мира.

В пневматических сооружениях всё новое – и материалы, и принципы функционирования, и характер эксплуатации. Традиционные материалы отличаются большим весом, способностью оказывать сопротивление всем видам напряжённого состояния. Материалы же мягких оболочек пневматических сооружений могут сопротивляться лишь растяжению.

В обычных конструкциях сооружений принцип предварительного напряжения всегда рассматривался как средство перераспределения усилий в си-

стеме с целью максимального использования прочностных свойств материалов. Предварительное же напряжение в пневматических конструкциях – это условие возможности их функционирования.

Согласно общепринятой классификации пневматические конструкции можно разделить на три группы: 1) воздухоопорные конструкции; 2) воздухо-несомые конструкции; 3) линзообразные конструкции.

Автор тезисов доклада принимал участие в расчетах и строительстве воздухоопорных сооружений в Приволжском регионе. И считает, что во многих ситуациях альтернативы пневматическим сооружениям просто нет. Это и военные действия, природные катастрофы, прием сотен тысяч беженцев. Практически целый город с населением в тридцать тысяч человек со своей инфраструктурой можно развернуть в течение двух – трех дней.

Причем там будут и госпитали, и поликлиника, и банно-прачечные заведения. Быстрота возведения, возможность свернуть и перебросить сотни сооружений за день на несколько десятков километров делает пневматические сооружения вне конкуренции с другими сооружениями из традиционных материалов. Это хорошо показали события на Украине летом 2015 года.

КОРРОЗИЯ В СТАЛЬНЫХ КАНАТАХ, УСИЛИВАЮЩИХ МЯГКУЮ ОБОЛОЧКУ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Ким А.Ю., Полников С.В.
СГТУ, г. Саратов, Россия

Усилие мягких оболочек канатами – эффективный путь решения проблемы больших пролетов пневматических сооружений (свыше 100 м.). Предельный пролет оболочки пневматического сооружения, даже с применением новых материалов, таких как кевлар или тефлон, достигает 60 метров. Дальнейшее увеличение пролетов за счет применения высокопрочного материала, становится экономически невыгодным, за счет резкого увеличения стоимости сооружения. Применение стальных канатов для усиления мягких оболочек пневматических сооружений экономически выгодно, так как при невысоких ценах на стальные канаты и недорогих материалах мягких оболочек пролет достигает 100 и более метров, что обычно достаточно для большинства спортивных или складских помещений.

Вопрос о размещении канатов над оболочкой или под ней, как правило, решается индивидуально в каждом конкретном случае, в зависимости от назначения сооружения и его конструктивных особенностей. Верхнее расположение канатов отличается простотой конструкции и непосредственной передачей усилий сетке, но в тоже время сетка канатов задерживает снег, и канаты находятся постоянно под воздействием влаги, что сказывается на скорости коррозии, обычно верхние канаты полностью выходят из строя за 13-15 лет.

При нижнем расположении канатов этих недостатков нет, однако конструкция усложняется и удорожается за счет промежуточных соединительных элементов. Внутренне расположение канатов, часто используют для архитектурной выразительности сооружения. Формируя оболочку, канаты фиксируются на ней, деформируясь и перемещаясь вместе с ней. У авторов есть данные о коррозии канатов в теплицах Ленинградской области как внутреннего, так и внешнего расположения. Наибольшая коррозия наблюдалась у канатов нижнего расположения теплиц, где действовали не только высокая влажность, но и испарения солей удобрений и химических препаратов, такие канаты полностью выходили из строя за 8 лет.

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПОДПОРНЫХ СТЕН В г. КРАСНОЯРСКЕ. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА ПОДПОРНЫХ СТЕН

Клиндух Н.Ю., Мезенцев В.В., Винтер А.В.
ИСИ СФУ, г. Красноярск, Россия

Из-за особенностей рельефа города Красноярска возникает острая необходимость применения подпорных стен в благоустройстве городской среды. Кроме того, применение данной конструкции может носить в себе и архитектурный замысел. Строительство и реконструкция подпорных стен остается одной из актуальнейших проблем нашего города.

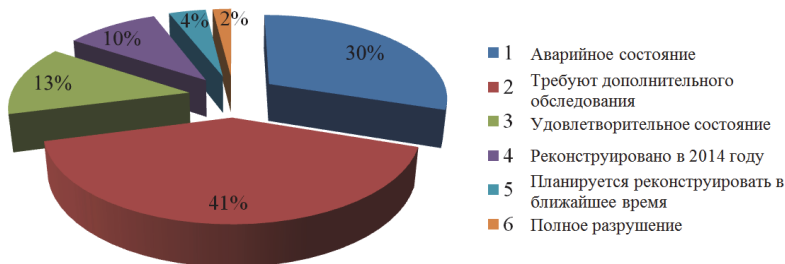


Рис. 1. Анализ состояния подпорных стен в городе Красноярске

Во многих случаях наблюдается бездействие и безответственность со стороны власти. По их словам, у нашего города не хватает бюджета на снос и новое строительство подпорных стен, хотя даже небольших реконструкций для увеличения сроков службы стен практически не проводится.

Мы проанализировали разработки в сфере строительства подпорных стен и выяснили, что есть альтернативные технологии, не требующие серьезных денежных затрат. Основными современными технологиями строительства подпорных стен, которые легко могут найти свое применение в городе Красноярске, являются:

1) Система армогрунтовых подпорных стен «Тенсар»

Эта технология заключается в использовании георешеток «Тенсар» для армирования грунта и различных облицовочных элементов, таких, например, как модульные бетонные блоки сухой кладки.

2) Система подпорных стен из габионных конструкций (габионов)

Габион представляет собой сооружение, имеющее пространственную прямоугольную или цилиндрическую форму, состоящую из прочной металлической сетки, заполненной природным камнем. Габионы (блоки) увязывают между собой проволокой, в результате чего получается гибкая подпорная стена.

СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ МОСТОВОГО ПЕРЕХОДА

Козырева Л. В., Забазнов В.В.
СГТУ, г. Саратов, Россия

Рассмотрено два подхода к проектированию мостового перехода.

Классической схемой мостового перехода является комплекс инженерных сооружений, который включает в себя: мост, подходные насыпи и регулирующие сооружения. В этой схеме отверстие и длина моста устанавливаются гидравлическими расчетами и имеют минимальные значения, подходные насыпи при этом могут быть достаточно высокими и протяженными. Проектирование мостового перехода по этой схеме было обосновано, прежде всего экономическими затратами. Возведение насыпей всегда было дешевле строительства мостовых сооружений, и для них требовался относительно невысокий уровень сложности работ. Но высокие и протяженные насыпи имеют и свои недостатки: большой объем земляных работ; использование большого количества грузовых машин и другой техники; ограниченная высота насыпей; стеснение реки в створе мостового перехода, размывы грунтов в подмостовом отверстии, приводящие к подмыву устоев и возможному изменению руслового процесса; необходимость устройства дорогостоящих регулирующих сооружений для направления водного потока; возможна осадка насыпей при слабых основаниях и нарушение их общей устойчивости; высокие и протяженные насыпи нарушают экологическое равновесие, наносят ущерб природе региона; насыпи занимают высокопродуктивные пойменные угодья и ограничивают хозяйственную деятельность людей.

Второй подход к проектированию мостового перехода, более современный, заключается в замене высоких протяженных насыпей на подходные эстакады, которые могут применяться даже при слабых грунтах основания; при отсутствии вблизи перехода грунтов, пригодных для возведения подходных насыпей; эстакады могут быть достаточно высокими. Стеснение реки в створе мостового перехода минимальное; регулирующие сооружения могут быть совсем небольшими или вовсе отсутствовать; эстакады обеспечивают хорошую

устойчивость мостового перехода и его конструктивных элементов; сводится к минимуму вред окружающей среде, учитываются экологические требования; незанятые насыпями пойменные угодья не ограничивают хозяйственную деятельность людей; эстакады, как и мосты, долговечны и обладают хорошим эстетическим видом. В качестве недостатка эстакад можно отметить относительно высокую стоимость, большой объем и высокий уровень сложности монтажных работ. Но эти недостатки окупаются ранее перечисленными достоинствами.

Примером использования эстакад на подходах к мостам взамен высоких и протяженных насыпей является строящийся в настоящее время мостовой переход в Павлодарской области в республике Казахстан, в котором четыре моста соединены между собой эстакадами.

СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ПЕШЕХОДНЫХ МОСТОВ

Козырева Л.В., Муравьев Д.Ю.
СГТУ, г. Саратов, Россия

Пешеходные мосты в городе выполняют транспортные функции, необходимы для безопасного движения пешеходов и является элементом общей планировочной структуры, поэтому к ним предъявляются повышенные эстетические требования.

При проектировании пешеходных мостов требуется такой же тщательный и грамотный подход, как к любым другим мостовым сооружениям, но есть и существенные отличия. Например, пешеходный мост может быть оснащен специальным оборудованием в виде лифта, лестничные сходы могут оснащаться эскалаторами, для удобства пешеходов на длинных переходах могут устраиваться горизонтальные траволаторы, для защиты пешеходов от осадков пешеходные мосты нередко делают крытыми, для предотвращения обледенения пролетного строения и лестничных сходов устраивают подогрев.

К традиционным материалам используемых при строительстве объектов транспортной инфраструктуры относятся стальной прокат и железобетон. Альтернативой которых является строительство крытых (многоцветным поликарбонатным материалом), надземных переходов из композитных материалов.

Композитные материалы для строительства надземных пешеходных переходов – это стеклопластиковые или базальтопластиковые профили. К основным преимуществам мостов из композитных профилей по сравнению со стальными конструкциями следует отнести:

- высокую коррозионную и химическую стойкость стеклопластика (базальтопластика);
- сопротивляемость ветровым нагрузкам;

- возможность поставки в виде отдельно собранных, легко транспортируемых, заменяемых и наращиваемых модульных конструкций;
 - легковесность и возможность использования ручной сборки в труднодоступных для техники местах;
 - интегральное снижение монтажных расходов, массы опорных конструкций, снижение эксплуатационных расходов.
 - сроки возведения сооружений сокращаются в 2-3 раза.
- Обязательными требованиями к материалу мостовых пешеходных конструкций является негорючесть и «вандалоустойчивость».

О ПРОБЛЕМЕ ВЫБОРА МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Косивцов Ю.Г., Новиченкова Т.Б.
ТвГТУ, г. Тверь, Россия

Данная проблема имеет важное экономическое значение, поскольку от её решения зависит стоимость бетонных смесей и всей продукции на их основе.

Часто вместо крупных фракций щебня, когда это возможно, применяют мелкие и этим неизбежно повышают расход цемента. При изготовлении железобетонных изделий умеренной проектной прочности, но с требованием повышенной морозостойкости зачастую применяют цемент М500 (класса 52,5) и получают непомерно завышенную прочность бетона, зато обеспечивают необходимую морозостойкость, но такая задача элементарно решается при использовании цемента М300 (класса 32,5). А что касается применения химических добавок для бетона, то здесь ситуация ещё сложнее, к тому же большинство производителей этих добавок в рекламных проспектах расхваливают свою продукцию, что не всегда приводит к её наиболее выгодному использованию, возможны и лучшие варианты.

Нередко проблемы по приобретению цемента, заполнителей и химических добавок для бетона обычно решают ориентировочно по интуиции, в лучшем случае по данным ограниченного количества экспериментов и путем приближительных ручных прикидок и вычислений. Но их решение можно существенно ускорить и улучшить при помощи методов, основывающихся на возможностях компьютерной системы ТСП для строителей, разработанной на базе Тверского государственного технического университета.

Расчет состава бетона можно выполнить по специальной программе SPKSOTB (строительное производство, корректирование состава обычного тяжелого бетона), которая входит в состав системы ТСП. Далее выявление применения наиболее выгодного пластификатора, других добавок, цемента, песка, щебня или их сочетания сводится к использованию программы SPSWRMR (строительное производство, сравнение вариантов расхода материальных ре-

сурсов) по методике, имеющейся в системе ТСП. Для этого необходимо рассчитать составы бетонных смесей с одинаковой ОК при равной прочности бетонов по программе SPRSOTB с использованием характеристик сравниваемых материалов, а результаты расчета их расхода и цены на них ввести в матрицу программы SPSWRMR. Результаты расчета по этой программе покажут, какие материалы применять выгоднее. Для наглядности результатов сравнения рекомендуется в матрицу исходных данных этой программы вводить расходы материалов на 100 кубометров бетонной смеси.

УСТОЙЧИВОСТЬ ГЕОМЕТРИЧЕСКИ И ФИЗИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНЫХ ПОЛОГИХ АРОК

Кривошеин И.В., Адылов А.М.
СГТУ, г. Саратов, Россия

Проводим исследование устойчивости статически неопределимых пологих арок, изготовленных из материала с выраженной площадкой текучести, используя аналогии с расчетом цилиндрических панелей по теории В.З. Власова. Используем для описания опытной зависимости $\sigma - \varepsilon$ кубические сплайны, дающие на площадке текучести величины касательного модуля, весьма близкие к нулю. Это вынуждает использовать для решения нелинейной краевой задачи метод переменных параметров упругости И.А. Биргера, в алгоритме которого используются величины секущего модуля. Рассматриваем схематизированное поперечное сечение арки, состоящее из трех прямоугольников. При этом сохраняем соотношения, характерные для двутавра № 40, а именно: $h=0,4$ (м), $b=0,155$ (м), $t=0,013$ (м), $d=0,0083$ (м). Рассматриваем шарнирно неподвижно закрепленную в пятовых опорах пологую арку с пролетом $L=36$ (м), высотой поперечного сечения $h=0,4$ (м), стрелой подъема $f=0,2L=7,2$ (м), кривизной $k_x=0,8/18=0,0444(4)$, изготовленную из стали. Результаты исследования сходимости решений по методу конечных разностей представлены в таблице.

N		P	W_{\max}	$P_{\text{суп.}}/P_e$	$M_{\varepsilon \max} 10^3$	$ N_{\varepsilon} _{\max}$	σ_{\max}
128	$P_{\text{суп.}}$	15,684	0,10833	0,9843	4,04696	0,3648	216,868
	P_e	15,935	0,13800		6,93246	0,3710	229,358
256	$P_{\text{суп.}}$	15,617	0,10647	0,9839	3,99446	0,3631	215,632
	P_e	15,872	0,13800		7,13968	0,3693	229,254
512	$P_{\text{суп.}}$	15,599	0,10601	0,9838	3,98192	0,3627	215,323
	P_e	15,855	0,13800		7,18294	0,3690	229,240

Данные таблицы свидетельствуют о высокой скорости сходимости решений МКР по всем параметрам напряженно-деформированного состояния

(НДС) гибкой пологой физически нелинейной арки. При этом разбиение длины арки на $N=256$ участков позволяет достичь практической сходимости рассматриваемой нелинейной краевой задачи (НКЗ) по всем параметрам НДС пологой арки. Отметим, что разработанный алгоритм с использованием численного интегрирования по формуле Симпсона позволяет рассчитывать геометрически и физически нелинейные пологие арки с тонкостенными поперечными сечениями, являющимися наиболее экономичными в конструкциях, работающих на сжатие и изгиб.

ИССЛЕДОВАНИЕ НДС ПОЛОГИХ АРОК ИЗ НЕЛИНЕЙНО ДЕФОРМИРУЕМОГО МАТЕРИАЛА

Кривошеин И.В., Адылов А.М.
СГТУ, г. Саратов, Россия

При учете физической нелинейности в статически неопределимых пологих арках система разрешающих уравнений в перемещениях имеет вид

$$\left\{ \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} - k_x \frac{\partial W}{\partial x} \right) I_{1c} + \left[\frac{\partial U}{\partial x} - k_x W \right] \frac{\partial I_{1c}}{\partial x} - \frac{\partial^3 W}{\partial x^3} I_{2c} - \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \frac{\partial I_{2c}}{\partial x} \right\} = 0,$$

$$\left(\frac{\partial^3 U}{\partial x^3} - k_x \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \right) I_{2c} + 2 \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} - k_x \frac{\partial W}{\partial x} \right) \frac{\partial I_{2c}}{\partial x} + \left(\frac{\partial U}{\partial x} - k_x W \right) \frac{\partial^2 I_{2c}}{\partial x^2} - \frac{\partial^4 W}{\partial x^4} I_{3c} -$$

$$- 2 \frac{\partial^3 W}{\partial x^3} \frac{\partial I_{3c}}{\partial x} - \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \frac{\partial^2 I_{3c}}{\partial x^2} + \left(\frac{\partial U}{\partial x} - k_x W \right) k_x I_{1c} - \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} k_x I_{2c} = -q, \quad (1)$$

где величины жесткостей записываются в следующем виде

$$I_{1c} = \int_{-\bar{h}/2}^{\bar{h}/2} E_c b dz, \quad I_{2c} = \int_{-\bar{h}/2}^{\bar{h}/2} E_c b z dz, \quad I_{3c} = \int_{-\bar{h}/2}^{\bar{h}/2} E_c b z^2 dz.$$

Приводим уравнения (1) к безразмерному виду с использованием формул

$$\xi = \frac{x}{a}, q = \frac{12qa^4}{Ebh_0^4}, k_\xi = \frac{k(2a)^2}{h_0}, w = \frac{W}{h_0}, u = \frac{Ua}{h_0^2}, M_\xi = \frac{Ma^2}{Ebh_0^4}, N_\xi = \frac{Na^2}{Ebh_0^3}. \quad (2)$$

Аппроксимируем нелинейную зависимость $\sigma - \varepsilon$ в материале арки кубическими сплайнами и решаем систему уравнений (1) при заданных граничных условиях методом конечных разностей с использованием алгоритма метода Ньютона-Канторовича. Исследуем возможность пренебрежения в уравнениях (1) величиной жесткости I_{2c} , что соответствует исключению взаимного влияния величины изгибающего момента M и продольного усилия N . В таблице для шарнирно неподвижно опертых арок с параметрами $b = h/3$, $h = L/10$, $k_\xi = 16$ сопоставлены результаты расчетов при учете жесткости I_{2c} (числитель) и при задании $I_{2c} = 0$ (знаменатель).

N	P	w_{\max}	u_{\max}	$M_{\xi \max} \cdot 10^2$	$ N_{\xi} _{\max}$	σ_{\max}
512	4,417004	0,15	7,750007	2,147643	0,446683	90,46163
	4,497486	0,15	7,876581	2,801743	0,450978	90,01959

Данные таблицы показывают, что при взятии величины $I_{2c} = 0$ в подсчете величины $M_{\xi \max}$ допускается погрешность в 30,46%, что свидетельствует о необходимости учета всех слагаемых в уравнениях (1).

МЕТОД РАСЧЕТА НЕЛИНЕЙНО ДЕФОРМИРУЕМЫХ БАЛОК С ЛОКАЛЬНЫМИ ПОВРЕЖДЕНИЯМИ

Кривошеин И.В., Савочкин А.А.
СГТУ, г. Саратов, Россия

При реальных условиях эксплуатации балок возможны воздействия концентрированных агрессивных сред на ограниченных по длине участках балок, что приводит к появлению и развитию повреждений материала на данных участках (локальных повреждений), определяющих локальное снижение изгибной жесткости и перераспределение усилий по длине статически неопределимых балок. Делим длину балки L на « n » одинаковых отрезков $\Delta x = L/n$, в пределах каждого из них берем величину изгибной жесткости в виде $J_{ci} = const$, что трансформирует исходную нелинейную краевую задачу к решению совокупности уравнений с постоянными коэффициентами вида

$$J_{ci}(x_i)W_i''''(x_i) = q_i(x_i) \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

и позволяет использовать для любых условий опирания балок в функциях $W_i(x_i)$, $\varphi_i(x_i)$, $M_i(x_i)$, $Q_i(x_i)$ аналитические выражения, являющиеся точным решением уравнения (1). Рассматриваем нелинейно деформируемый материал балок с характеристиками $E = 5,0881 \cdot 10^9$ (Па), $\varepsilon_{i \max} = 0,03$, $\sigma_{i \max} = 102$ (МПа).

Рассматриваем балку длиной $L = 6$ (м) с прямоугольным поперечным сечением $b \times h = 0,2 \times 0,4$ (м²), защемленную по концам и нагруженную сосредоточенными силовыми факторами $P = 2 \cdot 10^5$ Н, $m = 2 \cdot 10^5$ Нм с координатами $xP = 1,5$ (м) и $xM = 3,75$ (м), а также распределенной нагрузкой $q = 10^5$ Н/м по всей длине балки. В таблице даны результаты расчета балки с локальным повреждением длиной $\Delta L = L/16$, расположенным у левой заделки балки, причем параметр поврежденности равен $\Pi = J_{c \text{ повр.}} / J_{c \text{ неповр.}}$.

Π	$W_{\max} \cdot 10$ (м)	$ \varphi_{\max} \cdot 10^2$	$ M(0) \cdot 10^{-5}$ (Кн м)	$Q_{\max} \cdot 10^{-5}$ (Кн)	$\varepsilon_{x \max} \cdot 10^2$
1	1,050451	5,805046	5,247700	5,132486	1,337952
0,8	1,119042	6,172511	4,937159	5,056111	1,404302
0,6	1,243610	6,872925	4,392721	4,921933	1,524442

Результаты показывают, что снижение величины жесткости у левой заделки приводит к снижению величины момента $|M(0)|$ и росту величины момента M_{\max} в пролете балки, при этом разбиение длины балки на $N = 128$ участков позволяет получить полностью достоверное решение задачи.

О РАСЧЕТЕ БАЛОК С ЛОКАЛЬНЫМИ ПОВРЕЖДЕНИЯМИ НА СПЛОШНОМ УПРУГОМ ОСНОВАНИИ

Кривошеин И.В., Савочкин А.А.

СГТУ, г. Саратов, Россия

В публикации данного сборника «Метод расчета нелинейно деформируемых балок с локальными повреждениями» Кривошеина И.В. и Савочкина А.А. дана постановка задачи о расчете поврежденных балок на дискретных опорах и описание предлагаемого метода расчета нелинейно деформируемых балок. В случае опирания балки на сплошное упругое основание используем гипотезу Винклера о пропорциональности реактивного отпора основания $R(x)$ (n/m) прогибу $W(x)$ (m) физически нелинейной балки. В итоге исходная нелинейная краевая задача трансформируется в задачу решения совокупности уравнений с постоянными коэффициентами вида

$$J_{ci}(x_i)W_i''''(x_i) + K_i(x)W_i(x) = q_i(x_i) \quad (i=1, 2, \dots, n), \quad (1)$$

что позволяет использовать для любых условий опирания балок в функциях $W_i(x_i)$, $\varphi_i(x_i)$, $M_i(x_i)$, $Q_i(x_i)$ аналитические выражения, аналогичные функциям акад. А.Н. Крылова и являющиеся точным решением уравнения (1). Рассматриваем нелинейно деформируемый материал балок с характеристиками $E = 3,1994 \cdot 10^9$ (Па), $\varepsilon_{i\max} = 0,065$, $\sigma_{i\max} = 152,1$ (МПа). Рассматриваем балку длиной $L = 6$ (м) с прямоугольным поперечным сечением $b \times h = 0,3 \times 0,4$ (m^2), защемленную по концам и нагруженную сосредоточенными силовыми факторами $P = 5 \cdot 10^5$ Н, $m = -5 \cdot 10^5$ Нм с координатами $xP = 4,5$ (м) и $xM = 2,25$ (м), а также распределенной нагрузкой $q = 5 \cdot 10^5$ Н/м по всей длине балки. Погонный коэффициент отпора упругого основания принимаем равным $K = 12$ (МПа). В таблице даны результаты расчета балки с локальным повреждением длиной $\Delta L = L/16$, расположенным непосредственно слева от сечения балки $x = 3L/4$. Параметр поврежденности равен $\Pi = J_{c\text{повр.}} / J_{c\text{неповр.}}$.

Π	$W_{\max} \cdot 10^2$ (м)	$ \varphi_{\max} \cdot 10^2$	$ M_{\max} \cdot 10^{-5}$ (КНм)	$Q_{\max} \cdot 10^{-5}$ (КН)	$\varepsilon_{x\max} \cdot 10^2$
1,00	6,154543	4,039270	4,899992	7,274905	1,972483
0,50	6,152260	4,236040	4,922468	7,105718	1,981790
0,05	6,622925	5,399200	5,049195	6,389350	5,530398

Получено, что упомянутое снижение жесткости $J_c(x)$ в пролете балки приводит к возрастанию величины момента $|M_{\max}|$ в сечении правой заделки балки и снижению величины экстремального момента M_{\max} в пролете балки.

ДВЕ РАСЧЁТНЫЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ПРЯМЫХ ЗАМКНУТЫХ ПРИЗМАТИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК

Кузнецов О.Р.
СГТУ, г. Саратов, Россия

Прямые замкнутые тонкостенные призматические оболочки приняты за расчётную схему конструкций, которые широко применяются в различных областях техники. Эти конструкции обладают высокой удельной (по отношению к весу) прочностью с возможностью использования внутреннего объёма. С учётом назначения конструкции их условно можно разделить на два типа. Первый тип – характеризуется повышенными требованиями к жесткости контура поперечного сечения в его плоскости. Например, крыло летального аппарата – неизменяемость его формы поперечного сечения необходима для обеспечения заданных аэродинамических характеристик. Наличие сквозного объема отступает на второй план. Второй тип – характеризуется требованием наличия сквозного объема. Например, тоннели, пространственные конструкции железнодорожных мостовых пролетов. К конструкциям этого типа предъявляются пониженные требования к жесткости контура поперечного сечения. С учётом наличия двух типов конструкций используются две расчётные модели: – с жёстким контуром поперечного сечения и с деформируемым контуром.

Для расчётной модели с жёстким контуром поперечного сечения в теоретическом плане, по крайней мере, в линейной постановке, все вопросы, связанные с их расчётом, получили достаточное обоснование. Теоретическим вопросом связанных с деформацией контура в его плоскости, в литературе уделялось значительно меньше внимания. Это связано с непроработанностью некоторых вопросов вычислительного характера, и с недооценкой влияния учета деформации контура на НДС оболочки. Для учета деформации контура В.З. Власовым для прямоугольного контура поперечного сечения была предложена функция $\psi_1(s)$, которая позволяет частично учитывать деформацию контура (рис. 1).



Рис. 1

Результаты расчетов, выполнение с привлечением этой функции, показали, что учет деформации контура приводит к качественному изменению характера НДС оболочки по сравнению с жестким контуром.

Однако в этом случае:

- невозможна автоматизация вычисления коэффициентов, связанных с функцией $\psi_1(s)$ в выражении для вариации потенциальной энергии δW , неопределенность в способах определения касательных напряжений и некоторые др.;

- недостаточны возможности функции $\psi_1(s)$ для учета деформации контура;

- резко возросшие трудности вычислительного характера привели к постепенному сокращению публикаций на эту тему.

НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ УЧЁТЕ ДЕФОРМАЦИИ КОНТУРА В РАСЧЁТАХ ПРИЗМАТИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК

Кузнецов О.Р., Лукачёва Е.И.
СГТУ, г. Саратов, Россия

На первом этапе теоретических исследований связанных с деформацией контура, в условиях отсутствия систематизированных результатов экспериментов, непроработанностью ряда теоретических вопросов связанных с исследованием влияния отдельных компонентов НДС на общее напряженное состояние оболочки было сочтено, что функция $\psi_1(s)$ в основном закрывает эту проблему. Некоторое время эту функцию с энтузиазмом использовали в практике инженерных расчётов, по крайней мере, на уровне научно-технических рекомендаций. Однако в условиях нормальной эксплуатации в реальных конструкциях, деформация контура носит слабо-умеренный характер и функция $\psi_1(s)$ даже качественно плохо отражает этот процесс.

Поэтому с учётом трудностей вычислительного характера, о которых говорилось выше, а также то, что не совсем понятно, что собственно учитывается и вообще, имеется ли необходимость в учёте деформации контура при расчёте реальных конструкций, привели к постепенному сокращению публикаций на эту тему.

При этом конструкции такого типа продолжали широко применяться в индустриальной практике. В некоторых случаях они разрушались. Поэтому не прекращались теоретические исследования их НДС. В этой связи поднялся вопрос, от которого длительное время «отмахивались». А именно нормальные и касательные напряжения, которые определяются с помощью физических соотношений, не удовлетворяют уравнению равновесия

$$\partial\sigma_{22}/\partial z + \partial\sigma_{12}/\partial s = 0 \quad (1)$$

выделенного бесконечно малого элемента срединной поверхности оболочки. Наглядно это обстоятельство иллюстрируется следующим образом. Касательные напряжения, полученные на основе соотношения (1), в общем виде записываются таким образом

$$\sigma_{12}(z, s) = f(z)B(s) + \sigma_{12}^0 \quad (2)$$

где $f(z)$ – обобщенное решение разрешающих уравнений; σ_{12}^0 – постоянная, которая определяется из известных условий. Эпюра $B(s)$ (рис. 1) задает характер распределения касательных напряжений вдоль контура и однозначно строится по эпюре депланационной функции.

Характер распределения касательных напряжений вдоль контура поперечного сечения при кручении полученный на основе закона Гука приведен на рис.2. Видно, что значения касательных напряжений, полученные этими двумя способами, значительно отличаются друг от друга.

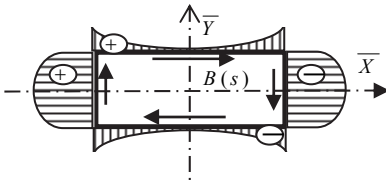


Рис. 1

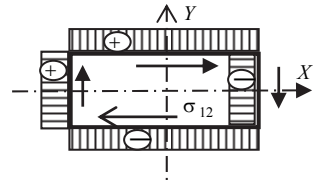


Рис. 2

В работах В.З. Власова, И.Ф. Образцова рекомендуется определять касательные напряжения из уравнений (1), (2). Таким образом, неявно предполагается, что касательных напряжения являются следствием и определяются, на основе нормальных депланационных, напряжений. При этом процесс определения постоянной интегрирования σ_{12}^0 не поддается автоматизации. Рядом авторов предполагались различные способы численного вычисления постоянной σ_{12}^0 . Эти способы не обладали необходимой универсальностью и требовали определенную подготовительную работу. Поэтому вопросы, связанные с вычислением касательных напряжений, постепенно «вымывались» из работ исследований.

В предложении жесткости контура поперечного сечения касательные напряжения не превосходят депланационных, и вопрос о выборе способа вычисления касательных напряжений носит скорее методологический характер.

При учете деформации контура в ряде случаев приложения внешней нагрузки касательные напряжения могут значительно превосходить депланационные напряжения. Поэтому возникла необходимость в экспериментальном изучении влияния деформации контура на НДС оболочки (и в частности касательных напряжений).

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НДС ОБОЛОЧКИ С ДЕФОРМИРОВАННЫМ КОНТУРОМ ДЛЯ РЕЗИНОВЫХ ОБРАЗЦОВ

Кузнецов О.Р., Малахов Р.А.
СГТУ, г. Саратов, Россия

Для определения характера деформирования и НДС прямых замкнутых призматических оболочек многочисленными исследователями проводились опыты на стальных и резиновых образцах с деформированным прямоугольным контуром поперечного сечения. В основном эти исследования выполнялись в ЦАГИ им. Н.Е.Жуковского. Наибольшую известность получили результаты экспериментов, приведенные в работах К.Ф. Ковалова, Ю.И. Янга. Рассматривалось кручение прямого замкнутого призматического кессона с прямоугольным контуром поперечного сечения. Левый конец жестко закреплен. Оболочка нагружалась крутящей нагрузкой:

- на свободном конце нагрузка передавалась через диафрагму и без неё;
- вдоль оболочки ставились редко расположенные диафрагмы на равном расстоянии друг от друга, через которые передавалась крутящая нагрузка;
- вдоль оболочки устанавливались часто расположенные диафрагмы, через которые передавалась крутящая нагрузка. Геометрические параметры оболочки ($\eta = d_2/d_1$, $\eta_1 = l_0/d_2$, $\eta_2 = d_2/\delta$): $\eta = 4$; $\eta_1 = 3,2$; $\eta_2 = 206$; $d_2 = 72$ см; $\delta_1 = \delta_2 = \delta$.

Для исследования углов сдвига рассматривалось кручение резиновых образцов. Были получены следующие результаты:

1. При малой толщине стенок склонность замкнутого контура к деформированию оказывается настолько сильной, что:

- на опыте не удастся в удовлетворительном виде осуществить чистое кручение;

- различным способом приложенные на свободном конце статически эквивалентные между собой крутящие моменты приводят к различной на всём протяжении оболочки всей картины деформации.

- неизбежные неравномерности в приложении касательных сил на концевых сечениях влекут за собой существенные изменения в картине деформации, которые сохраняются на значительном расстоянии от места их приложения;

- характер деформации, возникающий при приложении крутящего момента на свободном конце через диафрагму, радикально отличается от одного при приложении крутящего без диафрагмы непосредственно к контуру посредством системы касательных сил;

- отпадает, как определенная геометрическая характеристика деформации, величина угла поворота сечения. Угол поворота отдельных элементов, составляющих контур, оказывается различным.

2. По мере увеличения толщины стенок оболочки интенсивность описанных выше явлений снижается. При этом деформации контура продолжает наблюдаться и оказывать влияние на деформацию оболочки даже при весьма значительной толщине ее стенок.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НДС ПРЯМЫХ СТАЛЬНЫХ КЕССОНОВ ПРИ КРУЧЕНИИ

Кузнецов О.Р., Никифорова А.А.
СГТУ, г. Саратов, Россия

Для получения дальнейших экспериментальных результатов проводились опыты на кручение стальных и резиновых кессонов с прямоугольным деформированным контуром. Условие проведения экспериментов сохранились прежними. Получены следующие результаты.

1. Для изучения распределения касательных сил по контуру сечений были проведены измерения сдвигов. Величины сдвигов получались настолько мало отличающимися друг от друга, что различия между ними как вдоль одного и того же контура, так и по длине стержня практически терялись в естественном разбросе экспериментальных данных. Эти результаты свидетельствуют о значительно большей равномерности потоков касательных напряжений, чем следует из гипотезы о недеформируемости контура.

2. Деформация контура поперечного сечения в своей плоскости приводит к возникновению нормальных напряжений на продольных сечениях оболочки. Значения этих напряжения невелики и значительно уступают касательным напряжениям.

3. Величины $\partial U / \partial s$ слабо изменяются вдоль контура поперечного сечения. Напомним, что это величина характеризует форму депланации поперечного сечения. То-есть депланация поперечного сечения имеет более спокойный (ровный) характер, чем это следует из соотношений, использующих предположение о жесткости контура поперечного сечения.

4. Затухание нормальных депланационных напряжений по мере удаления от заделанного сечения идет значительно слабее, чем в предположении недеформируемости контура поперечного сечения. Этот результат и должен наблюдаться при слабо выраженной неравномерности потока касательных напряжений в поперечных сечениях (см. п. 3).

5. Опыты на резиновых образцах с часто расположенными поперечными диафрагмами показали, что в сечениях, близких к диафрагмам вдоль его контура, значительно увеличивается неравномерность:

- потоков касательных напряжений и депланации поперечного сечения.

Заключение. Полученные экспериментальные данные наметили пути теоретических исследований НДС оболочек с деформируемым контуром.

ВЛИЯНИЕ УЧЁТА ПРОДОЛЬНОЙ ДЕФОРМАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ, СОСТАВЛЯЮЩИХ КОНТУР, НА НДС ОБОЛОЧКИ

Кузнецов О.Р., Парменов С.В.

СГТУ, г. Саратов, Россия

Результаты экспериментальных данных приведенных выше показывают, что поведение оболочек рассматриваемого типа имеют сложный характер, зависит от различных факторов, и гипотеза о жёсткости контура поперечного сечения в его плоскости справедлива в сравнительно узкой конструкционной области. Таким образом, для более правильного представления о работе конструкции под нагрузкой желательно учитывать, возможно, большее число компонентов её НДС. Т.е. при их расчёте использовать минимальное число гипотез. Для этих целей использовались дополнительно к функции $\psi_0(s)$ задающей перемещения точек контура в его плоскости как жёсткого тела, функции $\psi_1(s)$, $\psi_2(s)$, $\psi_3(s)$ учитывающие деформацию контура в частности растяжимость элементов составляющих контур.

Статико-геометрическая модель оболочки базировалась на следующих геометрических и физических соотношениях:

$$\varepsilon_{11} = \frac{\partial V(z,s)}{\partial s}; \quad \varepsilon_{22} = \frac{\partial U(z,s)}{\partial z}; \quad \varepsilon_{12} = \frac{\partial U(z,s)}{\partial s} + \frac{\partial V(z,s)}{\partial z}$$

$$\kappa_1 = -\frac{\partial^2 W(z,s)}{\partial z^2} = 0; \quad \kappa_2 = -\frac{\partial^2 W(z,s)}{\partial s^2}; \quad \tau_1 = -\frac{\partial^2 W(z,s)}{\partial z \partial s}.$$

Вариация потенциальной энергии записывалась в виде

$$\delta W = \int_0^{l_0} \delta \left(N_1 \delta \varepsilon_{11} + N_2 \delta \varepsilon_{22} + S \delta \varepsilon_{12} + M_1 \delta \kappa_1 + 2H \delta \tau \right) dz ds.$$

Заключение. Результаты численных экспериментов, выполненных на основе этой расчётной модели, показывают, что:

- при учете растяжимости элементов, составляющих контур, в продольных сечениях оболочки появляются нормальные напряжения, связанные с деформацией ε_s ; величина этих напряжений не превосходит 3% от максимальных нормальных деформационных напряжений, которые действуют в поперечных сечениях оболочки (этот результат согласуется с экспериментальными данными приведенными выше);

- вид разложения допускается таким, что деформация элементов, составляющих контур оболочки, может быть отлична от нуля, то есть $\varepsilon_s \neq 0$, но эта деформация должна быть такой, что длина сторон контура не меняется в результате этой деформации.

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫМ ОБРАЗОМ ПРИЛОЖЕННОЙ НАГРУЗКИ НА НДС ОБОЛОЧКИ

Кузнецов О.Р., Решетникова А.А.

СГТУ, г. Саратов, Россия

Используя разрешающие соотношения, полученные на основе расчётной модели, описанной выше, исследовалось влияние статически эквивалентных, но различным образом предложенных нагрузок. На основе проведенных численных исследований получены следующие результаты.

В предположении жесткости контура поперечного сечения статически эквивалентные внешние крутящие нагрузки вызывают одинаковые НДС оболочек. В этом случае говорить о характере распределения внешней нагрузки вдоль контура оболочек смысла не имеет.

В случае деформируемого контура экспериментальные данные свидетельствуют о том, что «различным способом приложенные на свободном конце статически эквивалентные между собой крутящие моменты приводят к различной на всём протяжении оболочки всей картины деформации».

В результате представления разложения для $V(z, s)$ с функциями $\psi_1(s)$, $\psi_2(s)$, $\psi_3(s)$ появляется возможность рассматривать распределение нагрузки вдоль контура по различным схемам, которые условно назовем «А», «В», «С» и их линейным комбинациям. Тем самым оказывается возможным теоретически осмыслить результаты экспериментальных данных.

Исследовалось влияние характера распределения вдоль контура оболочки внешней нагрузки на ее НДС. Нагрузка рассматривалась приложенной по контуру по схемам «А», «В», «С». Рассматривалось действие статически эквивалентных нагрузок. При уменьшении толщины стенок оболочки нагрузка пропорционально уменьшалась.

1. При использовании расчетной модели с разложением для функции $V(z, s)$ крутящую нагрузку, действующую на оболочку, нельзя заменить другой, статически ей эквивалентной. Статически эквивалентная нагрузка, но с различным характером ее распределения вдоль контура (в частности по схеме «А», «В», «С») вызывает качественно разное НДС оболочки. При этом значение величин НДС изменяются в десятки раз.

2. Полученные теоретические результаты согласуются с результатами экспериментальных данных приведенных выше.

3. В практике проектирования конструкций такого типа следует учитывать, что реальные способы приложения нагрузки могут отличаться от расчетных.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Ларсен О.А.

МГСУ, г. Москва, Россия

Последнее десятилетие ознаменовалось новым технологическим прорывом в области применения наноматериалов, так как современное строительное материаловедение требует разработки и создания новых эффективных материалов и технологий [1, 2].

При использовании добавок наноуровня наблюдаются коренные изменения физико-химических свойств строительных материалов, что обусловлено их уникальными физическими и химическими свойствами.

Во всем мире за год производится всего лишь несколько тысяч тонн наноматериалов. Увеличение спроса на продукцию заставляет производителей наращивать мощности производства, что может привести к попаданию наночастиц в окружающую среду посредством выбросов нанотехнологических предприятий в воздух и сточные воды.

Потенциально опасным объектом, в котором концентрация наноматериалов может достигать критических значений, является место их производства. Внедрение наноматериалов в различных отраслях промышленности будет зависеть от приоритета между коммерческой выгодой и риском воздействия на окружающую среду и, в частности, на человека.

Исследования в области негативного влияния наноматериалов на человека и окружающую среду интенсивно развиваются в нашей стране и за рубежом.

Перспективы применения наноматериалов позволят улучшить качество жизни общества. Однако с развитием этого направления необходимо учитывать последствия, которые они будут оказывать на здоровье людей и окружающую среду, отдавая первостепенное значение оценке их влияния на безопасность.

Библиографический список

1. Алимов, Л.А. Дилатометрический метод анализа структуры наномодифицированных бетонов / Л.А. Алимов, К.С. Стенечкина, В.В. Воронин, О.В. Александрова // Промышленное и гражданское строительство. 2015. – № 4. – С. 58-61.
2. Попов, К.Н., Каддо М.Б. Строительные материалы и изделия / К.Н. Попов, М.Б. Каддо. – М: Высшая школа, 2008.
3. Андрианов, Р.А. Защитно-покровные материалы на основе фенолоформальдегидных олигомеров / Р.А. Андрианов, А.М. Орлова, С.Б. Аширбекова, О.В. Александрова // Конструкции из композиционных материалов, 2006. – № 2. – С. 3-13.

НАНОГЛИНЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Ларсен О.А., Решетнева П.А.
МГСУ, г. Москва, Россия

Одними из наиболее применяемых наноматериалов в технологии бетона являются глины, которые представляют собой материал, состоящий из наноразмерных частиц или нанотрубок. Добавки наночастиц слоистых алюмосиликатов получили широкое применение в цементных композитах. Изучены свойства цементных композитов с монтмориллонитовыми, метакаолинитовыми и галлуазитовыми нанодобавками. Одним из главных преимуществ наноглин является их экологическая безопасность.

Впервые упоминание о применении в Китае каолиновых глин относится к третьему веку до нашей эры. Этот материал применялся с доисторических времен благодаря пластическим и вяжущим свойствам. Также глинистые материалы получили широкое применение при производстве портландцемента, в качестве активных минеральных добавок.

Глины содержат примеси в виде железистых соединений, кварца, карбонатов кальция и магния, гипса, полевого шпата и ряда других веществ. Применять их в таком виде нельзя, необходима предварительная обработка по очистке от примесей щелочных металлов, термообработка.

Одной из разновидностей глинистых минералов является галлуазит. Трубочатая структура галлуазита была обнаружена еще в 1950-х гг. Месторождения нанотрубок галлуазита имеются во Франции, в Бельгии, Китае и Новой Зеландии.

Многочисленными исследованиями установлено, что введение наночастиц на основе слоистых алюмосиликатов способствует повышению степени гидратации, созданию плотной микроструктуры, снижению газопроницаемости, повышению прочности цементных композитов [1, 2].

Таким образом, можно предположить, что наноглины могут быть перспективными нанодобавками в технологии бетона в связи с их экологической безопасностью и невысокой стоимостью, являясь природным продуктом, затраты на получение которых невысоки.

Библиографический список

1. Morsy M.S. Effect of Nano-clay on Mechanical Properties and Microstructure of Ordinary Portland Cement Mortar/ M. S. Morsy, S. H. Alsayed and M. Aqel // International Journal of Civil & Environmental Engineering IJCEE-IJENS, 2010. – Vol 1. – P. 21-25.

2. Андрианов, Р.А. Защитно-покровные материалы на основе фенолоформальдегидных олигомеров / Р.А. Андрианов, А.М. Орлова, С.Б. Аширбекова, О.В. Александрова // Конструкции из композиционных материалов, 2006. – № 2. – С. 3-13.

МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ – ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССА

Леонов В.М.
ТулГУ, г. Тула, Россия

Произведен анализ характеристик процесса магнитно-импульсной обработки материалов на основе разработанной модели (реализующая программа Tetra Compound v.1.1, свидетельство № 2013610558). В основу модели положены соотношения Трещева А.А. [1, 2]. Построенная конечно-элементная модель позволяет производить детальный анализ всех параметров напряженно-деформированного состояния для любой выбранной области исходной заготовки (при расчете рассматривался сплав АМг2М).

Рассматривается формоизменение образца при длительности процесса более 25 мкс. для осевого и продольного сечения, а также сечения под углом 45° от оси заготовки на операции отбортовки бокового отверстия. Расстояние выбранных точек от края отверстия составляет 5 мм. Для расчета выбрана однослойная сетка конечных элементов в форме тетраэдра (24 тетраэдра образуют единичный прямоугольный параллелепипед) с четырьмя узлами регулярной равномерной решетки, каждый узел обладает шестью степенями свободы в 3-D постановке для решаемой задачи, число слоев для рассматриваемой принципиальной схемы ограничено лишь вычислительными ресурсами компьютера.

Рассмотрение протекающих процессов формоизменения материала на операции отбортовки бокового отверстия предполагает с учетом возможного масштабирования в дальнейшем широкий спектр возможных решений, направленных на оптимизацию существующих и разработку новых технологий с учетом фактора замещения импортной продукции. Заготовка разбивается по высоте на слои, состоящие из прямоугольных параллелепипедов, далее каждый из них – на слои по окружному направлению и все вышеперечисленные – на слои по толщине. Каждый параллелепипед разбивается на 24 тетраэдра.

Результирующее значение числа элементов находится в пределах $2 \dots 6 \times 10^4$ элементов. При генерации формировалась регулярная неравномерная сетка конечных элементов для достижения требуемой степени дискретизации в местах с наибольшей интенсивностью деформаций.

Проведенный расчет и последующий анализ для различных параметров внешнего импульса при частоте 7, 14 и 21 КГц, позволил оценить изменение предельной деформации и напряжений, энергоемкости процесса (рисунок 1) и распределение компонент тензора деформаций для рассматриваемой области на заданном временном отрезке процесса упруго-пластического формоизменения материала АМг2М.

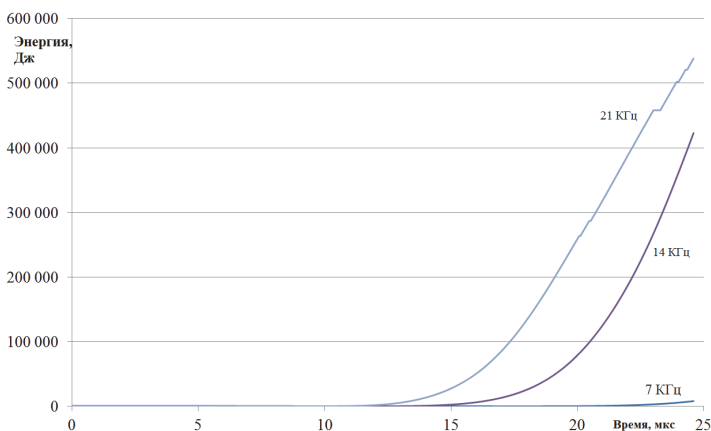


Рис. 1. Энергия процесса формоизменения для заданной области материала при различной частоте внешнего импульса

При различной частоте, как было отмечено ранее, достигается различная предельная деформация за выбранный временной интервал. Распространение упруго-пластических деформаций в объеме материала зависит от формы внешнего импульса, и конфигурации деформируемого материала. Для предварительного рассмотрения были выбраны точки на краю отверстия, в зоне наиболее интенсивного формоизменения – в осевом сечении, в поперечном сечении и на краю отверстия, под углом 45 градусов к вертикальной оси. Серьезные различия в пластической зоне для каждой из точек на диаграмме нагружения позволяют сделать вывод о различном вкладе сдвиговых компонент тензоров в общую работу по формоизменению.

Различие в диаграмме напряжений для выбранных точек позволяет сделать вывод о различном соотношении нормальных и касательных напряжений и необходимости более детального анализа компонент тензоров напряжений и деформаций, а также взаимосвязанных значений накопленной работы по формоизменению материала. Для верхней точки в осевом сечении сдвиговые деформации преобладают над нормальными, последние являются преобладающими в крайней точке поперечного сечения заготовки.

На крае отверстия напряжения снижаются при переходе начального к конечному сечению. Величины напряжений на крае отверстия в осевом сечении превышают аналогичный показатель на крае отверстия в поперечном сечении в 1,8 раза. Напряжения в окрестности точки 1 в 1,6 раза больше напряжений в основании отверстия, в окрестности точки 3. Напряжения в основании отверстия в поперечном сечении заготовки больше напряжений на крае в 1,15 раза.

Окружные деформации в сечении 1 снижаются с 0,31 на крае до 0 в основании отверстия. Наблюдаем постепенное снижение окружных деформаций с 0,31 до 0,08, а также с 0,14 до 0,05 при смене сечения с 1 по 14. В основании отверстия окружные деформации достигают наибольшего значения -0,13 в 7 сечении, для остальных сечений в основании окружные деформации приближаются к нулю.

ВЛИЯНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА СПЛАВА NI-50%TI НА ДИАГРАММЫ ИЗОТЕРМИЧЕСКОГО РАСТЯЖЕНИЯ

Малинин В.Г., Бурдин Ю.А., Дементьев Н.С., Перельгин А.И.
Государственный университет – УНПК, г. Орел, Россия

Выполнено исследование поведения сплава Ni-50%Ti (% по массе) при изотермическом деформировании чистым растяжением в условиях реализации фазовых превращений мартенситного типа. Использовались образцы в виде тонкостенных оболочек, имеющих длину рабочей части 50 мм, наружный Ø16 мм, и внутренний Ø14 мм. Головки образцов имели Ø22 мм, длину 30 мм и внутреннюю резьбу для соединения с захватом испытательной машины. После изготовления образцы нагревали до 500°C и после 60 минут выдержки в печи охлаждали на воздухе.

В результате сплав имел следующие характеристические температуры: $M_s = 45^\circ\text{C}$, $M_f = 60^\circ\text{C}$, $A_c = 94^\circ\text{C}$, $A_n = 79^\circ\text{C}$. Испытания проводили по 5 программам растяжения, отличающимся исходным фазовым составом. С целью создания необходимого фазового состава в свободном состоянии производилась термообработка образца, при которой добивались заданного структурного состояния. Схематично температуры испытания и исходный фазовый состав представлены на рисунке 1 в координатах: удельное количество мартенситной фазы – Φ и температуры – T , °C. Результаты испытания представлены на рисунке 2, на котором показана диаграмма растяжения в координатах нормальное напряжение (σ) и относительная деформация (ϵ) в зависимости от фазового состава и температуры деформирования.

В таблице представлено влияние фазового состава на предел пропорциональности $\sigma_{0,05}$ и предел текучести $\sigma_{0,2}$.

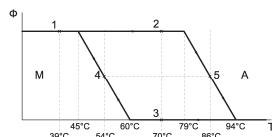


Рис. 1

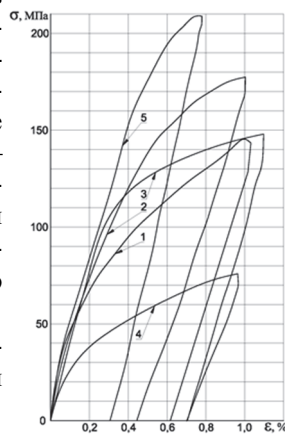


Рис. 2

№ точки	Темп-ра дефор-ия, °C	Фазовый состав	$\sigma_{0,05}$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа
1	39	M	92±7	116±6
2	70	M	146±2	168±2
3	70	A	126±9	139±9
4	54	A→M	44±6	57±5
5	86	M→A	125±33	199±7

Полученные результаты позволяют оценить влияние фазового состава и температуры испытания на диаграммы деформации сплава Ni-50%Ti.

ЦИКЛИЧЕСКАЯ ПАМЯТЬ ФОРМЫ СПЛАВА NI-50%TI ПРИ СЛОЖНОМ НАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ

Малинин В.Г., Бурдин Ю.А., Дементьев Н.С., Перельгин А.И.
Госуниверситет – УНПК, г. Орел, Россия

Выполнено исследование поведения сплава Ni-50%Ti (% по массе) в условиях реализации циклической памяти формы. Использовались тонкостенные цилиндрические образцы длиной 50мм, наружный диаметр 16мм, внутренний Ø14мм. Перед испытанием образцы подвергались термообработке в специальной изложнице при 500°C в течение одного часа, с последующим остыванием на воздухе. Во всех опытах образцы в аустенитном состоянии при температуре 160°C нагружались изотермически заданной комбинацией нормального σ и касательного τ напряжений до значения интенсивности напряжения $\sigma_i = 44$ МПа. Далее выполнялось термоциклирование в интервале 30°C \leftrightarrow 160°C при постоянном значении σ_i . Исследовались следующие режимы нагружения: 1 – растяжение $\sigma = 44$ МПа; 2 – сжатие $\sigma = -44$ МПа; 3, 4 – кручение $\sqrt{3}\tau = 44$ МПа; 5, 8 – растяжение+кручение $\sigma = \sqrt{3}\tau = 31,2$ МПа; 6, 7 – сжатие+кручение $\sigma = \sqrt{3}\tau = 31,2$ МПа.

Основные результаты экспериментов представлены на рис. 1, рис. 2. На рис. 1 приведены графики термомеханических гистерезисов в координатах интенсивность деформации $\varepsilon_i \sim$ температура T, при постоянных значениях $\sigma_i = 44$ МПа.

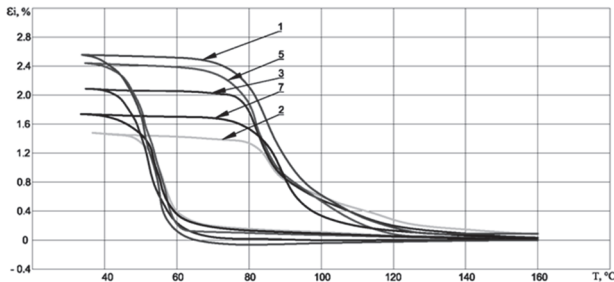


Рис. 1

На рис. 2 приведена лепестковая диаграмма максимальных деформаций ε_i в зависимости от вида напряженного состояния. Как видно из рисунка 2 максимальные деформации ε_i зависят от вида напряженного состояния.

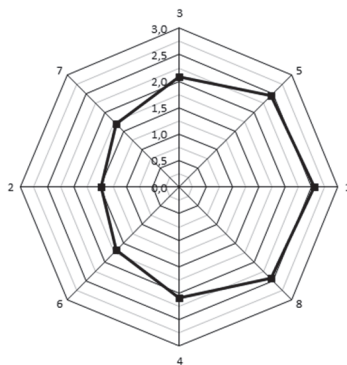


Рис. 2

Самые большие деформации возникают при чистом растяжении $\varepsilon_i = 2,5\%$, а самые маленькие при чистом сжатии $\varepsilon_i = 1,5\%$, при чистом сдвиге $\varepsilon_i = 2,2\%$. Обнаруженное явление ярко выражено и отражает проявление эффекта различной сопротивляемости растяжению-сжатию при мартенситных превращениях в условиях циклической памяти формы.

Полученные экспериментальные данные являются основой для формулировки определяющих соотношений при прогнозировании циклической памяти формы сплава Ni-50%Ti.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАЛЬНЫХ ПЛАСТИН С КОНЦЕНТРАТОРАМИ

Малинин В.Г., Малинина Н.А., Димов А.А.
Госуниверситет – УНПК, г. Орел, Россия

Приведены результаты исследования параметров собственного магнитного поля рассеяния (СМРР) стальных пластин с концентраторами и их прочностная диагностика, основанная на достижениях метода магнитной памяти металла, экспериментальной механики и структурно-аналитической мезомеханики. Выполнены экспериментальные исследования тонких стальных пластин из материала сталь 08Пс с макроконцентраторами в виде: круглого отверстия диаметрами 12мм и 18мм; прямоугольного выреза 24×6мм; U-образного выреза 6×6мм, 12×6мм и 18×6мм; трещины 20×2мм и 24×2мм в условиях одноосного растяжения. При выполнении опытов на непрерывное нагружение датчики магнитометра ИКН-3М12 устанавливались непосредственно на объекте исследования (рис. 1).

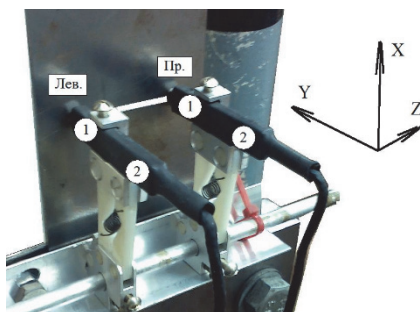


Рис. 1. Расположение осей и феррозондов на 12-ти компонентном датчике

Разработаны оригинальные методики: методика непрерывного мониторинга параметров СМПР стальных пластин (сталь 08ПС) с макроконцентраторами в виде концентраторов различного размера; методика подготовки оборудования к проведению экспериментальных работ; методика и программа обработки экспериментальных данных в среде MathCad. Разработан алгоритм обработки данных в среде MathCad, включающий следующие основные параметры СМПР: компоненты вектора напряжённости СМПР $H_i=(H_1, H_2, H_3)$; модуль вектора напряжённости СМПР $(H_i H_i)^{1/2}$; тензорный параметр W_{ik} как диадное произведение вектора напряжённости СМПР $W_{ik}=H_i H_k$.

Полученные экспериментальные данные позволили ввести диагностические параметры СМПР и развить критерий разрушения, основанный на параметре максимального раскрытия трещины, т.е. критерий М.Я. Леонова – В.В. Панасюка. В результате сформулирован соответствующий аналог критерия в виде инвариантов СМПР.

УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОГО ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ И СЛОЖНОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ

Малинин В.Г., Малинина Н.А., Мавлюберинов Д.В.
Государственный университет – УНПК, г. Орел, Россия

Для формулировки и проверки определяющих соотношений теории прочности и пластичности необходимо экспериментальное изучение поведения материалов при различных видах напряженного состояния, как при пропорциональных, так и непропорциональных режимах нагружения. С целью проведения таких исследований поведения материала создаются экспериментальные установки, способные путем изменения высокого гидростатического давления (ВГД), осевой силы и крутящего момента реализовывать в образце трехосное напряженное состояние, главные значения которого можно изменять в широком диапазоне.

Созданные ранее универсальные установки, позволяющие проводить испытания в условиях ВГД и сложного напряженного состояния, можно разделить на два типа: установки с независимым источником давления и установки «прямого действия». Установки с независимым источником давления обладают простотой конструкции сосуда высокого давления, отсутствием колебаний давления в процессе нагружения, но имеют низкую производительность и позволяют создавать давление внутри камеры до 1000 МПа. В случае установок «прямого действия» существенно усложняется внутренняя конструкция сосуда высокого давления, но универсальные установки данного типа имеют высокую производительность и позволяют достигать давление до 1500 МПа.

Созданный авторами данной статьи универсальный стенд позволяет проводить испытания материалов в автоматическом режиме по управляемым ЭВМ траекториям нагружения, крутящего момента и осевой силы в условиях ВГД, а также выводить и записывать измерения на ЭВМ. При этом на установке возможно реализовывать, как мягкий, так и жесткий режим нагружения. Данный универсальный стенд относится к стендам с независимым источником давления, что связано с простотой конструкции и дешевизной в изготовлении деталей для стендов данного типа. Подробное описание конструкции установки приведено в патенте на полезную модель №115483.

В качестве объекта исследования используется цилиндрическая оболочка, что связано с необходимостью создания однородного напряженного состояния в материале образца.

Использование универсальной установки позволяет выполнять в автоматическом режиме нагружение трубчатых образцов из различных материалов с выводом и записью диаграмм деформирования на ЭВМ в условиях сложного напряженного состояния при гидростатическом давлении до 500 МПа, что дает экспериментальную основу для формулировки и проверки определяющих соотношений теории прочности и пластичности.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОГО СОЕДИНЕНИЯ ИЗ МАТЕРИАЛОВ С ОБРАТИМЫМИ МАРТЕНСИТНЫМИ ПРЕВРАЩЕНИЯМИ

Малинин В.Г.

Государственный университет – УНПК, г. Орел, Россия

Муссауи Ю.Ю.

ОГАУ, г. Орел, Россия

Методами структурно-аналитической мезомеханики выполнено исследование напряжённо-деформированного состояния толстостенного цилиндра из материала с эффектом памяти формы при его дорновании и инициировании фазовых превращений в условиях термоциклирования через температурные

интервалы обратимых мартенситных реакций. Представлены результаты математического моделирования процесса подготовки и сборки термомеханического соединения с помощью цилиндрических муфт из материала с эффектом памяти формы (ЭПФ). В принятой модели вводится в учёт влияние неоднородности напряжённо-деформированного состояния на механические характеристики материала муфты, а именно на величину фазового предела текучести.

Процесс подготовки толстостенной муфты из материала с памятью формы включает её охлаждение под нагрузкой в интервале температур прямого мартенситного превращения с последующим выполнением разгрузки после достижения температуры конца прямой мартенситной реакции и её выравнивании по сечению цилиндра. На данном этапе рассчитывается напряженное состояние муфты, а также упруго-пластические деформации фазового характера на различных этапах охлаждения; строится график изменения перемещений внутренней поверхности толстостенной муфты в процессе охлаждения. Следует отметить, что разгрузка изделия моделируется по закону Гука. На следующем этапе проводится нагрев муфты из материала с памятью формы от температуры конца прямой мартенситной реакции до температуры конца обратной мартенситной реакции. Проводится расчёт напряжённо-деформированного состояния, представленного эпюрами нормальных радиальных, окружных и осевых напряжений, а также графиками изменения перемещений внутренней поверхности изделия. На заданном этапе нагрева моделируется обжатие толстостенной муфтой из материала с ЭПФ стальной трубы. На основании полученных результатов выполняется построение эпюр нормальных напряжений в сечении термомеханического соединения, рассчитывается величина контактного давления. Кроме того, приводится анализ влияния структурно-механических и геометрических параметров на формирование рационального равнопрочного термомеханического соединения.

ТЕПЛОВОЕ СТАРЕНИЕ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ДСП

Мамонтов С.А.

ТГТУ, г. Тамбов, Россия

Длительное действие повышенной температуры в процессе эксплуатации приводит к изменению физической и химической структуры древесностружечных плит, что сказывается на их механизме разрушения и долговечности.

Прогревание в течение 50 ч. при температуре 80°C уменьшает влажность и повышает жесткость ДСП. Макромолекулы полимера, застывшие в энергетически невыгодном состоянии при производстве плит, под действием повышенной температуры стремятся занять равновесное состояние, в котором связи обладают повышенной прочностью. В результате этого долговечность композита увеличивается в 1,4 раза. Механизм разрушения композитных материалов при более продолжительном тепловом воздействии определяется

уже прочностью адгезионных связей между связующим и наполнителем. После 150 ч. долговечность ДСП снижается на 10%. По-видимому, происходит разрушение связей, что способствует увеличению скорости развития трещин.

После 300 ч. теплового старения меняется ориентация цепных молекул и их взаимное расположение, образуются новые более стойкие межмолекулярные связи, что вновь повышает долговечность ДСП в 1,2 раза. Значения термофлуктуационных констант, представленные в таблице, отражают влияние теплового старения на механизм разрушения и долговечность композита при поперечном изгибе.

	$\tau_m(\tau_m^*),$ с.	$T_m(T_m^*),$ К	$U_0(U_0^*),$ кДж/моль	$\gamma(\gamma^*),$ кДж/(моль·МПа)	$\tau^*,$ с.	$U,$ кДж/моль	$\beta,$ 1/МПа
0 ч.	$10^{-0,08}$	358	496,61	24,01	-	-	-
50 ч.	$10^{-1,74}$	377,3	590,76	25,98	-	-	-
150 ч.	-	-	-	-	$10^{-3,75}$	115,15	0,919
300 ч.	$10^{-1,22}$	359,64	673,74	32,99	-	-	-

Уменьшение величины минимальной долговечности τ_m при увеличении времени старения говорит о зарождении большого числа дефектов структуры на микроуровне. Термоокислительная деструкция разрушает большое количество связей, создавая неравномерность распределения механических напряжений в материале, о чём свидетельствует увеличение структурно-механической константы γ в 1,3 раза. Увеличение начальной энергии активации процесса разрушения U_0 , также говорит о деструкции химических связей полимерной смолы. Доотверждение термореактивного полимерного связующего после 50 ч. теплового старения повышает предельную температуру T_m на 19К, что связано с изменением химической структуры полимера.

Таким образом, тепловое старение не однозначно сказывается на долговечности ДСП. Непродолжительное (50 ч.) прогревание древесного композита можно использовать для увеличения долговечности плит за счет релаксации исходной структурной неравновесности материала.

ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ НА БАЗЕ ПК ANSYS

Марчук Н.И., Прасоленко Е.В., Палагушкин В.И.
ИСИ СФУ, г. Красноярск, Россия

В работе рассматривается решение задач проектирования конструкций рациональной структуры, как задачи оптимизации. Основывается на сочетании методов топологической и параметрической оптимизации с использованием компьютерной технологии на базе расчетного программного комплекса (ПК) ANSYS.

Топологическая оптимизация является видом оптимизации формы конструкции, иногда именуемой оптимизацией компоновки. Цель топологической оптимизации состоит в определении лучшего использования материала

для исследуемого объекта или конструкции, так, чтобы целевая функция (например, общая жесткость или собственная частота) имели максимальное или минимальное значение при наличии существующих ограничений (таких, например, как уменьшение объема). В отличие от традиционной оптимизации, топологическая оптимизация не требует указания параметров оптимизации (то есть независимых переменных, подвергаемых оптимизации) в явном виде. В топологической оптимизации параметром оптимизации является функция распределения материала по объему конструкции.

Таким образом, на начальном этапе проектирования после задания исходных данных рассматриваемой конструкции, используя модуль топологической оптимизации ПК ANSYS, выполняется поиск рациональной формы и эффективного распределения материала конструкции, то есть, определяется основная структура конструкции в соответствии с направлением силовых потоков, возникающих от заданной нагрузки.

После выполнения топологической оптимизации на основе имеющихся аналогов подобных конструкций и опыта проектирования назначаются размеры поперечных сечений основным элементам проектируемой системы – выполняется конструктивное проектирование. Затем, используя модуль параметрической оптимизации ПК ANSYS можно уточнить основные геометрические параметры конструкции – выполнить параметрическую оптимизацию, создав конструкцию оптимального веса или объема.

Используя данный подход, решен ряд задач оптимизации различного класса конструкций (стержневых, пластинчатых, комбинированных) при действии статических нагрузок.

В полученных оптимальных проектах конструкций общее уменьшение объема материала составило от 30% до 60%.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ ЗАТВОРЕНИЯ НА ТЕПЛОТЫДЕЛЕНИЕ В ПЕНОБЕТОННЫХ СМЕСЯХ

Моргун В.Н.

ЮФУ, г. Ростов-на-Дону, Россия

Управляя температурой воды, можно изменять ее теплоемкость и, таким образом изменять её способность аккумулировать тепло. В процессе твердения пенобетонов такая способность воды позволяет управлять процессами химического взаимодействия между водой и клинкерными минералами портландцемента. При понижении температуры воды затворения до величины близкой к её фазовому переходу «из жидкого в твердое» рассеяние тепловой энергии в окружающую среду, выделяющееся в результате адсорбции и протекания химических реакций, становится минимальным.

Поскольку пенобетонные смеси являются сильно обводненными и высокодисперсными системами, то параметры теплотыделения, выраженные через температуру отвердевающих смесей, позволяют судить не только о скорости

протекания гидратационных процессов, но и скорости формирования структуры твердой фазы в их межпоровых перегородках.

Экспериментально установлено, что пенобетонные смеси средней плотности 600 кг/м³, изготовленные на воде с температурой +4⁰С, сразу после завершения их приготовления имеют температуру +16...17⁰С и плавно саморазогревались в течение 10...12 часов до достижения ими температуры +40⁰С. Смеси, затворенные водой с температурой +20⁰С, имели начальную температуру +29...31⁰С, то есть также превышающую параметры температуры воды затворения. Но на этом сходство процессов формирования структуры завершилось. В течение первых 5,0 часов твердения их температура плавно понижалась до +25⁰С. Затем начинается её повышение. Своего максимума температура в таких смесях достигала к 10 часам от момента затворения водой. Величина достигнутого максимума практически равнялась той начальной температуре, которую смеси имели в момент завершения процесса перемешивания.

Полученные результаты отражают существенные различия, возникающие в процессах гидратации портландцементного вяжущего и структурообразовании пенобетонных смесей при изменении термодинамических свойств воды. Полагаю, что пониженное тепловыделение пенобетонных смесей, затворенных водой с температурой +20⁰С, свидетельствует о том, что в их структуре параллельно процессам адсорбции и гидратации протекают некие деструктивные процессы, способствующие поглощению энергии, выделяемой цементными минералами. Пенобетонные смеси, затворенные водой с температурой +4⁰С, в течение первых 10 часов твердения только увеличивают свою температуру, что свидетельствует о конструктивности, протекающих в них процессов. Следовательно, понижение температуры воды затворения может положительно влиять на структурообразование в пенобетонных смесях и позволяет получать материалы улучшенного качества.

О ГАЗОУДЕРЖИВАЮЩИХ СВОЙСТВАХ ФИБРОПЕНОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

Моргун Л.В.

РГСУ, г. Ростов-на-Дону, Россия

Скорость гравитационной дифференциации дисперсных систем управляется вязкостью дисперсионной среды. Чем выше вязкость среды, тем надежнее частицы дисперсной газовой фазы закреплены в структуре пенобетонной смеси. Для проведения исследований была изготовлена установка, конструкция которой обеспечивала контроль потерь воздуха, утрачиваемого пеносмесью в период фазового перехода с точностью до 0,1 мл. Объём каждой исследуемой пробы составлял 1500 мл. Наблюдение за утратой газовой фазы осуществлялось в течение 6 часов после завершения перемешивания.

Экспериментально установлено, что по мере возрастания водосодержания растет эффективность применения в пенобетонных смесях дисперсной арматуры. Чем больше в пеносмеси содержится межчастичной воды, тем эффективнее сохранение параметров её ячеистой структуры и удержание вовлеченного воздуха, при наличии в составе смеси синтетической дисперсной арматуры.

Анализ результатов показывает, что смеси без фибры теряли газовую фазу в течение 5 часов. Поэтому структура межпоровых перегородок в них подвергалась перестройке в результате ударного воздействия коалесценции пленок ПАВ. В фибропенобетонных смесях потери газовой фазы завершались к 2-м часам. Их объём и скорость регулировались количеством фибры (см. табл.).

№	% фибры	В/Т	Объём выделенного воздуха, мл/л	Время дегазации, мин	Начальная плотность смеси, г/л	Плотность бетона, г/л
1	5	1,0	0	0	452	254
2	2,5	1,2	10,2	105	455	224
3	0	1,0	26,5	285	466	720
4	0	0,6	4,1	240	483	529
5	2,5	0,4	7,5	15	1045	850
6	5	0,6	13,6	15	750	455
7	2,5	0,8	3,0	30	543	288
8	2,5	0,8	2,9	30	545	292
9	2,5	0,8	3,3	30	545	290

Таким образом, можно заключить, что влияние фибрового армирования на газодерживающие свойства и агрегативную устойчивость пенобетонных положительно и позволяет прогнозировать возможность повышения эксплуатационных качеств пенобетонов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ С УЧЕТОМ ДИЛАТАНСИИ МАТЕРИАЛА

Наумов И.А., Гречишкин Е.А.
ТулГУ, г. Тула, Россия

Важным вопросом при эксплуатации строительных конструкций является определение степеней деформации, которые позволяют исключить возможность образования в структуре материала крупных полостных дефектов. Правильная оценка опасности разрушения, необходимая для оптимального проектирования совершенствуемых и новых конструкций, требует объективного анализа деформационной повреждаемости с учетом разброса свойств материала, деформационной неоднородности и многих других факторов.

При эксплуатации конструкций должно выполняться условие, в соответствии с которым допустимая деформация определяется допустимым уровнем

поврежденности. На развитие повреждаемости материала микродефектами оказывает сильное влияние напряженно-деформированное состояние, возникающее в процессе его эксплуатации.

Эксплуатационные свойства изделий зависят не только от механических характеристик, но и от физико-структурных свойств обрабатываемых материалов, к которым относится и повреждаемость материала дефектами деформационного характера, связанная с пластическим разрыхлением (или уплотнением) мезоструктуры деформируемого материала. Основным физическим механизмом повреждаемости металлов при их больших пластических деформациях, является порообразование. Порообразование в условиях пластической деформации приводит к необратимому изменению объема деформируемого материала – его пластической дилатансии.

В ходе работы был рассмотрен подход к исследованию процессов пластического деформирования на примере решения задач плоского пластического деформирования с учетом дилатансии материала. Проведены расчеты по определению энергосиловых параметров процесса формовки деталей из металлических пластин. Проведен анализ напряженно-деформированного состояния в результате которого получена полная картина кинематического состояния пластического течения. Получены компоненты тензора скоростей деформаций, деформаций и напряжений.

Используя полученные значения компонент тензора скорости, деформации, напряжений можно провести расчет трех инвариантов скорости деформации, деформации, напряжения, интенсивности скорости деформации, деформации, напряжений, степень накопления деформации, показателя напряженного состояния, т.е. провести полный анализ напряженно-деформированного состояния с учетом неоднородности их распределения.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЧЕТКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Нигаматова О.И.
УрГУПС, г. Екатеринбург, Россия

В процессе диагностики мостовых сооружений визуальный осмотр может оказаться полезным, в случае, если он дополняет инструментальный подход к оценке технического состояния или если последний затруднен в связи с большой трудоемкостью и длительностью выполнения работ, а также при неполноте и неточности необходимых для анализа данных.

Неполнота и неточность информации может заключаться в принципиальной невозможности полного сбора и учета информации об анализируемой конструкции, некоторой недостоверности и недостаточности исходной информации, а также наличием «субъективного» человеческого фактора в задачах определения технического состояния конструкции. Следовательно, возникает

задача по оценке технического состояния мостовых конструкций в условиях неопределенности.

Один из современных подходов, используемых для принятия решений в условиях неопределенности, основан на применении теории нечеткой логики (нечетких множеств), основоположником которой стал Лофти Заде. Основы теории нечеткой логики уже широко известны во всем мире и изложены в большом количестве источников [1, 2, 3].

В качестве программного продукта для проектирования систем нечеткой логики можно использовать пакет FuzzyLogicToolbox в среде MATLAB. Пакет позволят создавать экспертные системы на основе нечеткой логики.

Рассмотрим возможность применения теории нечеткой логики в оценке технического состояния мостовых сооружений в условиях неопределенности. В качестве входных параметров в систему нечеткого ввода принимаем три нечетких лингвистических переменных: «трещины», «прогиб», «деградационное разрушение бетона».

В качестве выходных данных – нечеткая лингвистическая переменная, характеризующая состояние сооружения – «оценка».

В качестве терм-множества лингвистической переменной «трещины» используем множество $T1 = \{\text{«незначительные»}, \text{«допустимые»}, \text{«недопустимые»}\}$.

В качестве терм-множества лингвистической переменной «прогиб» используем множество $T2 = \{\text{«малый»}, \text{«средний»}, \text{«большой»}\}$.

В качестве терм-множества лингвистической переменной «деградационное разрушение бетона» используем множество $T3 = \{\text{«поверхностное шелушение»}, \text{«обнажение зерен крупного заполнителя»}, \text{«с обнажением арматуры»}\}$.

При этом каждому из термов входной переменной соответствуют определенные границы, назначаемые по результатам обзора нормативно-технических документов различных стран по оцениванию технического состояния конструкции.

В качестве терм-множества выходной лингвистической переменной «оценка» используем множество $T4 = \{\text{«1»}, \text{«2»}, \text{«3»}\}$. При этом каждому из термов выходной переменной соответствуют определенные границы, принимаемые по результатам обзора рейтинговых систем оценки технического состояния мостовых сооружений в различных странах.

Для каждого терма определяются типы функций принадлежности. После задания правил нечеткого вывода выдается результат нечеткого вывода (значение выходной переменной) для конкретных значений входных переменных. Таким образом, в зависимости от имеющихся повреждений, оценка технического состояния конструкции может быть классифицирована по 3-х балльной системе:

- Балльная оценка 1 – исправное работоспособное состояние – дефекты устраняются в процессе технического содержания и ППР.

- Бальная оценка 2 – ограниченное работоспособное состояние – опасность обрушения отсутствует. Необходимо соблюдение всех эксплуатационных требований. Возможны ограничения некоторых параметров эксплуатации. Требуется ремонт.

- Бальная оценка 3 – неработоспособное состояние – необходимо срочное ограничение нагрузок. Требуется капитальный ремонт или реконструкция сооружения.

Библиографический список

1. Заде, Л.А. Размытые множества и их применение в распознавании образов и кластер-анализе / Л.А. Заде. – В кн.: Классификация и кластер / Под ред. Дж. ВэнРайзина. – М.: Мир, 1980. – С. 208-247.

2. Овчинников, И.Г. Применение теории нечетких множеств к оценке состояния мостовых сооружений / И.Г. Овчинников, И.И. Овчинников // Дороги России 21 века, 2009. – № 5. – С. 92-96.

3. Нигаматова, О.И. Модели оценки эксплуатационного состояния мостовых сооружений / О.И. Нигаматова, И.Г. Овчинников // Актуальные проблемы городского строительства: Сборник трудов международной научно-технической конференции (9-11 декабря 2013 г.). – Пенза, 2013. – С. 194-205.

ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ БАЗ ДАННЫХ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

Нигаматова О.И.

УрГУПС, г. Екатеринбург, Россия

Как известно, в процессе эксплуатации мостовые сооружения подвергаются воздействию агрессивных факторов окружающей среды, постоянных и временных нагрузок. В результате в элементах мостовых сооружений появляются деформации и повреждения, которые могут влиять на их долговечность и грузоподъемность. Таким образом, с изменением времени ухудшается техническое состояние мостовых сооружений. Основными показателями технического состояния мостовых сооружений являются безопасность (безопасность эксплуатации), безотказность (грузоподъемность), долговечность и ремонтпригодность [1].

Благодаря оценке технического состояния становится возможным обоснованно и своевременно принимать оптимальные решения по содержанию сооружения с целью продления срока их эксплуатации и обеспечения требуемой грузоподъемности.

Важным моментом в определении оценки технического состояния мостовых конструкций является автоматизация процесса надзора за мостовыми конструкциями.

Первая в России система управления состоянием мостовых сооружений была создана в 1975 г. База данных получила название Информационно-поисковой системы «МОСТ» (ИПС-«МОСТ»). Основными целями при разработке ИПС-«МОСТ» были:

- сбор и систематизирование информации о мостовых сооружениях и, как следствие создание инструмента автоматизированного учета искусственных сооружений;

- принятие решений на основании анализа введенных данных о возможности оперативного решения задач по управлению мостовым хозяйством.

Система ИПС-«МОСТ» существенно снизила затраты на поиск и обработку данных по мостовым сооружениям и позволила повысить эффективность управления в мостовом секторе во много раз. Однако, в процессе эксплуатации выявился и ряд недостатков, информация о изменении данных о состоянии сооружения не всегда достигала функционального центра ИПС-«МОСТ». В виду того, что у территориальных органов управления отсутствовал модуль обновления информации, система не позволяла осуществлять дистанционную обработку данных, что негативно сказалось в работе системы в целом, и возникла необходимость ее переработки.

Второй российской моделью системы управления стала базы данных по мостам по федеральной сети автомобильных дорог – «МоНСтР» (мосты, нагрузки, статистические расчеты). Начало формирования было положено в 1991-1992 гг., однако, лишь к 1996 г. она была освоена, разработчиком системы стал – МАДИ, г. Москва.

Система поиска позволяет производить выборку сооружений по любой содержащейся в базе информации. При определении возможности пропуска нагрузки в рамках информационно-расчетной системы производится статический расчет конструкции с использованием методов теории упругости (метод конечных элементов) с учетом ее реального состояния, дефектов и степени износа, которые содержатся в базе данных по результатам проведенных ранее натурных обследований сооружений [1].

В настоящее время в Федеральном дорожном агентстве (Росавтодор) создается автоматизированная система управления и обработки информации по искусственным сооружениям – АБДМ (автоматизированная база данных мостов) взамен устаревшей программы «МоНСтР». Разработкой базы данных АБДМ занимается ЗАО «СибНИТ», г. Новосибирск [2].

Целью создания автоматизированной базы данных мостов (АБДМ) является повышение эффективности системы управления состоянием искусственных сооружений на федеральной дорожной сети общего пользования на основе использования объективной информации о фактических транспортно-эксплуатационных показателях сооружений.

Библиографический список

1. Управление состоянием мостовых сооружений на федеральной сети автомобильных дорог России. – М., 2007. – 96 с. – (Автомобильные дороги и мосты: Обзорн. информ./ ФГУП «ИНФОРМАВТОДОР»; Вып. 2).

2. Яшнов, А.Н. Оценка технического состояния мостовых сооружений в системе мониторинга / А.Н. Яшнов, А.Ю. Рыбалов // Дороги. – № 72, октябрь 2013. – С.38-40.

О МЕХАНИКЕ РАЗРУШЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

Овчаренко А.Ю.
ТулГУ, г. Тула, Россия

Повышение надежности и долговечности строительных конструкций зданий и сооружений является актуальной задачей современного строительства [1, 2, 3]. Чисто эмпирический путь решения этой проблемной задачи является очень трудоемким и не всегда приводит к цели. Также трудно чисто эмпирическим путем подойти к решению задач обеспечения надежной прочности строительных конструкций зданий и сооружений. Механика повреждаемости деформируемых материалов является методологической основой для надежного решения задач прочности. Под действием нагрузок происходит постепенное развитие дефектов, объединение их в трещины, которые со временем могут привести к исчерпанию несущей способности конструкции. В целом разрушение, как правило, является длительным процессом, постепенно развивающимся во времени. Для исследования закономерностей зарождения и развития дефектов и определения материальных функций, входящих в определяющие соотношения теории повреждаемости, используются экспериментальные методы.

Первые микроскопические наблюдения за физико-химическими процессами, протекающими при гидратации цемента, были выполнены Ле-Шателье (1882 г.). Микроскопическое изучение структуры цементного камня и бетона в отраженном свете началось позднее в 20-30-х годах. Первые попытки использовать увеличение для наблюдения непосредственно за ростом поверхности трещин в бетонном образце под нагрузкой относятся к 1928 г. Более поздние исследования показали, что развитие трещин на поверхности и внутри образца носит совершенно различный характер. В то же время решающим для процесса разрушения бетона в целом является именно внутреннее трещинообразование. По этой причине в 50-60-х годах начались интенсивные микроскопические исследования процессов внутреннего трещинообразования в бетоне. Для исследования использовались вначале оптическая, а затем и сканирующая электронная микроскопия.

Рентгенографические методы исследования структуры бетона и трещинообразования в нем берут начало от работ Слейта с соавторами. Необходимо отметить, что рентгенографический и микроскопический методы не дают идентичных результатов в отношении картины трещин в одном и том же образце. Например, трещины контактной зоны (между матрицей и заполнителем) могут полностью оказаться внутри образца. Такие трещины не доступны для прямого микроскопического наблюдения, но легко обнаруживаются рентгенографией. С другой стороны, в микроскоп видны такие трещины, которые недоступны для рентгенографии – весьма малые трещины (особенно трещины

в матрице), а также трещины, сильно отклоняющиеся от направления перпендикулярного к поверхности образца. Весьма перспективными представляются возможности применения стереорентгенографии для получения объемного изображения структуры исследуемого бетона. В заключение можно отметить, что рентгенографический метод менее трудоемок по сравнению с микроскопическим и обычно легче осваивается обслуживающим персоналом.

Фотоупругие методы начали применяться для исследования железобетонных конструкций с 50-х годов и были вначале посвящены изучению распределения напряжений в проходящем свете. Они проводились на выполненных из синтетических смол неармированных моделях железобетонных конструкций. Однако детальное изучение поведения бетона и железобетона этим методом началось лишь в 60-х годах. В методе фотоупругих покрытий используется фотоупругая синтетическая пленка, наклеиваемая непосредственно на объект исследования (элемент конструкции или модель). На объект исследования направляют пучок поляризованного света, который отражается от фотоупругого покрытия и через анализатор попадает в камеру.

Пользуясь этим методом, различные ученые изучали неоднородности поля напряжений в бетоне, возникающие вследствие концентрации напряжений у зерен заполнителя, пытались при помощи этого метода изучить развитие трещин в бетоне в процессе нагружения, исследовали этим методом поведение железобетонных изгибаемых элементов. Значительным недостатком фотоупругих методов является их значительная трудоемкость. Большого внимания заслуживают попытки автоматизировать исследования железобетонных конструкций методами фотоупругости. В настоящее время разработан численный метод интерпретации результатов, полученных методом фотоупругих покрытий.

Описанные выше методы исследования образования и развития трещин в бетоне, как правило, имеют тот недостаток, что могут дать информацию только относительно о небольшом участке исследуемого образца, а для получения более полной информации необходимо проведение целой серии довольно трудоемких испытаний. Этому недостатка лишен метод ртутной порометрии, дающий сразу интегральную информацию о развитии трещин в образце. Ртутная порометрия позволяет фиксировать наличие трещин с шириной раскрытия в диапазоне от 1,3 нм до 150 мкм, что оказывается вполне достаточным для исследования процесса трещинообразования в цементном камне и бетоне.

В связи с последними достижениями в области инфракрасной (ИК) техники применяются (в комплексе с другими методами) тепловая дефектоскопия для оценки термонапряженного состояния. Современные приборы ИК-тепловизоры – как черно-белые, так и цветные – позволяют получать изображение температурного поля; при этом по степени почернения и диапазону цвета можно дать полю достаточно точную количественную оценку. Известно, что параметры механики разрушения требуют для своего определения знания о характеристиках

поро- и трещинообразования материала. Нарушения сплошности бетона контролируемого изделия приводят к изменению его акустических характеристик и влияют на условия распространения колебаний. Благодаря большому числу переменных параметров, которые могут быть использованы в различных сочетаниях, акустические методы дефектоскопии являются одними из наиболее универсальных среди методов неразрушающего контроля. Однако метод акустической эмиссии (АЭ) долгое время не находил применения в практике натуральных обследований. Это объясняется высокой чувствительностью метода к посторонним шумам, диссипативным свойствам материала, форме исследуемой конструкции и ориентации образующейся трещины.

Одним из важнейших параметров механики разрушения является критический коэффициент интенсивности напряжений K_{Ic} , используемый для однопараметрического описания полей напряжения и деформаций повреждаемого материала. Для экспериментального определения критического коэффициента интенсивности напряжений K_{Ic} используются различные образцы. Наиболее распространенным методом экспериментального определения значений K_{Ic} (а также критической интенсивности высвобождения энергии G_{Ic}) является испытание изгибаемых балочных образцов с надрезом по 3-точечной или 4-точечной схемам. Надрез создается путем укладки тонкой пленки на место будущего разреза при бетонировании образца или же путем создания пропила в уже затвердевшем образце.

Влияние возраста цементного камня и бетона в момент испытаний на K_{Ic} непосредственно связано со снижением пористости и увеличением прочности цементного камня в процессе гидратации, вначале K_{Ic} растет примерно пропорционально прочности. Вместе с тем после 14-28 суток рост K_{Ic} практически останавливается. Более того, необходимо считаться и с возможным снижением значений K_{Ic} в достаточно зрелом возрасте за счет увеличения хрупкости цементного камня. В то же время K_{Ic} для бетона по данным некоторых исследователей обнаруживают тенденцию к непрерывному росту во времени. Влияние содержания воздушных пор в цементном камне и бетоне на K_{Ic} имеет ту же природу, что и влияние водоцементного отношения – K_{Ic} снижается при увеличении содержания воздушных пор. Так, при увеличении содержания воздушных пор от 2 до 8% K_{Ic} снижалось на 23%, при введении в цементный камень воздуха или пустотелых полимерных частиц в количестве до 8% значения K_{Ic} снижались на 17%. Таким образом, механика повреждаемости деформируемых материалов изучает не только свойства макрообъемов материала (как это принято при классическом подходе), но и свойства микрообъемов, где, собственно, и зарождается разрушение – потеря прочности. Таким образом, создаются более полные расчетные модели деформирования и разрушения материалов. На этой основе предлагаются критерии целенаправленного конструирования или отбора материала для работы в заданных условиях, а также более аргументированной оценки долговечности и остаточной прочно-

сти материала с учетом дефектности структуры. Стимулирование развития механики разрушения, несомненно, будет способствовать повышению качества и надежности строительных изделий и конструкций, а, следовательно, и ускорению темпов научно-технического прогресса в строительстве.

Библиографический список

1. Зайцев, Ю.В. Механика разрушения для строителей / Ю.В. Зайцев. – М.: Высш. шк., 1991. – 288 с.
2. Микульский, В.Г. Строительные материалы: Учеб. для высш. учебн. заведений / В.Г. Микульский, Г.И. Горчаков, В.В. Козлов. – М.: Изд-во АСВ, 2004. – 536 с.
3. Злочевский, А.Б. Экспериментальные методы в строительной механике / А.Б. Злочевский. – М.: Стройиздат, 1983. – 129 с.

САМОНАПРЯЖЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ «ТЕНСЕГРИТИ» В МОСТОСТРОЕНИИ

Овчинников И.Г., Кокодеев А.В.

СГТУ, г. Саратов, Россия

В настоящее время мировая практика мостостроения характеризуется применением четырех основных силовых схем пролетных строений: это балочная (ферменная), арочная, висячая и вантовая системы. При проектировании мостов вантовой или висячей системой инженеры выделяли составные части сооружения, работающие на растяжение (кабели, тросы, ванты), и другие, работающие на сжатие (пилоны, опоры). Если обращаться к поиску путей повышения эффективности мостовых конструкций, то стоит обратить внимание на такое направление, как использование в строительстве сооружений самонапряженных систем, в которых часть элементов работает на сжатие за счет предварительного растяжения (напряжения) других элементов. Применение идеи «тенсегрити» позволит сооружать конструкции мостов, которые будут более полно и эффективно работать как пространственные системы.

Конструкции «тенсегрити» – это самонапряженные устойчивые пространственные системы, находящиеся в равновесном состоянии под действием внешних нагрузок. Конструкции «тенсегрити» состоят из дискретных сжатых элементов – стоек или распорок, а также вант или тросов, натянутых таким образом, чтобы сжатые элементы не соприкасались друг с другом. Эти конструкции можно рассматривать как подкласс подвесных или вантовых конструкций. Отличие в том, что в конструкциях «тенсегрити» растягивающие усилия не передаются на анкера (опоры), как в случае с вантовыми или подвесными конструкциями. Стабильность и жесткость конструкций «тенсегрити» обеспечивается самоуравновешиванием и самонапряжением составляющих систему растянутых и сжатых элементов. Конструкции «тенсегрити» прекрасно работают и на растяжение, и на сжатие, и на изгиб, при этом весьма

эффективно используют материал. Преимущества мостов «тенсегрити» заключаются в малом собственном весе их конструкций, а также в их большей грузоподъемности по отношению к собственному весу по сравнению с традиционными конструкциями.

Мы полагаем, что конструкции «тенсегрити» имеют большой потенциал для дальнейшего внедрения в сферу мостостроения с целью улучшения архитектурно-технических показателей мостовых сооружений и потому нуждаются в дальнейшем тщательном теоретическом и экспериментальном исследовании. В следующих работах авторами будет продолжен анализ идеи «тенсегрити» и возможностей ее использования при строительстве мостов и других транспортных сооружений.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИСТОРИИ ДОКРИТИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ НА УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ КРУГОВЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК

Охлопков Н.Л., Нигоматулин Ф.В.

ТвГТУ, г. Тверь, Россия

Рассматривается проблема влияния истории сложного докритического нагружения на критические параметры напряжений и деформаций, возникающих при потере устойчивости круговых цилиндрических оболочек при воздействии на них комбинированного нагружения осевой сжимающей силы и крутящего момента.

Решение задачи строится на основе теории устойчивости неупругих систем В.Г. Зубчанинова [1]. Используется условие несжимаемости материала и условие однородности напряженного состояния в оболочке до момента потери устойчивости. Связь напряжений и деформаций в момент бифуркации принимается в соответствии с определяющими соотношениями гипотезы компланарности. Оболочка считается длинной, шарнирно подкрепленной. Задача устойчивости решается в геометрически линейной постановке. Разрешающие уравнения задачи устойчивости приводятся к системе алгебраических уравнений задачи о собственных числах.

При сложном докритическом нагружении расчет распадается на два этапа: построение образа процесса нагружения материала; собственно решение задачи бифуркации оболочки.

Решение задачи расчета образа процесса нагружения материала при сложном докритическом деформировании строится на основе системы уравнений [2], записанных в скоростях, и, имеющих вид задачи Коши. Расчеты выполнены на основе метода Рунге-Кутты.

Решение бифуркационной задачи позволяет для заданной комбинации полуоволн m , n изогнутого состояния оболочки вычислить ее критическую гибкость i в зависимости от значения модуля вектора напряжений σ в момент потери устойчивости.

Рассмотрены две программы процессов, реализуемых в девиаторной плоскости деформаций А.А. Ильюшина \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_3 .

В первой программе, на первом этапе деформирования, реализуется процесс чистого сжатия оболочки, и, в дальнейшем, сложное нагружение по двузвенной ломаной траектории с углами излома от 30 до 135 градусов.

Во второй программе, на первом этапе деформирования, реализуется процесс чистого кручения оболочки, и, в дальнейшем, сложное нагружение по двузвенной ломаной траектории так же с углами излома от 30 до 135 градусов.

В каждую, теоретически рассчитанную, точку потери устойчивости оболочки при сложном докритическом нагружении, направлялся процесс при простом (пропорциональном) докритическом деформировании.

Расчеты выполнены:

1. На основе теории устойчивости А.А.Ильюшина, как при чисто пластической бифуркации, так и с учетом разгрузки материала в момент потери устойчивости.

2. На основе теории и метода расчета устойчивости цилиндрических оболочек при сложном нагружении В.Г.Зубчанинова-Н.Л.Охлопкова при использовании аппроксимаций В.Г. Зубчанинова для определяющих функций

пластичности $\frac{d\sigma}{dS}$ и N , построенных в рамках определяющих соотношений

гипотезы компланарности А.А.Ильюшина для многозвенных ломаных процессов нагружения. В расчетах по данной теории материальные параметры

p и q аппроксимаций $\frac{d\sigma}{dS}$ и N [1] варьировались в диапазоне, указанном в [3]

для рассматриваемых материалов.

Результаты расчетов сопоставлены с экспериментальными данными [2].

Показано, что история сложного докритического деформирования может существенно сказываться на критические параметры устойчивости оболочек, в большей степени на их деформативные характеристики, что существенно зависит от степени упрочнения материала.

Библиографический список

1. Зубчанинов, В.Г. Математическая теория пластичности / В.Г. Зубчанинов. – Тверь: ТГТУ, 2002. – 300 с.

2. Охлопков Н.Л. Закономерности процессов упруго-пластического деформирования металлов при сложном напряженном состоянии и нагружении / Н.Л. Охлопков. – Автореф. д.т.н.-Тверь: ТГТУ, 1997. – 36 с.

3. Зубчанинов, В.Г. Экспериментальная пластичность. Книга 1. Процессы сложного деформирования / В.Г. Зубчанинов, Н.Н. Охлопков, В.В. Гараников. – Тверь: ТГТУ, 2003. – 171 с.

УСТОЙЧИВОСТЬ КРУГОВЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК ПРИ СЛОЖНЫХ ПРОЦЕССАХ КОМБИНИРОВАННОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Охлопков Н.Л., Черемных С.В.

ТвГТУ, г. Тверь, Россия

Рассматривается решение задачи бифуркации тонкостенной круговой цилиндрической оболочки при комбинированном нагружении осевой сжимающей силой, крутящим моментом и внутренним давлением в девиаторном пространстве деформаций $\mathcal{E}^{(3)}$ А.А.Ильюшина.

Решение задачи строится на основе теории устойчивости неупругих систем В.Г.Зубчанинова [1]. Используется условие несжимаемости материала и условие однородности напряженного состояния в оболочке до момента потери устойчивости. Связь напряжений и деформаций в момент бифуркации принимается в соответствии с определяющими соотношениями гипотезы компланарности. Оболочка считается длинной, шарнирно подкрепленной по торцам. Задача решается в геометрически линейной постановке. Разрешающие соотношения задачи устойчивости оболочки приводятся к системе алгебраических уравнений задачи о собственных числах [2].

Решение бифуркационной задачи позволяет для заданной комбинации попуолн m, n изогнутого состояния оболочки вычислить ее критическую гибкость \dot{i} в зависимости от значения модуля вектора напряжений σ в момент потери устойчивости. Расчеты выполнены в соответствии с методикой, изложенной в [2].

Рассмотрены процессы простого (пропорционального) и сложного докритического деформирования оболочки.

При расчете простых докритических процессов, для ряда конструктивных стале, в девиаторных пространствах напряжений и деформаций построены поверхности устойчивых состояний оболочек. Решение получено для нескольких частных вариантов теории упруго-пластических процессов, с учетом сложного характера нагружения материала в момент бифуркации [1].

В качестве сложных докритических процессов рассматривались многозвенные плоские линейные траектории, плоские криволинейные траектории постоянной кривизны и их комбинации в девиаторном пространстве А.А. Ильюшина $\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_3$.

При сложном докритическом нагружении решение задачи распадается на два этапа: построение образа процесса нагружения материала и, собственно, решение задачи бифуркации оболочки. Решение задачи расчета образа процесса нагружения материала при сложном докритическом деформировании построено на основе определяющих соотношений гипотезы компланарности и при использовании для определяющих функций пластичности $d\sigma/dS$ и N аппроксимаций В.Г. Зубчанинова [1], учитывающих непрерывное изменение

угла сближения ϑ_1 в процессе нагружения материала. Уравнение для вычисления компонент тензора напряжений и угла сближения записаны в скоростях и имеют вид уравнений задачи Коши. Задача Коши решается методом Эйлера-Коши по схеме «прогноз-коррекция» [3].

Результаты расчетов сопоставлены с экспериментальными данными, полученными на автоматизированном расчетно-экспериментальном комплексе СН-ЭВМ.

Библиографический список

1. Зубчанинов, В.Г. Математическая теория пластичности / В.Г. Зубчанинов. – Тверь: ТГТУ, 2002. – 300 с.
2. Охлопков Н.Л. Закономерности процессов упруго-пластического деформирования металлов при сложном напряженном состоянии и нагружении / Н.Л. Охлопков. – Автореф. д.т.н.-Тверь: ТГТУ, 1997. – 36 с.
3. Зубчанинов, В.Г. Экспериментальная пластичность. Книга 1. Процессы сложного деформирования / В.Г. Зубчанинов, Н.Н. Охлопков, В.В. Гараников. – Тверь: ТГТУ, 2003. – 171 с.

РЕГУЛИРОВАНИЕ НДС КОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Палагушкин В.И., Мезенцев В.В., Хованский М.Е., Беличенко М.Ю.,
Дроздов В.А., Коробейников А.С.
ИСИ СФУ, г. Красноярск, Россия

Управление конструкциями имеет целью подчинение их НДС желаемым требованиям на различных стадиях функционирования. Управление НДС открывает новые качественные возможности для многих конструкций.

Актуальность этих задач в настоящее время возросла в связи с тем, что большое число построенных зданий и сооружений подлежат реконструкции.

Регулирование НДС означает его улучшение за счет изменения или добавления некоторых параметров конструкции, которые называют параметрами регулирования (регуляторами).

Сегодня, в эру научно-технического прогресса, каждый человек имеет в своем распоряжении ПЭВМ, способную облегчить задачи регулирования. Для решения задачи регулирования НДС используем универсальный программный комплекс расчета конструкций SCAD (при этом могут быть использованы и другие программные комплексы, такие как LIRA, COSMOS, ANSYS, NASTRAN). Данные программные комплексы обладают огромным потенциалом для задач расчета конструкций. Синтез этих комплексов с методологией решения задач регулирования конструкций позволяет использовать их расчетные возможности для регулирования НДС различных сооружений и конструкций.

В данном докладе мы хотели бы рассказать о регулировании НДС конструкций методом смещения опор с помощью ПЭВМ.

Данным методом были решены 20 задач регулирования НДС различных плоских стержневых систем, таких, как многопролетные балки, фермы и рамы различных форм и с различными нагружениями. Во всех случаях метод показал свою высокую эффективность.

В результате решения задач получены новые эпюры продольных сил и моментов. Анализируя полученный результат, можно сделать вывод, что во всех задачах регулирования было получено уменьшение или уравнивание силовых факторов. В задачах с многопролетными балками и плоскими рамами удалось уменьшить и уравнивать моменты в узлах конструкций. В задачах с шарнирными фермами удалось обнулить продольные силы в четырех раскосах, а также уменьшить усилия в нижнем и верхнем поясах ферм. Уменьшение усилий в элементах конструкций, рассмотренных в наших задачах, позволило бы уменьшить размер их сечений, что дало бы возможность экономии материала (около 33%).

Подводя итоги, можно сказать, что рассмотренный нами метод регулирования с помощью программного комплекса SCAD оправдал себя и показал высокую эффективность.

ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА АППРОКСИМИРУЮЩИХ ФУНКЦИЙ НА ГЛАВНУЮ ЧАСТЬ РЕШЕНИЯ ПОЛОГИХ ОБОЛОЧЕК

Петров В.В., Мищенко Р.В., Пименов Д.А.
СГТУ, г. Саратов, Россия

При расчете пологих оболочек вариационными методами важным является подбор (построение) аппроксимирующих функций, которые при расчете уже в первом приближении будут давать результаты, сопоставимые с эталонными численными методами. Обычно точность результатов достигается путем увеличения числа членов ряда, каждый из которых должен удовлетворять граничным условиям. Если при построении аппроксимирующих функций потребуем, чтобы они удовлетворяли не только граничным условиям, но и учитывали бы и другие параметры конструкции, такие как характер распределения нагрузки, кривизну оболочки и т.д., то уже в первом, или в первых, приближениях можно получить решение, которое будет иметь точность, достаточную для технических приложений. В этом случае инженеру будет предложена формула для анализа влияния величин различных параметров конструкции на конечный результат.

Авторами развивается метод построения аппроксимирующих функций с учетом характера распределения нагрузки вдоль пространственных координат и величины кривизны оболочки. Для построения системы аппроксимирующих функций, с помощью которых можно выделить главную часть решения, ис-

пользуется статический метод В.З. Власова, применяемый при расчете пластинок вариационными методами. Для построения аппроксимирующих функций рассматривается длинная цилиндрическая оболочка с кривизной k_x , нагруженная заданной нагрузкой.

Качество аппроксимирующих функций повышается последовательно. Сначала рассматривается балка с граничными условиями как у оболочки. Нагрузка изменяется вдоль оси x по тому же закону, что и в рассматриваемой оболочке. Затем рассматриваются цилиндрические оболочки, вытянутые в направлении осей x, y , имеющие заданные кривизны.

В таблице показано сравнение результатов расчета пологой оболочки методом Бубнова-Галеркина при использовании предлагаемых функций с результатами по методу конечных разностей при сетке 32x32, демонстрирующее правомочность предлагаемого подхода к решению обсуждаемых задач.

Метод расчета	W_{\max}	$M_{\xi \max}$	$N_{\xi \max}$
МБГ	0,0960	0,0450	0,0840
МКР (32x32)	0,1000	0,0406	0,1035
Разница в %	4,0%	10,8%	18,8%

УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА АППРОКСИМИРУЮЩИХ ФУНКЦИЙ НА ГЛАВНУЮ ЧАСТЬ РЕШЕНИЯ ПОЛОГИХ ОБОЛОЧЕК

Петров В.В., Мищенко Р.В., Пименов Д.А.
СГТУ, г. Саратов, Россия

При расчёте пологих оболочек вариационными методами ответственным моментом является подбор (построение) аппроксимирующих функций, которые при расчёте уже в первом приближении будут давать результаты, сопоставимые с эталонными численными методами. Обычно точность результатов достигается путём увеличения числа степеней свободы, то есть числа аппроксимирующих функций в разложении искомым функций в ряды, причём каждый из членов этих рядов должен удовлетворять граничным условиям. Если при построении аппроксимирующих функций потребуем удовлетворения не только граничных условий, но и учёта других параметров конструкции, таких, например, как характер распределения нагрузки, кривизны оболочки и т.д., то уже в первом, или в первых, приближениях можно получить решение, которое будет иметь точность, достаточную для технических приложений.

Эту процедуру будем называть улучшением качества аппроксимирующих функций. В этом случае инженеру может быть предложена формула для анализа влияния различных параметров конструкции на конечный результат.

Рассмотрим пологую оболочку положительной гауссовой кривизны $\Gamma = k_x k_y > 0$ под действием поперечной нагрузки $q(x, y) = q(x)q(y)$. Размеры

оболочки в плане $(2 \times 2)a$ в направлении осей x, y соответственно. В данной работе рассматриваем оболочку с граничными условиями шарнирного опирания по всем сторонам. На этом примере покажем методику улучшения качества аппроксимирующих функций. Эту задачу будем решать методом Бубнова-Галеркина.

В первом приближении прогиб оболочки ищем в виде $w(x, y) = BX(x)Y(y)$, а функцию усилий в виде $\varphi(x, y) = A\xi(x)\eta(y)$. При построении аппроксимирующих функций X, Y, ξ, η можно взять за основу статический метод В.З. Владова, применяемый при расчёте пластинок вариационными методами. Для этого рассмотрим две бесконечно длинные цилиндрические оболочки, работающие в условиях цилиндрического изгиба, одна из которых с кривизной k_x вытянута в направлении оси y и нагружена нагрузкой $q(x)$, а другая с кривизной k_y вытянута в направлении оси x и нагружена нагрузкой $q(y)$. В рассмотренном ниже примере считаем, что нагрузка q_0 – равномерно распределена по поверхности оболочки

Напряжённо-деформированное состояние такой оболочки в условиях цилиндрического изгиба описывается следующей системой обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{Eh} \xi^{IV}(x) &= -\frac{1}{R} X''(x) \\ DX^{IV}(x) &= \frac{1}{R} \xi''(x) + q_0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Для построения аппроксимирующей функции $X(x)$ в нулевом приближении рассмотрим балку с пролётом равным $2a$, в соответствии с размером цилиндрической оболочки, и с граничными условиями как у оболочки. На нулевом этапе решается уравнение вида $DX_0^{IV}(x) = q_0$, в результате чего после удовлетворения граничным условиям $X_0(-a) = 0$, $X_0''(-a) = 0$, $X_0(a) = 0$, $X_0''(a) = 0$ получим аппроксимирующую функцию нулевого приближения $X_0(x)$:

$$X_0(x) = \frac{q_0}{24D} (x^4 - 6a^2x^2 + 5a^4) = \frac{q_0}{24D} \bar{X}_0(x) \quad (2)$$

На нулевом этапе в качестве аппроксимирующей функции берём функцию $\bar{X}_0(x)$, которая, кроме граничных условий учитывает ещё характер распределения внешней нагрузки. Рассматривая вторую цилиндрическую оболочку, аналогичным образом найдём функцию $\bar{Y}_0(y)$.

Для построения аппроксимирующих функций $\xi_0(x)$ и $\eta_0(y)$ воспользуемся первым уравнением из системы (1). Снова рассмотрим первую цилиндрическую оболочку. Уравнению неразрывности деформаций из системы (1) можно придать вид: $\xi_0^{IV}(x) = -\frac{Eh}{R} X_0''(x)$. В рассматриваемом примере граничные условия для функции усилий в оболочке совпадают по виду с граничными условиями фиктивной балки, жёстко защемлённой по обеим сторонам. После интегрирования и удовлетворения граничным условиям вида $\xi_0(-a) = 0$, $\xi_0'(-a) = 0$, $\xi_0(a) = 0$, $\xi_0'(a) = 0$ получим аппроксимирующую функцию $X_0(x)$ в нулевом приближении:

$$\xi_0(x) = \frac{Ehq_0}{720RD} \left(-x^6 + 15a^2x^4 - 27a^4x^2 + 13a^6 \right) = \frac{Ehq_0}{720RD} \bar{\xi}_0(x) \quad (3)$$

В качестве аппроксимирующей функции используем функцию $\bar{\xi}_0(x)$. Рассматривая вторую цилиндрическую оболочку, аналогичным образом найдём функцию $\bar{\eta}_0(y)$.

Таким образом, при решении задачи методом Бубнова-Галеркина в нулевом приближении в качестве аппроксимирующих функций берём функции $\bar{X}_0(x)$, $\bar{Y}_0(y)$, $\bar{\xi}_0(x)$, $\bar{\eta}_0(y)$. Следует отметить, что при таком построении аппроксимирующих функций $\bar{\xi}_0(x)$, $\bar{\eta}_0(y)$ учитываются не только граничные условия, но и характер изменения нагрузки вдоль поверхности оболочки, так как аппроксимирующие функции $\bar{X}_0(x)$ и $\bar{Y}_0(y)$ получены для нагрузки конкретного вида.

Полученные таким образом аппроксимирующие функции не учитывают наличие и величину кривизны полой оболочки и ее относительную толщину. Чтобы улучшить качество аппроксимирующих функций, учтем наличие кривизны оболочки. Уравнение равновесия полоски, выделенной из первой цилиндрической оболочки, можно записать следующим образом:

$$DX_1^{IV}(x) = \frac{1}{R} \xi_0''(x) + q_0 \quad (4)$$

Правая часть этого уравнения представляет собой некоторую фиктивную нагрузку, составленную из суммы нагрузки q_0 и фиктивной нагрузки $\frac{1}{R} \xi_0''(x)$. Решая уравнение (4) после удовлетворения граничных условий вида $X_1(-a) = 0$, $X_1''(-a) = 0$, $X_1(a) = 0$, $X_1''(a) = 0$ получим аппроксимирующую функцию в первом приближении $X_1(x)$:

$$X_1(x) = \frac{q_0}{24D} \left\{ \left(x^4 - 6a^2x^2 + 5a^4 \right) + \right. \\ \left. + \frac{Eh}{R^2D} 6 \cdot 10^{-4} \left(-x^8 + 28a^2x^6 - 126a^4x^4 + 364a^6x^2 - 265a^8 \right) \right\} \quad (5)$$

Аналогичным образом найдем аппроксимирующую функцию $Y_1(y)$.

Для построения аппроксимирующих функций $\xi_1(x)$, $\eta_1(y)$ в первом приближении используем первое уравнение из системы (1) и запишем его в следующем виде $\xi_1^{IV}(x) = -Eh/R X_1''(x)$. После четырехкратного интегрирования и удовлетворения граничным условиям вида $\xi_1(-a) = 0$, $\xi_1'(-a) = 0$, $\xi_1(a) = 0$, $\xi_1'(a) = 0$, $\xi_1''(a) = 0$ получим аппроксимирующую функцию в первом приближении $\xi_1(x)$

$$\xi_1(x) = \frac{Ehq_0}{720RD} \left\{ \left(-x^6 + 15a^2x^4 - 27a^4x^2 + 13a^6 \right) - \right. \\ \left. - \frac{Eh}{R^2D} 2 \cdot 10^{-4} \left(-x^{10} + 45a^2x^8 - 378a^4x^6 + 2730a^6x^4 - 4501a^8x^2 + 2105a^{10} \right) \right\} \quad (6)$$

Аналогичным образом, рассматривая вторую цилиндрическую оболочку, найдём аппроксимирующую функцию $\eta_1(y)$.

Для приведения аппроксимирующих функций $X_1(x)$, $Y_1(y)$, $\xi_1(x)$, $\eta_1(y)$ к безразмерному виду вводим безразмерные переменные, параметры и функции по формулам

$$\xi = x/a, \quad \eta = y/b, \quad \beta = a/b, \quad u = W/h, \quad \psi = \varphi/Eh^3, \\ p = 16q_0a^2b^2/Eh^4, \quad K_1 = k_x(2a)^2/h, \quad K_2 = k_y(2b)^2/h \quad (7)$$

В безразмерном виде аппроксимирующие функции $X_1(x)$, $Y_1(y)$ получают вид

$$u_1(\xi) = 3 \cdot 10^{-2} (1 - \mu^2) p_0 \beta^2 \left[\left(\xi^4 - 6\xi^2 + 5 \right) + \right. \\ \left. + 4,5 \cdot 10^{-4} (1 - \mu^2) K_1^2 \left(-\xi^8 + 28\xi^6 - 126\xi^4 + 364\xi^2 - 265 \right) \right] \\ u_2(\eta) = 3 \cdot 10^{-2} (1 - \mu^2) p_0 \beta^2 \left[\left(\eta^4 - 6\eta^2 + 5 \right) + \right. \\ \left. + 4,5 \cdot 10^{-4} (1 - \mu^2) K_2^2 \left(-\eta^8 + 28\eta^6 - 126\eta^4 + 364\eta^2 - 265 \right) \right] \quad (8)$$

Аппроксимирующие функции $\xi_1(x)$, $\eta_1(y)$ в безразмерном виде имеют вид

$$\begin{aligned} \psi_1(\xi) &= 2,6 \cdot 10^{-4} (1 - \mu^2) K_1 p_0 \beta^2 \left[\left(-\xi^6 + 15\xi^4 - 27\xi^2 + 13 \right) - \right. \\ &\quad \left. - 1,5 \cdot 10^{-3} (1 - \mu^2) K_1^2 \left(-\xi^{10} + 45\xi^8 - 378\xi^6 + \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + 2730\xi^4 - 4501\xi^2 + 2105 \right) \right] \\ \psi_2(\eta) &= 2,6 \cdot 10^{-4} (1 - \mu^2) K_2 p_0 \beta^2 \left[\left(-\eta^6 + 15\eta^4 - 27\eta^2 + 13 \right) - \right. \\ &\quad \left. - 1,5 \cdot 10^{-3} (1 - \mu^2) K_2^2 \left(-\eta^{10} + 45\eta^8 - 378\eta^6 + \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + 2730\eta^4 - 4501\eta^2 + 2105 \right) \right] \end{aligned} \quad (9)$$

В первом приближении метода Бубнова-Галёркина функции прогибов и усилий улучшенного качества ищем в виде

$$u(\xi, \eta) = B u_1(\xi) u_2(\eta), \quad \psi(\xi, \eta) = A \psi_1(\xi) \psi_2(\eta) \quad (10)$$

В том случае, если точность полученных результатов нас не удовлетворяет, используем приём, изложенный в работе [1] и во втором приближении метода Бубнова-Галёркина будем искать в виде

$$\begin{aligned} u(\xi, \eta) &= u_1(\xi) u_2(\eta) \left[B_1 + B_2 (\xi^2 - 1)^2 (\eta^2 - 1)^2 \right] \\ \psi(\xi, \eta) &= \psi_1(\xi) \psi_2(\eta) \left[A_1 + A_2 (\xi^2 - 1)^2 (\eta^2 - 1)^2 \right] \end{aligned} \quad (11)$$

В таблице показано сравнение результатов расчёта пологой оболочки с безразмерным параметром кривизны $K = K_1 + K_2 = 20 + 20$, полученных методом Бубнова-Галёркина при использовании предлагаемых функций, с результатами расчёта, полученными методом конечных разностей с сеткой 32×32 , которые берём за эталонные.

Метод расчёта	W_{\max}	$M_{\xi \max}$	$N_{\xi \max}$
МКР (32x32)	0,1000	0,0406	0,1035
МБГ (нулевое приближение)	0,1102	0,0275	0,1693
Отклонение в %	10,2%	32,3%	63,6%
МБГ (первое приближение)	0,1064	0,0309	0,1686
Отклонение в %	6,4%	23,9%	62,9%
МБГ (второе (11) улучшенное приближение)	0,0960	0,0450	0,0840
Отклонение в %	4,0%	10,8%	18,8%

Таким образом, сравнение результатов для оболочки, имеющей одну или две степени свободы, по сравнению с эталонным решением для оболочки, имеющей более тысячи степеней свободы, показало близкие результаты. Это является результатом улучшения качества аппроксимирующих функций в первом приближении.

Библиографический список

1. Петров, В.В. Теория и расчёт пластинок и оболочек. – Ч. 1. Расчёт упругих пластинок. / В.В. Петров. –Саратов: Изд-во СГТУ, 2014. – 164 с.

ПРИМЕНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ТЕОРИЙ ПРИ ОЦЕНКЕ ПРОЧНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ

Прохорова А.В., Сычева Т.Н.
ТулГУ, г. Тула, Россия

Древесина является природным материалом со сложной структурой. Изделия из древесины имеют явно выраженную анизотропию, что существенно усложняет процесс исследования реакций на приложенные усилия и их математическое описание.

Деревянные конструкции в настоящее время находят широкое применение во многих отраслях промышленности: промышленное, гражданское, дорожное строительство, судостроение, горнодобывающая отрасль и др. В России богатые запасы древесины и огромный опыт использования ее для хозяйственных нужд.

Новейшие исследования свойств древесины могут расширить общее представление о прочности твердых тел с анизотропной внутренней структурой, будут способствовать развитию теории проектирования конструкций и сооружений. Полученные знания о дереве и его характеристиках можно распространить на материалы, имеющие похожую структуру, например, композитные. Создание точной теории прочности позволит экономить строительные материалы и денежные средства, а также поможет развитию деревообрабатывающей отрасли.

Исследованию строения древесины и ее механических характеристик посвятили свои работы многие российские и зарубежные ученые: Швенденер, Гильдеман, Грешнер, Гадолин, Кулибин И., Журавский, Филиппов Н.А., Ванн С.И., Иванов Ю.М., Хухрянский П.Н., Орлович Р.Б. и др.

Исследование прочности древесины наиболее активно проводилось в 1950-1970 годы. Поскольку разные виды напряженного состояния древесины существенно отличаются друг от друга, их изучение проводилось по разным методикам и теориям.

До настоящего времени большинство исследовательских работ по определению прочности древесины при разных видах напряженного состояния носят

эмпирический характер, также отсутствуют рекомендации по выбору оптимального образца для проведения испытаний при чистом сдвиге.

Вопросы определения прочности древесины при растяжении и сжатии исследованы наиболее полно, разработаны стандартные образцы для проведения экспериментов, приняты общие зависимости для расчетов по методу предельных состояний.

Пока нет единого подхода к изучению сложных видов напряженного состояния деревянных конструкций, многие эксперименты являются единичными. Создание единой теории осложняется наличием различных гипотез, зависимостью от условий проведения экспериментов и особенностей оборудования.

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ БЕТОНОВ

Прудков Е.Н., Семкина А.А., Соловьева И.Е.
ТулГУ, г. Тула, Россия

Развитие технологии бетона, применение новых вяжущих и модификаторов позволяет получать бетоны с новыми коррозионными характеристиками: низкой проницаемостью для агрессивных газов и растворов, пониженной способностью химически реагировать с компонентами агрессивных сред.

Известно, что многочисленные процессы, протекающие при коррозии бетона, классифицированы на три основных вида:

- первый вид объединяет все те коррозионные процессы, которые возникают в бетоне под действием воды, когда составные части цементного камня (в основном $\text{Ca}(\text{OH})_2$) растворяются и вымываются;

- второй вид включает процессы, которые развиваются в бетоне под действием вод, содержащих химические вещества, вступающие в обменные реакции с составляющими цементного камня ($\text{Ca}(\text{OH})_2$ и др.). Продукты реакции легко растворимы и вымываются водой или в виде аморфной массы отлагаются в порах и капиллярах цементного камня;

- третий вид – процессы, при которых в микропустотах бетона происходит накопление малорастворимых солей, кристаллизация которых вызывает значительные растягивающие напряжения и итоговое разрушение.

Известно, что эффективными модификаторами для повышения коррозионной стойкости бетона являются пуццолановые добавки.

Авторами для получения коррозионностойких мелкозернистых бетонов в качестве пуццолановых добавок использовались добавки микрокремнезёма и метакаолина, содержащих аморфный кремнезём.

Механизм действия пуццолановых добавок в основном обусловлен химическим взаимодействием аморфного кремнезёма с известью ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), образующейся в результате гидролиза C_3S и C_2S при гидратации цемента, что приводит к уменьшению свободного $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в структуре цементного камня и

способствует повышению коррозионной стойкости бетона к коррозии I и II вида. Установлено, что применение указанных добавок в мелкозернистом бетоне уменьшает содержание $\text{Ca}(\text{OH})_2$ на 5–8% с 25 до 18%, что и приводит к снижению I и II видов коррозии. При этом также повышается плотность и прочность бетона.

МОДИФИЦИРОВАНИЕ ВЫСОКОПРОЧНОГО МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА ДОБАВКАМИ

Прудков Е.Н., Скоркин М.Е., Шанина О.М.
ТулГУ, г. Тула, Россия

Одним из актуальных направлений эффективного применения высокопрочного и высококачественного бетона является использование мелкозернистого бетона.

Проблема получения высокопрочных высококачественных бетонов успешно решается модифицированием его структуры комплексными добавками различного функционального назначения. В таких бетонах используются: индивидуальные химические модификаторы, реакционно-активные минеральные компоненты различной дисперсности, комплексные модификаторы. Многокомпонентность бетонной смеси позволяет эффективно управлять структурообразованием на всех этапах технологии и получать бетоны с заданными свойствами.

В свою очередь высокопрочный бетон отличают от рядового некоторые показатели, основными из которых являются: низкое содержание воды затворения, определяющее через показатель водоцементного отношения прочностные свойства. Это достигается за счет применения добавок суперпластификатора, обладающих водоредуцирующим

Целью работы является разработка составов и исследование свойств многокомпонентных модифицированных мелкозернистых.

В качестве материалов для высокопрочного мелкозернистого бетона использовали портландцемент ПЦ 500-Д0-Н, песок с модулем крупности 2.2, и в качестве добавок микрокремнезем, белую сажу и суперпластификаторы.

На основании полученных результатов испытаний на прочность, установлено, что наибольшая прочность на сжатие имеет мелкозернистый бетон при расходе цемента 750 кг/м^3 , песка 1500 кг/м^3 , микрокремнезема 8% от массы цемента, белой сажи 0.5% от массы цемента, расход суперпластификаторов принесли 0.4% от массы цемента, В/Ц=0,38.

Такой состав обеспечивает класс бетона по прочности на сжатие В60.

Добавки микрокремнезема и белой сажи, обладая высокой пуццаланической активностью способствуют дополнительному образованию и равномерному распределению структурно-активной гидратной фазы – гидросиликатов кальция.

Результатом такой структурированной деятельности добавок является существенное улучшение качественных показателей мелкозернистых бетонов, повышение их прочности и плотности.

Добавки суперпластификаторы, обладающие пластифицирующим и водоредуцирующим действием, уменьшают расход воды затворения при этом обеспечивают заданную удобоукладываемость бетонной смеси.

Комплексное использование вышеперечисленных добавок способно создать материал нового поколения – высокопрочный мелкозернистый бетон.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ТЕПЛОЗАЩИТЫ РЕКОНСТРУИРУЕМЫХ ЗДАНИЙ

Пшенов А.А., Зобкова Н.В., Федотов А.В.
СГТУ, г. Саратов, Россия

Теплосбережение при реконструкции существующих жилых, общественных и промышленных зданий является одной из самых актуальных задач.

Физико-технические свойства применяемых теплоизоляционных материалов влияют как на теплотехническую эффективность, так и на эксплуатационную надежность ограждающих конструкций. Трудоемкость производства работ, возможность ремонта в процессе эксплуатации определяют технико-экономическую эффективность различных вариантов утепления зданий.

Для утепления ограждающих конструкций стен применяется широкая номенклатура теплоизоляционных изделий из стекловолокна, минеральной ваты, пенопластов, имеющих различное назначение (для утепления снаружи, внутри помещения) и физико-технические характеристики.

На Российском строительном рынке появился и начал применяться новый сверхтонкий теплоизоляционный материал серии «Корунд®», выпускаемый волгоградским Научно-производственным объединением «Фуллерен».

Покрытие «Корунд» – высокотехнологичный композиционный материал, состоящий из вакуумированных керамических микросфер находящихся в смеси акриловых полимеров. Покрытие используется как универсальный теплоизоляционный материал (по консистенции напоминающий вододисперсионную краску) для объектов с температурами эксплуатации от -60 до 200°С. Покрытие наносится на металл, пластик, бетон, кирпич и другие строительные материалы, а также на оборудование, трубопроводы и воздуховоды при эксплуатации объектов с температурой от -60°С до +250°С без остановки производства.

По данным производителя толщина жидкого слоя покрытия при нанесении за один раз не должна превышать 0,4 мм. Каждый последующий слой наносится после полного высыхания предыдущего слоя, т.е. через 24 часа. Исключением является система «Корунд-Фасад», специально разработанная для утепления стен зданий. Максимальная толщина одного слоя «Корунд-Фасад» может достигать 1 мм.

Материал можно наносить с помощью установки безвоздушного напыления, а также с помощью кисти. При работе с плоскими поверхностями большой площади, эффективнее использовать безвоздушное напыление. Участки малой площади рекомендуется покрывать кистью.

Эффективные физико-технические показатели материала, простота выполнения теплоизоляционных работ даже на поверхностях сложной конфигурации делают его незаменимым при реконструкции существующих зданий.

ВЛИЯНИЕ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ МАТЕРИАЛА НА ДЛИТЕЛЬНУЮ ПРОЧНОСТЬ ПЛАСТИН ПРИ ДЕЙСТВИИ РАСТЯГИВАЮЩЕЙ НАГРУЗКИ

Романов В.М.

ТулГУ, г. Тула, Россия

В работе рассматривается задача о нагружении прямоугольной пластины равномерно распределенной нагрузкой, приложенной к двум ее противоположным сторонам.

В рамках классической теории МДТТ было рассчитано напряженно-деформированное состояние прямоугольной пластины в условиях одноосного напряжения.

На основании экспериментальных данных была составлена система уравнений, описывающая напряженно-деформированное состояние пластины, с учетом повреждаемости материала.

В программном комплексе MAPLE разработана прикладная программа, для решения поставленной задачи. Используя разработанную математическую модель и прикладную программу расчета, решена задача по определению НДС прямоугольной пластины, выполненной из стали класса С245. Исходные данные для расчета: длина и ширина пластины $L=0,5$ м; нагрузка на пластину равномерно распределенная $q = 100$ МПа. Температурный режим принимается постоянным $T = 20$ °С.

Результаты расчета получены по классической теории изотропных материалов, на основе программного комплекса ANSYS. Проведено сравнение результатов решения задачи с учетом и без учета повреждаемости материала. Значения нормальных напряжений при учете повреждаемости материала превышают значения нормальных напряжений без учета повреждаемости материала на 40-70%. Срок эксплуатации конструкции сократился в 3 раза.

Проанализировав результаты, можно сделать вывод, что учет влияния повреждаемости материала существенно влияет на срок службы, и является одним из важнейших критериев прочности при расчёте конструкций.

Библиографический список

1. Кукуджанов, В.Н. Компьютерное моделирование деформирования, повреждаемости и разрушения неупругих материалов и конструкций / В.Н. Кукуджанов. – М.: МФТИ, 2008. – 215 с.
2. Макаров, Э.С., Тутышкин Н.Д., Гвоздев А.Е., Трегубов В.И., Запара М.А. Технологическая механика дилатирующих материалов / Э.С. Макаров, Н.Д. Тутышкин, А.Е. Гвоздев, В.И. Трегубов, М.А. Запара. –Тула: Тульский полиграфист, 2007. – 199 с.
3. Конструкционная прочность материалов и деталей ГТД // Труды ЦИАМ. – М., 1989. – W 835. – 521 с.

**РАЦИОНАЛЬНЫЙ СПОСОБ ВТОРИЧНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ОТРАБОТАННОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА**

Рябов Г.Г., Агальцов Н.С., Соловьева И.Е., Шанина О.М.
ТулГУ, г. Тула, Россия

Из мелкозернистых бетонов производит достаточно широкую номенклатуру изделий, таких как бордюрные камни, тротуарная плитка и др. Перед многими производителями стоит задача снизить материальные затраты на производство изделий, не ухудшая свойства самого изделия.

Данное исследование посвящено способу утилизации отработанного асфальтобетона в составе мелкозернистых бетонов. Рассматривается способ приготовления модифицирующей добавки из отработанного асфальтобетона. Отработанный асфальтобетон, скапливающийся в отвалах, может быть утилизирован путем введения в бетонную смесь модификатора, приготовленного на основе битумного вяжущего из отработанного асфальтобетона и керосина. Керосин отделяет минеральную фазу от битума в асфальтобетоне. После того как битум растворился в керосине, получаем модифицирующую добавку, а отделенная минеральная фаза асфальтобетона может быть вторично использована в нижнем основании дорог.

Отмечено, что при использовании добавки, повысилась пластичность бетонной смеси. Это позволяет судить о том, что добавка обладает пластифицирующим действием, т.к. керосин обладает гидрофобизирующим действием. Кроме того, увеличилась прочность бетона (с 38,5 МПа (без добавки) до 54,8 МПа (оптимальный расход добавки)) за счет получения "наномодификатора" на основе битумного вяжущего и керосина. Это обусловлено тем, что под действием растворителя (керосина), углеводородные молекулы битума $C_{n-2}H_{2n-2} = C_nH_{2n} = C_nH_{2n}$ распадаются на молекулы, более меньшего размера $-C_nH_{2n}$ вплоть до ионов углерода (C). Последний же, как известно, оказывает положительное влияние на пластичность мелкозернистых бетонов и, соответственно, на прочность.

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ДОБАВКИ НА ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА КЕРАМИКИ

Рябов Г.Г., Ашихмин А.А.

ТулГУ, г. Тула, Россия

В настоящее время керамические изделия играют огромную роль в строительной индустрии, поэтому часто встаёт вопрос об улучшении определённых свойств данного материала.

Данное исследование посвящено улучшению прочностных характеристик, сохранению товарного вида керамики и снижению её себестоимости. Для этого в составе керамической массы, включающей суглинок, керамзитовую глину, железосодержащие и выгорающие добавки, в качестве железосодержащей добавки вводят молотый отход (отработанный катализатор производства аммиака, а в качестве выгорающей добавки – «маточный раствор» – отход производства вспененного полистирола.

Поставленные в данной работе исследования, осуществляются за счёт синтеза химических реакций, проходящих в процессе изготовления изделий, как например, в процессе сушки, сформованной керамики, из её состава испаряется не только формовочная влага, введённая в массу вместе с маточным раствором, но и вода из маточного раствора и твёрдый остаток маточного раствора превращается в адгезионную плёнку, чему способствует поливиниловый спирт, входящий в состав маточного раствора. Эти плёнки адсорбирует между собой микрочастицы глины и железосодержащие добавки, в результате чего прочность заметно увеличивается.

Результаты исследования позволяют сделать выводы о том, что после сушки и обжига происходит увеличение прочности керамических изделий, уменьшение теплоэнергетических затрат за счёт исключения сушки выгорающей добавки и уменьшения температуры обжига, с сохранением архитектурного вида.

ЖАРОУПОРНАЯ БЕТОННАЯ СМЕСЬ НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ

Рябов Г.Г., Сигарев А.М., Соловьева И.Е., Шанина О.М.

ТулГУ, г. Тула, Россия

Жароупорный бетон незаменим в случаях производства всевозможных фундаментов для тепловых конструкций, изготовления промышленных и бытовых печей, коллекторов, камер, воздухонагревателей доменных печей, туннельных печей для обжига, дымовых труб, футеровки рабочих окон и стале-выпускных желобов мартеновских печей и т.д.

Рассматривается возможность утилизации отходов ферросплавного производства (микрокремнезем М–85), а также отходов производства растворимого

стекла, получаемого в результате вытяжки осадка, образующегося на дне емкостей, в которых растворяется силикат-глыба.

Для определения полученных свойств жароупорной бетонной смеси были проведены испытания по определению прочности в возрасте 7 и 28 суток нормального твердения согласно ГОСТ 10180. Определение остаточной прочности бетонной смеси после обжига при 800°C проводится в соответствии с ГОСТ 20910-90.

При исследовании были разработаны составы, отвечающие требованиям поставленной задачи, т.е. жаростойкими(И8), а остаточная прочность после обжига смеси при температуре 800°C более 30%. Основным результатом исследования стало применение кварцевого наполнителя в жаростойкой смеси. Экономическая целесообразность разработанных составов заключается в упрощении технологии приготовления, т.к. не требуется осуществлять электролиз воды, утилизации некоторых отходов, различных шлаков, отходы производства растворимого стекла, применение низкотемпературных цементов.

Разработанная смесь может найти применение в производстве строительных материалов в качестве облицовочного материала для покрытия стен в пожароопасных помещениях, покрытия внешних стен котельных установок, сушилок и других объектов с температурой нагрева до 800 °С.

ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМИРУЕМОСТИ ОСНОВАНИЯ ПРИ ЕГО УВЛАЖНЕНИИ

Селиванов Ф.С., Непряхин Р.А.
СГТУ, г. Саратов, Россия

Деформация основания грунта зависит от таких характеристик как дисперсность, влажность, плотность и т.д. При изменении по глубине возникают изменения напряженного состояния грунта под действием собственного веса и внешней нагрузки. Проблема замачивания грунта приводит к неравномерным осадкам, что несовместимо с нормальной эксплуатацией здания. Это говорит о несомненной актуальности данной проблемы.

Просадочность грунта оценивают относительной просадочностью ε_{se} , которую можно определить по данным компрессионных испытаний с подачей воды в прибор. По данным испытаний строят график зависимости высоты образца от давления и характера деформации при замачивании (рис. 1, а)

$$\varepsilon_{st} = \frac{h_{np} - h_{sap}}{h_{nq}}$$

где h_{np} – высота образца грунта природной влажности при давлении на данной глубине после возведения сооружения, h_{sap} – высота образца после просадки от замачивания, h_{nq} – высота образца при природном давлении $P=\sigma_z q$ на данной глубине z .

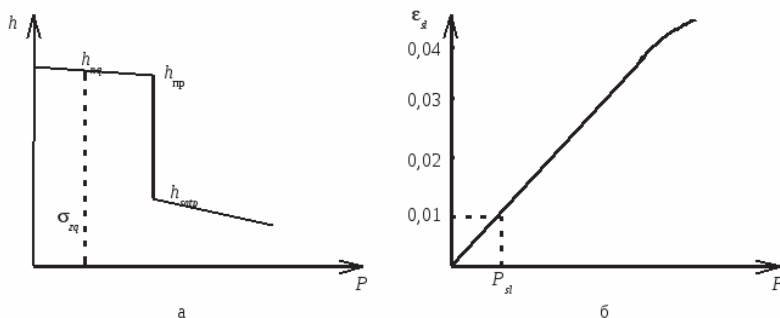


Рис.1. Деформации лессового грунта при замачивании: а – компрессионная кривая; б – изменение коэффициента относительной просадочности

Грунт считается просадочным при $\varepsilon_{sl} \geq 0,01$. Серия опытов с замачиванием образцов при различных давлениях позволяет построить график зависимости коэффициента относительной просадочности от давления (рис.1,б). По графику можно оценить начальное просадочное давление P_{sl} , при котором $\varepsilon_{sl} = 0,01$. При меньшем давлении лессовый грунт считается практически непросадочным.

Просадочность грунта при замачивании объясняется рядом причин, основная из которых – размягчение неводостойких связей между частицами грунта. При попадании воды в грунт вокруг частиц образуются водные плёнки, утолщение которых оказывает на частицы "раскалывающее" действие. Структурные связи между частицами, представляющие собой цементацию солями или склеивание коллоидными частицами, разрушаются (частично растворяются, размягчаются, размокают). Все это приводит к оплыванию частиц грунта и заполнению ими макропор, т.е. к уменьшению объёма грунта (просадка).

Лабораторные определения основных характеристик просадочных грунтов подтверждают однородность зернового состава (обычно $c_u \leq 3$), высокое содержание пылеватых фракций (до 70-80%), невысокую влажность (часто меньше 10-12%). Химический анализ большей частью показывает высокое содержание карбонатов (углекислых солей), в связи с чем грунт "вскипает" от соляной кислоты.

Другой причиной отсутствия просадочности может служить высокая набухаемость грунтов, объясняемая повышенным содержанием глинистых частиц или высокой их дисперсностью (значительное содержание коллоидов). В таких высокогидрофильных грунтах при увлажнении происходит образование адсорбционных плёнок большой толщины, что влечёт за собой увеличение объёма грунта (набухание).

Таким образом, набухаемость и просадочность грунта находятся как бы в борьбе друг с другом и, в конечном счёте, склонность грунта к просадочным деформациям определяется либо большей набухаемостью, либо большей про-

садочностью. В частности, элювиальные глинистые грунты, среди которых нередко встречаются макропористые, большей частью непросадочные, т.к. богаты содержанием коллоидов и, соответственно, высокогидрофильны.

При замачивании просадочных грунтов в природных условиях, особенно поверхностными водами, просадочные явления усугубляются за счет значительного выноса вещества скелета грунта в растворенном (соли) и взвешенном (пылеватые частицы) состоянии в нижележащие слои грунта за счет высокой фильтрационной способности грунта в направлении макропор.

Просадочные свойства грунтов наиболее достоверно могут быть определены полевыми испытаниями с замачиванием. Результаты таких испытаний графически представлены на рис. 2.

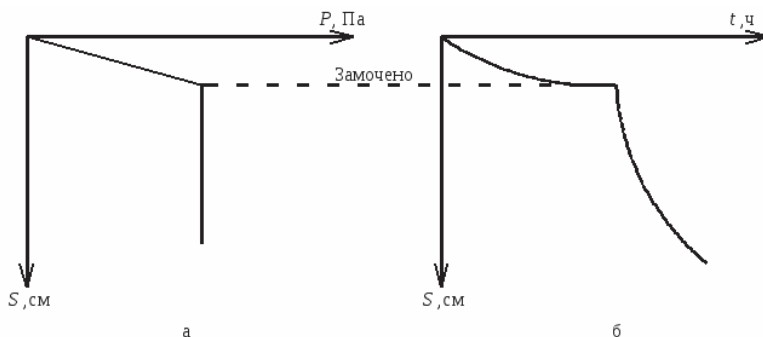


Рис.2. Зависимость между осадкой и давлением в условиях замачивания: в полевых условиях (а) и зависимость между осадкой и временем (б)

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРУЕМОГО СОСТОЯНИЯ ПЛИТЫ НА НЕЛИНЕЙНО-ДЕФОРМИРУЕМОМ ОСНОВАНИИ

Селиванов Ф.С., Самышина В.А.
СГТУ, г. Саратов, Россия

В процессе эксплуатации в грунтовом основании происходят изменения деформационных свойств, вызванные воздействием различных факторов. Воздействия подземных вод, агрессивных сред, изменения температурно-влажностного режима, краткосрочные или длительные механические воздействия на грунт приводят к развитию наведенной неоднородности физико-механических свойств среды основания. Наведенную неоднородность сложно предсказать на начальных стадиях строительства, так как она развивается в процессе эксплуатации и часто является следствием многих факторов. Целью работы является разработка математической модели и анализ напряженно-деформированного состояния конструктивных элементов, взаимодействующих с грунтовым основанием в условиях наведенной неоднородности его физико-механических свойств с локальными областями закрепления основания.

Рассмотрим плоскую задачу изгиба упругой длинной в направлении y плиты, лежащей на основании, в приращениях:

$$EJ \cdot \Delta W_1^{IV} = \Delta p(x) - \Delta q(x)$$

где $\Delta W_1(x)$ – приращение прогиба балки; $\Delta p(x)$ – приращение внешней заданной нагрузки; $\Delta q(x)$ – приращение реакции основания, $EJ = E \cdot h_b^3 \cdot b / (12 \cdot (1 - \nu^2))$ – изгибная жесткость.

Рассматривая совместную работу балки и основания, используя идеи модели основания В.З. Власова и гипотезы деформационной теории пластичности в приращениях, как в [1], была получена система дифференциальных уравнений краевой задачи, выражающей зависимость между нагрузкой на балку и её прогибом (осадкой), в приращениях:

$$\begin{aligned} & EJ \cdot \int_0^H \psi_1 dz \cdot \Delta W_1^{IV} - \sum_{k=1}^n \left[\int_0^H E_{33} \psi_k \psi_1 dz \right] \cdot \Delta W_k'' - \\ & - \sum_{k=1}^n \left[\int_0^H \frac{\partial E_{33}}{\partial x} \psi_k \psi_1 dz + \int_0^H E_{32} \psi_k' \psi_1 dz - \int_0^H \frac{\partial E_{23}}{\partial z} \psi_k \psi_1' dz - \int_0^H E_{23} \psi_k' \psi_1' dz \right] \cdot \Delta W_k' - \\ & - \sum_{k=1}^n \left[\int_0^H \frac{\partial E_{32}}{\partial x} \psi_k' \psi_1 dz - \int_0^H \frac{\partial E_{22}}{\partial z} \psi_k' \psi_1' dz - \int_0^H E_{22} \psi_k'' \psi_1' dz \right] \cdot \Delta W_k = \Delta p \cdot \int_0^H \psi_1 dz \end{aligned}$$

и

$$\begin{aligned} & \sum_{k=1}^n \left[\int_0^H E_{33} \psi_k \psi_h dz \right] \cdot \Delta W_k'' + \\ & + \sum_{k=1}^n \left[\int_0^H \frac{\partial E_{33}}{\partial x} \psi_k \psi_h dz + \int_0^H E_{32} \psi_k' \psi_h dz - \int_0^H \frac{\partial E_{23}}{\partial z} \psi_k \psi_h' dz - \int_0^H E_{23} \psi_k' \psi_h' dz \right] \cdot \Delta W_k' + \\ & + \sum_{k=1}^n \left[\int_0^H \frac{\partial E_{32}}{\partial x} \psi_k' \psi_h dz - \int_0^H \frac{\partial E_{22}}{\partial z} \psi_k' \psi_h' dz - \int_0^H E_{22} \psi_k'' \psi_h' dz \right] \cdot \Delta W_k = 0 \end{aligned}$$

где $h = 2, \dots, n$. Здесь E_{ij} элементы матрицы физико-механических параметров (переменных жесткостей), ψ_i система выбираемых из условий деформирования координатных функций, W_i вертикальные перемещения на линии контакта слоев.

При этом в зависимости от условий задачи на краях плиты должны быть заданы различные граничные условия на W_i .

Библиографический список

1. Селиванов, Ф.С. Применение теории наведенной неоднородности для расчета деформаций слоистой среды на основе вариационного метода В.З. Власова: автореф. дис.канд.техн. наук / Ф.С. Селиванов. – Саратов: СШТУ, 2004. – 16 с.

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРУЕМОГО СОСТОЯНИЯ ОБОЛОЧКИ НА НЕЛИНЕЙНО-ДЕФОРМИРУЕМОМ ОСНОВАНИИ

Селиванов Ф.С., Самышина В.А.
СГТУ, г. Саратов, Россия

Рассмотрим расчет деформаций цилиндрической оболочки, взаимодействующей со слоистой средой основания.

Поставим модельную задачу – шарнирно опертая цилиндрическая оболочка (рис. 1) изотропная по координате θ (в цилиндрической системе координат), нагруженная равномерно-распределенной силой интенсивности $p = 300 \text{ кН/м}$ (с шагом 10 кН/м). Длина оболочки $L = 6 \text{ м}$, толщина стенки $H_0 = 0,5 \text{ м}$, радиус оболочки $R = 4 \text{ м}$.

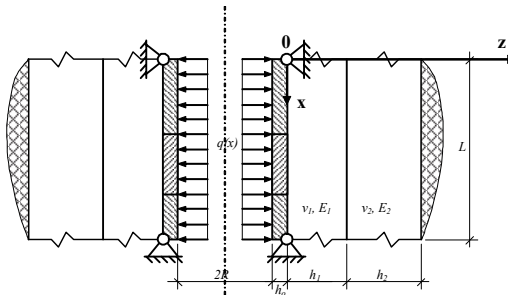


Рис. 1

Модуль деформации материала оболочки $E_0 = 18000 \text{ МПа}$. Коэффициент Пуассона материала оболочки $\nu_0 = 0,35$, основания $\nu = 0,35$. Толщина 1-го слоя основания $h_1 = 1 \text{ м}$, 2-го слоя основания $h_2 = 3 \text{ м}$. Модуль деформации 1-го слоя основания $E_1 = 9845 \text{ кПа}$, 2-го слоя – $E_2 = 9845 \text{ кПа}$. Оболочка неоднородная по координате x . Неоднородность оболочки связана с разрывом в модуле упругости, так как оболочка изготовлена из разномодульного материала.

Для описания разрыва мы будем использовать единичную функцию Хевисайда $\Omega_0(x - x_0)$. Разрывный модуль упругости оболочки $E_{Ob}(x)$ может быть записан с использованием функции Хевисайда:

$$\begin{aligned} E_{Ob}(x) &= E_{Ob1} \cdot (1 - \Omega_0(x - x_1)) + E_{Ob2} \cdot \Omega_0(x - x_1) = \\ &= E_{Ob1} - E_{Ob1} \cdot \Omega_0(x - x_1) + E_{Ob2} \cdot \Omega_0(x - x_1) = \\ &= E_{Ob1} \cdot (1 - (1 - E_{Ob2} / E_{Ob1}) \cdot \Omega_0(x - x_1)), \end{aligned}$$

где x_1 – точка разрыва модуля упругости оболочки $E_{Ob}(x)$, в которой происходит его изменение с E_{Ob1} на E_{Ob2} .

Графики перемещений серединной поверхности оболочки и поверхности, угол поворота и изгибающий момент приведены на рис.2.

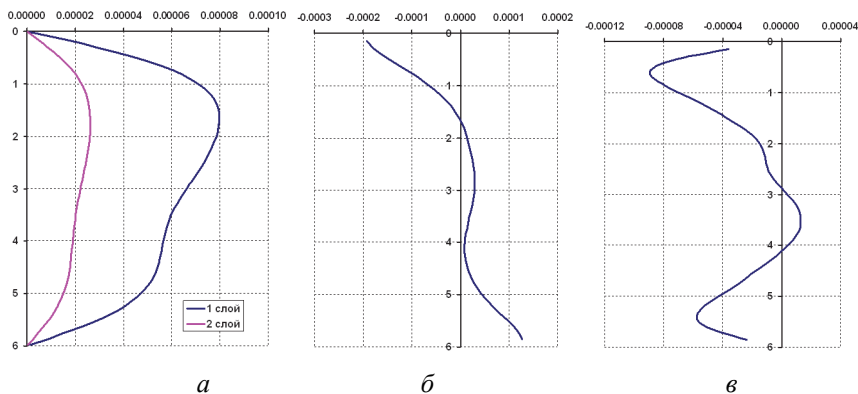


Рис. 2: *a* – перемещения, *б* – угол поворота, *в* – приведенный изгибающий момент

Библиографический список

1. Петров, В.В. Теория наведенной неоднородности и ее приложения к проблеме устойчивости пластин и оболочек / В.В. Петров, В.К. Иноземцев, Н.Ф. Синева. – Саратов: СГТУ, 1996. – 312 с.
2. Петров, В.В. Теория наведенной неоднородности и ее приложения к проблеме конструкций на неоднородном основании / В.В. Петров, В.К. Иноземцев, Н.Ф. Синева. – Саратов: СГТУ, 2002. – 260 с.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПЛИТ НА СЛОИСТОМ ОСНОВАНИИ С ЛОКАЛЬНОЙ НЕОДНОРОДНОСТЬЮ

Селиванов Ф.С., Синева Н.Ф., Никитюк М.А.
СГТУ, г.Саратов, Россия

Известно, что застроенные территории подвергаются подтоплению в результате подъема грунтовых вод. При увлажнении оснований сооружений снижаются их прочностные характеристики. Одной из возможных мер по продлению срока эксплуатации сооружений является введение локальных закреплений оснований по прерывистой (столбчатой) схеме. После этого конструкция начинает работать по новой расчетной схеме и требуется моделировать ее деформирование. Покажем расчетную модель такой системы.

Рассмотрим упругую длинную в одном направлении плиту, опирающуюся на двухслойное основание (плоская задача). Допустим, что верхний просадочный слой основания подвергается столбчатому усилению под средней частью балки на некоторых участках ее длины. Второй слой основания опирается на твердый (мало деформируемый) нижний слой. Примем следующее условие работы этих зон: зоны закрепленного грунта при увлажнении верхнего слоя не

меняют своих характеристик, вне этих зон деформативность верхнего слоя повышается.

Изменение модуля деформаций обусловлено не только увеличением влажности, но и наличием дискретных (по длине плиты) зон укрепленного грунта основания. Для учета переменности модуля воспользуемся фильтрующей функцией Хевиссайда $\Omega(x - x_0)$.

Обозначим E_1^* – модуль деформаций грунта верхнего слоя основания в его естественном состоянии, E_1^{**} – модуль деформаций закрепленного грунта верхнего слоя основания. Зависимость модуля деформаций незакрепленной зоны грунта основания от влажности C : $E_C^*(C) = E_1^* \Phi(C)$, где $\Phi(C) = C/(bC - d)$ – деградационная функция, b, d коэффициенты, $\xi = E_1^*/E_1^{**}$. Тогда для модуля деформации:

$$E_1(x) = E_1^{**} \left\{ 1 - \left(1 - \frac{E_1^*}{E_1^{**}} \right) \Omega(x - x_0) \right\}$$

С учетом коэффициента закрепления грунта основания ξ и дискретного распределения нескольких зон j закрепления грунта по длине слоя под плитой

$$E_1(x) = E_1^{**} \left\{ 1 - \sum_i^j (1 - \xi \Phi(C)) \Omega(x - x_i) \right\}$$

Дифференциальные уравнения краевой задачи изгиба плит на неоднородном упругом двухслойном основании модели В.З.Власова

$$\begin{aligned} & EJ \cdot \Delta W_1^{IV} - \frac{E_1}{3 \cdot (1 + \nu_1)} \cdot \Delta W_1'' - \frac{E_1}{6 \cdot (1 + \nu_1)} \cdot \Delta W_2'' - \\ & - \frac{dE_1}{dx} \cdot \frac{1}{3 \cdot (1 + \nu_1)} \cdot \Delta W_1' - \frac{dE_1}{dx} \cdot \frac{1}{6 \cdot (1 + \nu_1)} \cdot \Delta W_2' + \\ & + \frac{E_1}{1 - \nu_1^2} \cdot \frac{2}{h_1^2} \cdot \Delta W_1 - \frac{E_1}{1 - \nu_1^2} \cdot \frac{2}{h_1^2} \cdot \Delta W_2 = \Delta p ; \\ & \frac{E_1}{2 \cdot (1 + \nu_1)} \cdot \frac{h_1}{6} \cdot \Delta W_1'' + \left(\frac{E_1}{2 \cdot (1 + \nu_1)} \cdot \frac{h_1}{3} + \frac{E_2}{2 \cdot (1 + \nu_2)} \cdot \frac{h_2}{3} \right) \cdot \Delta W_2'' + \\ & + \frac{dE_1}{dx} \cdot \frac{1}{2 \cdot (1 + \nu_1)} \cdot \frac{h_1}{6} \cdot \Delta W_1' + \frac{dE_1}{dx} \cdot \frac{1}{2 \cdot (1 + \nu_1)} \cdot \frac{h_1}{3} \cdot \Delta W_2' + \\ & + \frac{E_1}{1 - \nu_1^2} \cdot \frac{1}{h_1} \cdot \Delta W_1 - \left(\frac{E_1}{1 - \nu_1^2} \cdot \frac{1}{h_1} + \frac{E_2}{1 - \nu_2^2} \cdot \frac{1}{h_2} \right) \cdot \Delta W_2 = 0 \end{aligned}$$

Здесь W_1, W_2 вертикальные перемещения по поверхностям контакта слоев, h_1, h_2 – толщины слоя, Δp – приращение нагрузки, ν_1, ν_2 коэффициент Пуассона. E, J модуль упругости и момент инерции плиты Незакрепленные зоны верхнего слоя изменяют свою деформативность за счет изменения влажности S . Для приближенного решения задачи в приращениях был использован метод Бубнова-Галеркина. Разложением приращений прогиба ΔW_1 и ΔW_2 по синусам с удержанием n слагаемых, применяя процедуру метода, получаем $2n$ алгебраических уравнений. Коэффициенты разложений отыскиваются из условия ортогональности невязки координатным функциям. Алгебраическая система решается прямым методом Гаусса.

МОДЕЛЬ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПЛИТ НА НЕЛИНЕЙНОМ НЕОДНОРОДНОМ ОСНОВАНИИ

Селиванов Ф.С., Синева Н.Ф., Ошменский А.С.
СГТУ, г.Саратов, Россия

В процессе эксплуатации в грунтовом основании происходят изменения деформационных свойств, вызванные воздействием различных факторов. Воздействия подземных вод, агрессивных сред, изменения температурно-влажностного режима, краткосрочные или длительные механические воздействия на грунт приводят к развитию наведенной неоднородности физико-механических свойств среды основания. Наведенную неоднородность сложно предсказать на начальных стадиях строительства, так как она развивается в процессе эксплуатации и часто является следствием многих факторов. Целью работы является разработка математической модели и анализ напряженно-деформированного состояния конструктивных элементов, взаимодействующих с грунтовым основанием в условиях наведенной неоднородности его физико-механических свойств с локальными областями закрепления основания.

Рассмотрим плоскую задачу изгиба упругой длинной в направлении y плиты, лежащей на основании, в приращениях:

$$EJ \cdot \Delta W_1^{IV} = \Delta p(x) - \Delta q(x)$$

где $\Delta W_1(x)$ – приращение прогиба балки; $\Delta p(x)$ – приращение внешней заданной нагрузки; $\Delta q(x)$ – приращение реакции основания, $EJ = E \cdot h_b^3 \cdot b / (12 \cdot (1 - \nu^2))$ – изгибная жёсткость.

Рассматривая совместную работу балки и основания, используя идеи модели основания В.З. Власова и гипотезы деформационной теории пластично-

сти в приращениях, как в [1], была получена система дифференциальных уравнений краевой задачи, выражающей зависимость между нагрузкой на балку и её прогибом (осадкой), в приращениях:

$$\begin{aligned}
 & EJ \cdot \int_0^H \psi_1 dz \cdot \Delta W_1^{IV} - \sum_{k=1}^n \left[\int_0^H E_{33} \psi_k \psi_1 dz \right] \cdot \Delta W_k'' - \\
 & - \sum_{k=1}^n \left[\int_0^H \frac{\partial E_{33}}{\partial x} \psi_k \psi_1 dz + \int_0^H E_{32} \psi_k' \psi_1 dz - \int_0^H \frac{\partial E_{23}}{\partial z} \psi_k \psi_1' dz - \int_0^H E_{23} \psi_k' \psi_1' dz \right] \cdot \Delta W_k' - \\
 & - \sum_{k=1}^n \left[\int_0^H \frac{\partial E_{32}}{\partial x} \psi_k' \psi_1 dz - \int_0^H \frac{\partial E_{22}}{\partial z} \psi_k' \psi_1' dz - \int_0^H E_{22} \psi_k'' \psi_1' dz \right] \cdot \Delta W_k = \Delta p \cdot \int \psi_1 dz
 \end{aligned}$$

и

$$\begin{aligned}
 & \sum_{k=1}^n \left[\int_0^H E_{33} \psi_k \psi_h dz \right] \cdot \Delta W_k'' + \\
 & + \sum_{k=1}^n \left[\int_0^H \frac{\partial E_{33}}{\partial x} \psi_k \psi_h dz + \int_0^H E_{32} \psi_k' \psi_h dz - \int_0^H \frac{\partial E_{23}}{\partial z} \psi_k \psi_h' dz - \int_0^H E_{23} \psi_k' \psi_h' dz \right] \cdot \Delta W_k' + \\
 & + \sum_{k=1}^n \left[\int_0^H \frac{\partial E_{32}}{\partial x} \psi_k' \psi_h dz - \int_0^H \frac{\partial E_{22}}{\partial z} \psi_k' \psi_h' dz - \int_0^H E_{22} \psi_k'' \psi_h' dz \right] \cdot \Delta W_k = 0
 \end{aligned}$$

где $h = 2, \dots, n$. Здесь E_{ij} элементы матрицы физико-механических параметров (переменных жёсткостей), ψ_1 система выбираемых из условий деформирования координатных функций, W_i вертикальные перемещения на линии контакта слоёв.

При этом в зависимости от условий задачи на краях плиты должны быть заданы различные граничные условия на W_i .

Библиографический список

1. Селиванов, Ф.С. Применение теории наведенной неоднородности для расчёта деформаций слоистой среды на основе вариационного метода В.З. Власова: автореф. дис.канд.техн. наук / Ф.С. Селиванов. – Саратов: СШТУ, 2004. – 16 с.

РАСЧЕТ СТУПЕНЧАТО-НЕОДНОРОДНОЙ ОБОЛОЧКИ, ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩЕЙ С ДВУХСЛОЙНЫМ ОСНОВАНИЕМ

Селиванов Ф.С., Синева Н.Ф., Ошменский А.С.
СГТУ, г. Саратов, Россия

Рассмотрим расчёт деформаций цилиндрической оболочки, взаимодействующей со слоистой средой основания. Поставим модельную задачу – шарнирно опёртая цилиндрическая оболочка (рис. 1) изотропная по координате θ (в цилиндрической системе координат), нагруженная равномерно-распределённой силой интенсивности $p = 300 \text{ кН/м}$ (с шагом 10 кН/м). Длина оболочки $L = 6 \text{ м}$, толщина стенки $H_0 = 0,5 \text{ м}$, радиус оболочки $R = 4 \text{ м}$.

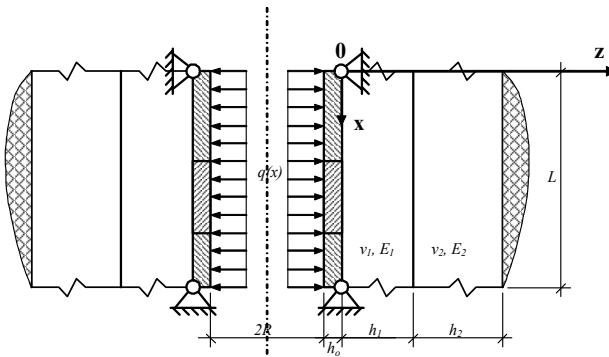


Рис. 1

Модуль деформации материала оболочки $E_0 = 18000 \text{ МПа}$. Коэффициент Пуассона материала оболочки $\nu_0 = 0,35$, основания $\nu = 0,35$. Толщина 1-го слоя основания $h_1 = 1 \text{ м}$, 2-го слоя основания $h_2 = 3 \text{ м}$. Модуль деформации 1-го слоя основания $E_1 = 9845 \text{ кПа}$, 2-го слоя – $E_2 = 9845 \text{ кПа}$. Оболочка неоднородная по координате x . Неоднородность оболочки связана с разрывом в модуле упругости, так как оболочка изготовлена из разномодульного материала.

Для описания разрыва мы будем использовать единичную функцию Хевисайда $\Omega_0(x - x_0)$. Разрывный модуль упругости оболочки $E_{Ob}(x)$ может быть записан с использованием функции Хевисайда:

$$\begin{aligned} E_{Ob}(x) &= E_{Ob1} \cdot (1 - \Omega_0(x - x_1)) + E_{Ob2} \cdot \Omega_0(x - x_1) = \\ &= E_{Ob1} - E_{Ob1} \cdot \Omega_0(x - x_1) + E_{Ob2} \cdot \Omega_0(x - x_1) = \\ &= E_{Ob1} \cdot (1 - (1 - E_{Ob2} / E_{Ob1}) \cdot \Omega_0(x - x_1)), \end{aligned}$$

где x_1 – точка разрыва модуля упругости оболочки $E_{Ob}(x)$, в которой происходит его изменение с E_{Ob1} на E_{Ob2} .

Графики перемещений срединной поверхности оболочки и поверхности, угол поворота и изгибающий момент приведены на рис. 2.

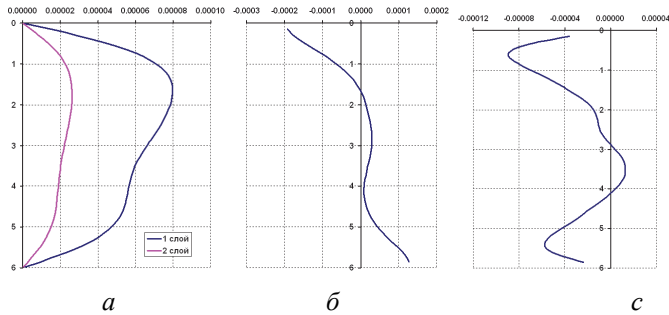


Рис. 2: *a* – перемещения, *b* – угол поворота, *в* – приведённый изгибающий момент

Библиографический список

1. Петров, В.В. Теория наведенной неоднородности и её приложения к проблеме устойчивости пластин и оболочек / В.В. Петров, В.К. Иноземцев, Н.Ф. Синева. – Саратов: СГТУ, 1996. – 312 с.
2. Петров, В.В. Теория наведенной неоднородности и её приложения к проблеме конструкций на неоднородном основании / В.В. Петров, В.К. Иноземцев, Н.Ф. Синева. – Саратов: СГТУ, 2002. – 260 с.

РАСЧЕТ СТУПЕНЧАТО-НЕОДНОРОДНОЙ ОБОЛОЧКИ, ЗАГЛУБЛЕННОЙ В ОСНОВАНИЕ, ПРИ ЕГО УВЛАЖНЕНИИ

Селиванов Ф.С., Синева Н.Ф., Кузнецова А.В.
СГТУ, г. Саратов, Россия

Рассмотрим расчёт деформаций цилиндрической оболочки, взаимодействующей со слоистой средой основания с учётом увлажнения второго слоя.

Модельная задача: шарнирно опёртая цилиндрическая оболочка (рис. 1) изотропная по координате θ (в цилиндрической системе координат), нагруженная равномерно-распределённой силой интенсивности $p = 300 \text{ кН/м}$ (с шагом 10 кН/м). Длина оболочки $L = 6 \text{ м}$, толщина стенки $H_0 = 0,5 \text{ м}$, радиус оболочки $R = 4 \text{ м}$. Модуль деформации материала оболочки $E_0 = 18000 \text{ МПа}$. Коэффициент Пуассона материала оболочки $\nu_0 = 0,35$, основания $\nu = 0,35$. Толщина 1-го слоя основания $h_1 = 1 \text{ м}$, 2-го слоя основания $h_2 = 3 \text{ м}$. Модуль деформации 1-го слоя основания $E_1 = 9845 \text{ кПа}$, 2-го слоя – $E_2 = 9845 \text{ кПа}$.

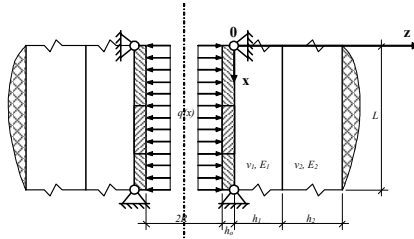


Рис. 1

При этом зависимость модуля деформации 2 слоя от влажности:

$$E_2(C) = E_2 \cdot \frac{C}{b \cdot C - d}$$

где $b = 20,500817$ и $d = 502,95232$. Параметр влажности C изменяется от начального значения влажности $C_0 = 25,8$ до полного водонасыщения $C_B = 32,8$.

Оболочка неоднородная по координате x . Неоднородность оболочки связана с разрывом в модуле упругости, так как оболочка изготовлена из разномодульного материала. Для описания разрыва мы будем использовать единичную функцию Хевисайда. Разрывный модуль упругости оболочки $E_{Ob}(x)$ может быть записан с использованием функции Хевисайда:

$$E_{Ob}(x) = E_{Ob1} \cdot (1 - \Omega_0(x - x_1)) + E_{Ob2} \cdot \Omega_0(x - x_1) = E_{Ob1} - E_{Ob1} \cdot \Omega_0(x - x_1) + E_{Ob2} \cdot \Omega_0(x - x_1) = E_{Ob1} \cdot (1 - (1 - E_{Ob2} / E_{Ob1}) \cdot \Omega_0(x - x_1))$$

где x_1 – точка разрыва модуля упругости оболочки $E_{Ob}(x)$, в которой происходит его изменение с E_{Ob1} на E_{Ob2} .

Графики перемещений серединной поверхности оболочки и поверхности, угол поворота и изгибающий момент приведены на рис.2.

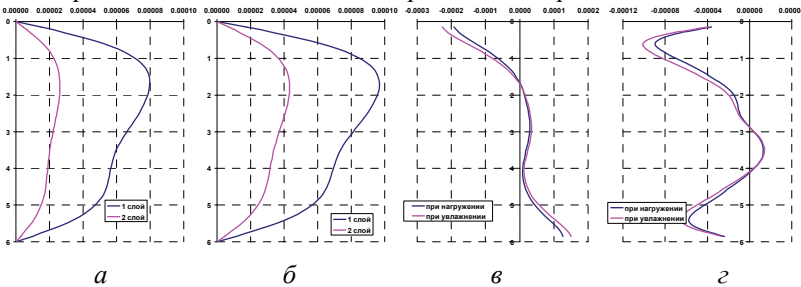


Рис. 2: а – перемещения при нагружении, б – перемещения при дальнейшем увлажнении, в – угол поворота, г – приведённый изгибающий момент

На рис.3 приведён график изменения точки $x = L/2$ при нагружении и последующем увлажнении второго слоя

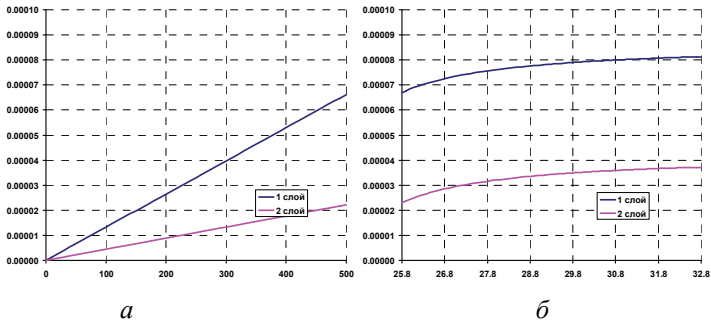


Рис. 3. Изменения точки $x = L/2$: а – при нагружении, б – при дальнейшем увлажнении

РАСЧЕТ СТУПЕНЧАТО-НЕОДНОРОДНОЙ ОБОЛОЧКИ НА НЕЛИНЕЙНО-ДЕФОРМИРУЕМОМ ОСНОВАНИИ

Селиванов Ф.С., Чубаров Д.Е.
СГТУ, г. Саратов, Россия

Рассмотрим расчёт деформаций цилиндрической оболочки, взаимодействующей со слоистой средней основой с учётом увлажнения второго слоя. Модельная задача: шарнирно опёртая цилиндрическая оболочка (рис. 1) изотропная по координате θ (в цилиндрической системе координат), нагруженная равномерно-распределённой силой интенсивности $p = 300 \text{ кН/м}$ (с шагом 10 кН/м). Длина оболочки $L = 6 \text{ м}$, толщина стенки $H_0 = 0,5 \text{ м}$, радиус оболочки $R = 4 \text{ м}$.

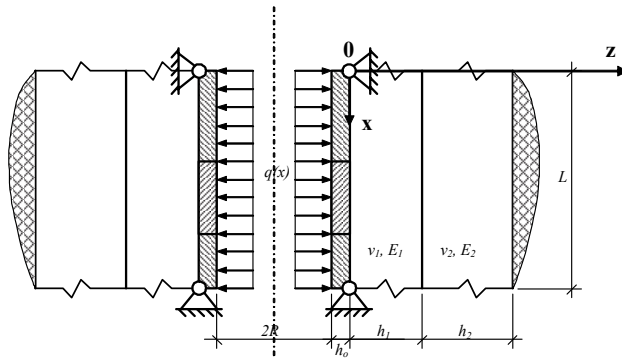


Рис. 1

Модуль деформации материала оболочки $E_0=18000\text{МПа}$. Коэффициент Пуассона материала оболочки $\nu_0=0,35$, основания $\nu=0,35$. Толщина 1-го слоя основания $h_1=1\text{м}$, 2-го слоя основания $h_2=3\text{м}$. Модуль деформации 1-го слоя основания $E_1=9845\text{кПа}$, 2-го слоя – $E_2=9845\text{кПа}$. При этом зависимость модуля деформации 2 слоя от влажности:

$$E_2(C)=E_2 \cdot \frac{C}{b \cdot C - d}$$

где $b = 20,500817$ и $d = 502,95232$. Параметр влажности C изменяется от начального значения влажности $C_0 = 25,8$ до полного водонасыщения $C_B = 32,8$.

Оболочка неоднородная по координате x . Неоднородность оболочки связана с разрывом в модуле упругости, так как оболочка изготовлена из разномодульного материала. Для описания разрыва мы будем использовать единичную функцию Хевисайда. Разрывный модуль упругости оболочки $E_{Ob}(x)$ может быть записан с использованием функции Хевисайда:

$$E_{Ob}(x) = E_{Ob1} \cdot (1 - \Omega_0(x - x_1)) + E_{Ob2} \cdot \Omega_0(x - x_1) = E_{Ob1} - E_{Ob1} \cdot \Omega_0(x - x_1) + E_{Ob2} \cdot \Omega_0(x - x_1) = E_{Ob1} \cdot (1 - (1 - E_{Ob2} / E_{Ob1}) \cdot \Omega_0(x - x_1))$$

где x_1 – точка разрыва модуля упругости оболочки $E_{Ob}(x)$, в которой происходит его изменение с E_{Ob1} на E_{Ob2} .

Графики перемещений срединной поверхности оболочки и поверхности, угол поворота и изгибающий момент приведены на рис.2.

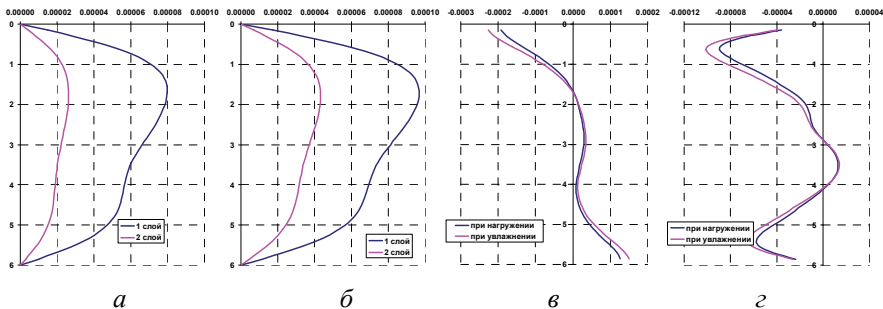


Рис. 2. Перемещения: а - при нагружении, б – при дальнейшем увлажнении, в – угловые; з - приведенный изгибающий момент

На рис.3 приведен график изменения точки $x=L/2$ при нагружении и последующем увлажнении второго слоя

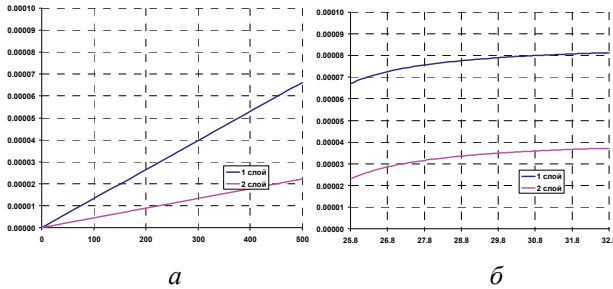


Рис. 3. Изменения точки $x = L/2$: *а* – при нагружении, *б* - при дальнейшем увлажнении

РАСЧЁТ РЕГУЛЯРНОЙ СИСТЕМЫ НЕЛИНЕЙНО-УПРУГИХ ПЕРЕКРЁСТНЫХ БАЛОК ВАРИАЦИОННЫМИ ИНТЕРАЦИЯМИ В СОЧЕТАНИИ С МЕТОДОМ ДВОЙНОЙ АППРОКСИМАЦИИ

Семёнов П.К., Поляков Ю.А.
СГТУ, г. Саратов, Россия

Рассматриваются вопросы применения обобщённого варианта вариационного метода Власова-Канторовича (метода двойной аппроксимации) в сочетании с процедурой вариационных итераций к расчёту регулярной системы перекрёстных балок (РСПБ) из нелинейно-упругого материала, нагруженной поперечной узловыми нагрузками.

Физическая нелинейность свойств материала РСПБ учитывается путём аппроксимации реальной диаграммы деформирования полигональной зависимостью третьей степени, что позволяет построить разрешающие соотношения с переменными коэффициентами в замкнутой форме.

Исходные нелинейные соотношения линеаризуются в соответствии с методом последовательных возмущений параметров, что приводит разрешающие соотношения к инкрементальной форме. В соответствии с положениями используемого вариационного метода искомая функция узловых прогибов представляется в виде суммы произведений функций с отдельными переменными.

Аппроксимирующие функции задаются в двух координатных направлениях, искомые функции определяются из решения соответствующих конечно-разностных уравнений. Наличие двух искомого функций даёт возможность удовлетворения статических граничных условий по всему контуру РСПБ с обязательным закреплением узловых точек.

Процедура вариационных итераций предполагает взаимную замену аппроксимирующих функций на искомые, что приводит к итерационному уточнению искомой функции узловых прогибов в смысле её удовлетворения физическому содержанию решаемой задачи.

Данная методика была реализована в расчёте квадратных (по 11 балок в каждом направлении) и прямоугольных (11x12) РСПБ с шарнирным и жёстким закреплением контурных узлов и при свободном контуре с шарнирным закреплением угловых узлов. Отмечена быстрая сходимость процесса вариационных итераций. При расчёте прямоугольной РСПБ при статических граничных условиях максимальный прогиб испытывают средние контурные узлы длинных сторон.

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ НЕЛИНЕЙНО-УПРУГИХ ПЛАСТИН, ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ С ТЕМПЕРАТУРНЫМ ПОЛЕМ

Семенов П.К., Федотов А.В.
СГТУ, г. Саратов, Россия.

Рассматриваются вопросы построения разрешающих уравнений для прямоугольных нелинейно-упругих пластин, взаимодействующих с температурным полем. Учёт зависимости свойств нелинейно-упругого материала от температуры и времени осуществляется в компонентных соотношениях, которые принимаются в форме деформационной теории пластичности:

$$\sigma_x = \frac{4\sigma_i}{4\varepsilon_i} \left(\varepsilon_x + \frac{1}{2}\varepsilon_y - \frac{3}{2}\alpha T \right); \sigma_y = \frac{4\sigma_i}{4\varepsilon_i} \left(\varepsilon_y + \frac{1}{2}\varepsilon_x - \frac{3}{2}\alpha T \right); \tau_{xy} = \frac{\sigma_i}{3\varepsilon_i} \gamma_{xy} \quad (1)$$

Здесь σ_i, ε_i – интенсивности напряжений и деформаций соответственно; α – коэффициент температурного расширения материала; T – температура. Функциональная зависимость $\sigma_i = \sigma_i(\varepsilon_i, T, \tau)$ принимается в виде:

$$\sigma_i = E(T, \tau)\varepsilon_i - m(T, \tau)\varepsilon_i^3, \quad (2)$$

где τ – время.

Функции $E(T, \tau)$ и $m(T, \tau)$ могут быть построены по результатам численной обработки нелинейных диаграмм деформирования и кривых ползучести при различных температурах и напряжениях, приведённых в справочной литературе для широкого класса конструкционных материалов [1]. Предлагаемая методика численной обработки экспериментальных данных основана на последовательном применении метода наименьших квадратов сначала для мгновенных диаграмм деформирования ($\tau = 0$) при различных температурах и, далее, для кривых ползучести при различных напряжениях и температурах. Показывается [4], что в определённых справочными данными интервалах рабочих температур (до 500°C) и времён (до 100 ч) адекватно могут быть использованы полиномиальные зависимости

$$E(T, \tau) = E_0(\tau) + E_1(\tau)T + E_2(\tau)T^2; m(T, \tau) = m_0(\tau) + m_1(\tau)T + m_2(\tau)T^2. \quad (3)$$

Графики зависимости E и m от температуры в различные моменты времени показывают, что с течением времени функции $E(T)$ и $m(T)$ становятся практически линейными.

По результатам численной обработки экспериментальных данных зависимости $E_0(\tau), E_1(\tau), m_0(\tau), m_1(\tau)$ принимаются в виде квадратичных полиномов. Таким образом, зависимость (2) принимает законченный аналитический вид, позволяющий получить последующие разрешающие соотношения в замкнутой форме. Отмечается [5], что пригодность (2) помимо диапазонов T и τ определяется также положением его аналитического экстремума по ε_i что реально соответствует значениям $\varepsilon_i \leq 0.5\%$. В соотношениях (1) необходимо также учитывать зависимость α от T . Учитывая многочисленные справочные данные, принимается линейная зависимость

$$\alpha(T) = \alpha_0 + \alpha_1(T) \quad (4)$$

Построенные соотношения могут быть эффективно использованы для получения разрешающих уравнений математических моделей (расчётных схем) тонкостенных конструкций, находящихся в условиях термосилового нагружения в течение рассмотренного временного диапазона. Например, для тонких пластинок температура в любой точке объёма может быть определена соотношением $T(x, y, z) = T_0(x, y) + z\theta(x, y)$. Здесь T_0 - температура срединной плоскости; θ - температурный градиент.

Для получения полной системы уравнений нелинейного термоупругого равновесия уравнениям (1) добавляются геометрические и статические уравнения. Полученная система вместе с граничными условиями порождает нелинейный оператор, линеаризация которого осуществляется построением дифференциала Фреше, в соответствии с известными положениями метода последовательных возмущений параметров [3].

Результирующее разрешающее дифференциальное уравнение в частных производных связывает приращения функций прогиба срединной плоской пластинки Δw интенсивности поперечной нагрузки Δq , температуры срединной поверхности ΔT_0 , температурного градиента $\Delta \theta$ и времени $\Delta \tau$. С использованием обозначений операторной символики оно записывается в виде

$$\nabla_A^4 [\Delta w(x, y, z)] = \Delta q + \nabla_T^2 \Delta T_0 + \nabla^2 \Delta \theta + \nabla_\tau^2 \Delta \tau. \quad (5)$$

Наличие в правой части (5) приращений четырёх ведущих параметров позволяет путём численного эксперимента исследовать различные программы

нагружения, нагревания и разрушения рассматриваемой тонкостенной конструкции.

Приводятся результаты расчёта НДС прямоугольных пластинок.

Библиографический список

1. Атлас диаграмм растяжения при высоких температурах, кривых ползучести и длительной прочности сталей и сплавов. – М.: Оборонгиз, 1957. –173 с.
2. Власов, Б.Ф. Двусторонние оценки по энергии в задачах теории тонких упругих плит / Б.Ф. Власов //Тр. УДН им П. Лумумбы 1970. – Т48. – Вып. 6. – С. 9-81.
3. Петров, В.В. Метод последовательных нагружений в нелинейной теории пластин и оболочек / В.В. Петров. – Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1975. –116 с.
4. Семенов, П.К. К вопросу использования метода последовательных возмущений параметров к расчёту нелинейно-упругих пластин в условиях высокотемпературной ползучести / П.К. Семёнов// Проблемы прочности элементов конструкций под действием нагрузки и рабочих сред: Межвуз. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2001. – С.74

О РЕШЕНИИ ИНТЕГРО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ЗАДАЧ РАСЧЕТА НЕЛИНЕЙНО-УПРУГИХ ПЛИТ МЕТОДОМ ВАРИАЦИОННЫХ ИТЕРАЦИЙ В СОЧЕТАНИИ С МЕТОДОМ ДВОЙНОЙ АППРОКСИМАЦИИ

Семенов П.К., Шаклина А.Д.
СГТУ, г. Саратов, Россия

Рассматриваются особенности численности реализации задач нелинейной механики прямоугольных пластин на основе использования метода вариационных итераций (МВИ) в сочетании с методом двойной аппроксимации (МДА) в условиях многопараметрического термосилового нагружения. МВИ и МДА являются модификациями классического варианта метода Власова-Канторовича (МВК), свободными от ряда существенных ограничений МВК.

Сущность процедуры вариационных итераций заключается в следующем: искомые функции, определённые на предыдущей итерации, принимаются за аппроксимирующие функции на последующей итерации. Для решения вариационных уравнений МДА применительно к расчёту нелинейно-упругих пластин предлагается использование шаговой процедуры продолжения по линейному параметру от решения задачи МВК до решения МДА.

Анализ результатов численных расчётов показывает, что сходимость метода вариационных итераций в сочетании с МДА зависит от числа шагов по параметру продолжения. Результаты, полученные при решении нелинейных

задач расчёта тонкостенных пространственных конструкций по методу вариационных итераций в сочетании с методом двойной аппроксимации, показывает следующее: при переходе к последующему этапу возмущения ведущего параметра задачи, в смысле реализации метода последовательных возмущений параметров, в качестве аппроксимирующих целесообразно брать функции, полученные на последней итерации предыдущего этапа.

Аппроксимирующие функции априорно задаются лишь для первого этапа возмущения ведущего параметра. Аналогичный вывод имеет место в случае принятия для решения нелинейно-упругой задачи сочетания МВИ и метода Власова-Канторовича.

Кроме того, очевидно, и это подтверждают расчёты, что при использовании данного подхода гарантируется соответствие аппроксимирующих функций физическому содержанию задачи (граничным условиям, ведущему параметру, определяющему внешнее воздействие), что положительно влияет на сходимость процесса вариационных итераций.

Выявлено, что сходимость вариационных итераций в сочетании с МДА не зависит от соотношения сторон пластинки в плане. Численная реализация задач многопараметрического нагружения выявляет ещё одну особенность использования сочетания МВИ и МДА (МВК): при смене ведущего параметра целесообразно задавать новые аппроксимирующие функции из условий удовлетворения новому физическому содержанию задачи.

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ УРАВНЕНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НЕЛИНЕЙНО-УПРУГИХ ПЛИТ С НЕЛИНЕЙНЫМ НЕОДНОРОДНЫМ ОСНОВАНИЕМ

Семёнов П.К., Шаклина А.Д.
СГТУ, г. Саратов, Россия

Вопросы расчёта элементов конструкций, в частности плит прямоугольного очертания, лежащих на нелинейном деформируемом основании с переменными, в зависимости от пространственных координат, характеристиками весьма актуальны. Осадку основания, представляем в виде:

$$w(x, y, z) = W(x, y)\psi(z).$$

Применяем для выделенного из основания элементарного столбика высотой H принцип возможных перемещений, учитывающий виртуальную работу внешней нагрузки и напряжений, возникающих на его боковых гранях.

Соответствующее уравнение в приращениях метода последовательных возмущений параметров будет иметь вид:

$$a(W, B)\nabla^2\Delta W - c(W, B)\Delta W + \Delta q + \left[\frac{\partial a(W, B)}{\partial B}\nabla^2 W - \frac{\partial c(W, B)}{\partial B}W \right]\Delta B = 0.$$

Здесь $B(x, y, z)$ – функция распределения влажности в массиве основания.

Будем считать прогибы плиты малыми по сравнению с её толщиной, а материал плиты несжимаемым и нелинейно-упругим.

Совокупность компонентных геометрических и статических уравнений порождает вместе с граничными условиями нелинейное операторное уравнение. Для его линеаризации используем метод последовательных нагружений, который сводится к построению дифференциала Фреше.

После очевидных преобразований легко получить линеаризованное дифференциальное уравнение в частных производных относительно приращения функции прогиба срединной плоскости плиты $\Delta W(x, y)$:

$$\begin{aligned} \nabla_A^4 \Delta W(x, y) = & \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left[A_1 \left(\frac{\partial^2 \Delta W}{\partial x^2} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \Delta W}{\partial y^2} \right) \right] + 2 \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} A_3 \frac{\partial^2 \Delta W}{\partial x \partial y} + \\ & + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \left[A_2 \left(\frac{\partial^2 \Delta W}{\partial y^2} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \Delta W}{\partial x^2} \right) \right] = \Delta q(x, y) \end{aligned}$$

Закон деформирования принимаем в виде:

$$\sigma_i(\varepsilon_i) = E \varepsilon_i - m \varepsilon_i^3.$$

Уравнение прогиба нелинейно-упругой плиты на нелинейном неоднородном основании имеет вид:

$$\nabla_A^4 \Delta W = \Delta p - \Delta q,$$

или

$$\nabla_A^4 \Delta W(x, y) - a(x, y) \nabla^2 \Delta W + c(x, y) \Delta W = \Delta p(x, y) + \left[\frac{\partial a}{\partial B} \nabla^2 W - \frac{\partial c}{\partial B} W \right] \Delta B = 0.$$

Это уравнение может быть использовано для различных программ нагружения (возмущения ведущих параметров).

ВЛИЯНИЕ ВОДОРОДОСОДЕРЖАЩЕЙ СРЕДЫ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ КРУГЛЫХ ПЛАСТИН ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Сергеева С.Б., Трещев А.А.
ТулГУ, г. Тула, Россия

Ильин И.В.
ООО ИТЦ «ДИАТЭК», г. Железногорск, Россия

Элементы конструкций, выполненные из титановых сплавов, нередко эксплуатируются в условиях совместного воздействия водородосодержащей среды и температурного поля (до 200°C).

Хотя механические свойства титана при комнатной температуре довольно высоки, повышение температуры приводит к резкому падению прочностных

характеристик. Предел прочности титана снижается примерно вдвое при повышении температуры от 20°C до 250°C.

Пластические характеристики титана обнаруживают своеобразную зависимость от температуры. Относительное удлинение титана при повышении температуры от комнатной до 200°C возрастает в 1,5 – 2 раза, но при дальнейшем повышении температуры начинает падать.

Рассматривалась задача изгиба круглой пластины при совместном воздействии равномерно распределённой нагрузки, температурного поля и водородосодержащей среды.

Получена система дифференциальных уравнений осесимметричного изгиба круглых пластин, выполненных из титановых сплавов, деформирующихся в условиях агрессивных сред.

В результате исследования обнаружено, что в течение некоторого периода, соответствующего большим градиентам концентраций водорода и температурного поля, наблюдается интенсивное изменение характера напряжённо-деформированного состояния, достигающее для напряжений 10% в сжатых и 55% в растянутых зонах. Продолжительность периода интенсивного изменения составляет 10% от времени наступления предельного насыщения.

Пластина, имеющая жёсткое защемление по контуру, более чувствительна к воздействию среды, чем пластина с шарнирным закреплением.

Конструкции, выполненные из титанового сплава TC5, оказались менее чувствительными к воздействию агрессивных сред, чем элементы из титанового сплава BT1-0. Увеличение концентрации сред приводит к снижению сопротивления деформирования титановых сплавов.

ОЦЕНКА ДЕФОРМИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ, ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩЕЙ С ОСНОВАНИЕМ С ЛОКАЛЬНОЙ НЕОДНОРОДНОСТЬЮ

Синева Н.Ф., Селиванов Ф.С., Ирхина А.В.
СГТУ, г. Саратов, Россия

Известно, что застроенные территории подвергаются подтоплению в результате подъёма грунтовых вод. При увлажнении оснований сооружений снижаются их прочностные характеристики. Одной из возможных мер по продлению срока эксплуатации сооружений является введение локальных закреплений оснований по прерывистой (столбчатой) схеме. После этого конструкция начинает работать по новой расчётной схеме и требуется моделировать её деформирование.

Опишем расчётную модель такой системы.

Рассмотрим упругую длинную в одном направлении плиту, опирающуюся на двухслойное основание (плоская задача). Допустим, что верхний присадочный слой основания подвергается столбчатому усилению под средней частью балки на некоторых участках её длины. Второй слой основания опирается на

твёрдый (мало деформируемый) нижний слой. Примем следующее условие работы этих зон: зоны закреплённого грунта при увлажнении верхнего слоя не меняют своих характеристик, вне этих зон деформативность верхнего слоя повышается.

Изменение модуля деформаций обусловлено не только увеличением влажности, но и наличием дискретных (по длине плиты) зон укреплённого грунта основания. Для учёта переменности модуля воспользуемся фильтрующими свойствами функции Хевисайда $\Omega(x - x_0)$.

Обозначим E_1^* – модуль деформаций грунта верхнего слоя основания в его естественном состоянии, E_1^{**} – модуль деформаций закреплённого грунта верхнего слоя основания. Зависимость модуля деформаций незакреплённой зоны грунта основания от влажности C : $E_C^*(C) = E_1^* \Phi(C)$, где $\Phi(C) = C / (bC - d)$ – деградационная функция, b, d коэффициенты. Тогда для модуля деформации:

$$E_1(x) = E_1^{**} \left\{ 1 - \left(1 - \frac{E_1^*}{E_1^{**}} \right) \Omega(x - x_0) \right\}$$

С учётом коэффициента закрепления грунта основания и дискретного распределения нескольких зон j закрепления грунта по длине слоя под плитой

$$E_1(x) = E_1^{**} \left\{ 1 - \sum_i^j (1 - \xi \Phi(C)) \Omega(x - x_i) \right\}$$

Дифференциальные уравнения краевой задачи изгиба плит на неоднородном упругом двухслойном основании модели В.З. Власова

$$\begin{aligned} & EJ \cdot \Delta W_1^{IV} - \frac{E_1}{3 \cdot (1 + \nu_1)} \cdot \Delta W_1'' - \frac{E_1}{6 \cdot (1 + \nu_1)} \cdot \Delta W_2'' - \\ & - \frac{dE_1}{dx} \cdot \frac{1}{3 \cdot (1 + \nu_1)} \cdot \Delta W_1' - \frac{dE_1}{dx} \cdot \frac{1}{6 \cdot (1 + \nu_1)} \cdot \Delta W_2' + \\ & + \frac{E_1}{1 - \nu_1^2} \cdot \frac{2}{h_1^2} \cdot \Delta W_1 - \frac{E_1}{1 - \nu_1^2} \cdot \frac{2}{h_1^2} \cdot \Delta W_2 = \Delta p; \\ & \frac{E_1}{2 \cdot (1 + \nu_1)} \cdot \frac{h_1}{6} \cdot \Delta W_1'' + \left(\frac{E_1}{2 \cdot (1 + \nu_1)} \cdot \frac{h_1}{3} + \frac{E_2}{2 \cdot (1 + \nu_2)} \cdot \frac{h_2}{3} \right) \cdot \Delta W_2'' + \\ & + \frac{dE_1}{dx} \cdot \frac{1}{2 \cdot (1 + \nu_1)} \cdot \frac{h_1}{6} \cdot \Delta W_1' + \frac{dE_1}{dx} \cdot \frac{1}{2 \cdot (1 + \nu_1)} \cdot \frac{h_1}{3} \cdot \Delta W_2' + \\ & + \frac{E_1}{1 - \nu_1^2} \cdot \frac{1}{h_1} \cdot \Delta W_1 - \left(\frac{E_1}{1 - \nu_1^2} \cdot \frac{1}{h_1} + \frac{E_2}{1 - \nu_2^2} \cdot \frac{1}{h_2} \right) \cdot \Delta W_2 = 0 \end{aligned}$$

Здесь W_1, W_2 вертикальные перемещения по поверхностям контакта слоёв, h_1, h_2 – толщины слоя, Δp – приращение нагрузки, ν_1, ν_2 – коэффициент Пуассона. E, J модуль упругости и момент инерции плиты

Незакреплённые зоны верхнего слоя изменяют свою деформативность за счёт изменения влажности C .

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НДС ПОЛОГОЙ СФЕРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ ИЗ ОРТОТРОПНОГО РАЗНОСОПРОТИВЛЯЮЩЕГОСЯ МАТЕРИАЛА

Спаская М.В., Трещев А.А.

ТулГУ, г. Тула, Россия

Рассматривается задача о нагружении круговой цилиндрической оболочки равномерно распределённой нагрузкой, приложенной перпендикулярно к внутренней поверхности оболочки, также оболочка воспринимает температурное воздействие. В качестве граничных условий принято жёсткое защемление по одному торцу оболочки, т.е. прогибы и углы поворота равны нулю, в качестве начальных условий принята температура оболочки 0°C .

Основные этапы решения задачи:

1) получение разрешающих дифференциальных уравнений, описывающих напряжённо-деформированное состояние круговой цилиндрической ортотропной разнородной оболочки, в рамках теории Трещёва А.А. [1, 2];

2) следуя методике последовательных нагружений, линейаризация полученных разрешающих дифференциальных уравнений;

3) получение системы линейаризованных алгебраических уравнений с помощью метода конечных разностей;

4) разработка прикладной программы на ПК для решения задачи по определению напряжённо-деформированного состояния круговой цилиндрической ортотропной оболочки, выполненной из разнородного материала;

5) решение задачи по определению НДС круговой цилиндрической ортотропной разнородной оболочки в условиях термоупругого нагружения, при использовании разработанной математической модели и прикладной программы расчёта;

6) сравнение результатов решения задачи с учётом и без учёта температурного воздействия.

Исходные данные для расчёта: материал оболочки графит АТJ–S, толщина оболочки $h = 0,03$ м, радиус срединной поверхности оболочки $R = 0,3$ м, длина $L = 1,5$ м; нагрузка на оболочку равномерно распределённая $q = 600$ кПа; на внутренней поверхности оболочки температура поддерживается постоянной 10°C ; на внешней поверхности оболочки температура также поддерживается постоянной 40°C ; в начальный момент времени оболочка имеет температуру 0°C .

Расхождение в значениях максимальных прогибов с учётом и без учёта температурного воздействия составляет 18,4%. Для осевых напряжений во внутренней поверхности оболочки значения, полученные без учёта температуры, в заделке превышают результаты с учётом температурного воздействия на 4,9%, кроме того, на расстоянии $0,3L \dots L$ данные с учётом температуры ниже на 64,8%. Однако, для осевых напряжений во внешней поверхности оболочки значения, полученные без учёта температуры, в заделке меньше результатов с учётом температурного воздействия на 16,5%, кроме того, на расстоянии $0,3L \dots L$ температурное воздействие вообще меняет знак напряжений. Для максимальных окружных напряжений во внутренней поверхности оболочки значения с учётом температуры меньше на 6,3%, чем без её учёта, во внешней – 24,5%. Благодаря температурному воздействию на свободном конце оболочки появляются моменты, которые отсутствовали в механической части задачи. С повышением температурного перепада растут прогибы, а также увеличиваются значения напряжений. При повышении перепада температур на 10 °С прогибы увеличиваются на 4...6%, а напряжения на 3,5...4,5%.

Проанализировав результаты, можно сделать вывод, что учёт температурного воздействия при расчёте цилиндрических оболочек значительно влияет на параметры напряжённо-деформированного состояния.

Библиографический список

1. Трещёв, А.А. Анизотропные пластины и оболочки из разнородных материалов / А.А. Трещёв. – М., Тула: РААСН, ТулГУ, 2007. – 160 с.
2. Трещёв, А.А. Теория деформирования и прочности материалов, чувствительных к виду напряженного состояния. Определяющие соотношения: монография / А.А. Трещёв. – М., Тула: РААСН, ТулГУ, 2008. – 264 с.

ВЛИЯНИЕ РАЗНОСОПРОТИВЛЯЕМОСТИ МАТЕРИАЛА И ТЕМПЕРАТУРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НДС КРУГОВОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОРТОТРОПНОЙ ОБОЛОЧКИ

Спасская М.В., Трещёв А.А.
ТулГУ, г. Тула, Россия

Рассматривается задача о нагружении круговой цилиндрической оболочки (материал – трехосесимметричный тканый полимер П32- 57, толщина оболочки $h = 0,05$ м, радиус срединной поверхности $R=0,5$ м, длина $L = 3,0$ м) равномерно распределённой нагрузкой, приложенной перпендикулярно к внутренней поверхности оболочки ($q = 8$ МПа), также оболочка воспринимает температурное воздействие (на внутренней поверхности оболочки $t = 0^\circ\text{C}$, на внешней – $t=+30^\circ\text{C}$). В качестве граничных условий принято жёсткое защемление по одному торцу оболочки, т.е. прогибы и углы поворота равны нулю, в качестве начальных условий принята температура оболочки 0°C .

Были получены разрешающие дифференциальные уравнения в рамках теории Трещева А.А. [1], описывающие НДС анализируемой оболочки. Следуя методике последовательных нагружений, были линеаризованы полученные разрешающие дифференциальные уравнения. С помощью метода конечных разностей получена система линеаризованных алгебраических уравнений. В программном комплексе MATLAB разработана прикладная программа для решения поставленной задачи. Используя разработанную математическую модель и прикладную программу расчёта, решена задача по определению НДС круговой цилиндрической оболочки.

Сравнение результатов расчёта в рамках теории Трещева А.А. [1] проводилось с результатами расчёта, полученными по классической теории анизотропных материалов, на основе программного комплекса ANSYS. Также выполнено сравнение результатов решения задачи с учётом и без учёта температурного воздействия.

Значения осевых напряжений, полученные без учёта разнородности, в заделке превышают результаты по модели с учётом разнородности на 13,2%, однако, для максимальных растягивающих осевых напряжений значение с учётом разнородности превосходит на 36,8%. Для окружных напряжений в заделке значения с учётом разнородности меньше на 24%, чем без её учёта. Однако, для максимальных значений растягивающих окружных напряжений данные с учётом разнородности превосходят результаты без её учёта на 13,5%. Расхождение в значениях максимальных прогибов составляет 9,6%.

Расхождение в значениях максимальных прогибов с учётом и без учёта температуры составляет 21,4%. Для осевых напряжений во внешней поверхности оболочки значения, полученные без учёта температуры, в заделке меньше результатов с её учётом на 19,5%. Однако, для максимальных растягивающих осевых напряжений значение без учёта температурного воздействия превосходит результат с его учётом на 42,1%. Кроме того, на расстоянии $0,125L-L$ температурное воздействие вообще меняет знак напряжений. Для максимальных окружных напряжений во внешней поверхности оболочки значения с учётом температуры меньше на 23,8%, чем без её учёта.

Таким образом, можно сделать вывод, что учёт температурного воздействия, а также разнородности материала при расчёте цилиндрических оболочек значительно влияет на параметры НДС.

Библиографический список

1. Трещёв А.А. Теория деформирования и прочности материалов, чувствительных к виду напряжённого состояния. Определяющие соотношения: монография. – М.; Тула: РААСН; ТулГУ, 2008. – 264 с.

ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ В УСЛОВИЯХ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ ЗАСТРОЙКИ

Сурнин А.А., Сурнина Е.К., Сабаев Р.М.
СГТУ, г. Саратов, Россия

Основным нормативным документом, регламентирующим возможность строительства новых зданий и сооружений в условиях городской застройки является ВСН 490-87 «Проектирование и устройство свайных фундаментов и шпунтовых ограждений в условиях реконструкции промышленных предприятий и городской застройки». Этот документ устанавливает требования к проектированию и устройству свайных фундаментов и шпунтовых ограждений из погружаемых в грунт элементов (свай и шпунта) вблизи существующих зданий, сооружений и подземных коммуникаций в условиях реконструкции промышленных предприятий и городской застройки. Определяющим фактором возможности нового строительства является величина динамического воздействия при устройстве свайных фундаментов на конструкции существующих зданий и сооружений.

Допустимое расстояние $[r]$, на котором забивка свай не вызовет развитие деформаций основания фундаментов более нормируемых, согласно ВСН 490-87 и СП 22.13330.2011 связано с величиной допустимых ускорений колебаний и обеспечивает условия допустимости величины ускорения по отношению к ускорению вертикальных колебаний фундаментов \square_{ϕ} на расстоянии r от погружаемой сваи. Допустимое ускорение вертикальных колебаний фундамента $[\square]_1$, при котором не происходит дополнительных деформаций оснований, принимается в соответствии с ВСН 490-87.

Для оценки влияния динамических воздействий на сооружение при погружении свай молотом параметры колебаний грунтов определяются по графику зависимости вертикальных смещений A_0 от частоты колебаний грунта f_0 (ВСН 490-87), в зависимости от инженерно-геологических условий участка строительства. Для фундаментов существующих зданий, к которым осуществляется примыкание нового строительства, величина дополнительных абсолютных осадок и их неравномерностей определяется ТСН 50-302-96. Они не должны превышать 50% величины, допустимой для нормальной эксплуатации новых зданий, которая устанавливается приложением СНиП 2.02.0183. При этом относительная неравномерность дополнительных осадок $i_g = 0,002$ не должна превышать величины $m_i * i_u$. Величина m_i связана с техническим состоянием конструкций здания, которое оценивается в зависимости от степени физического износа и составляет:

- при физическом износе здания до 20% – $m_i = 0,4$;
- при физическом износе здания 30% – $m_i = 0,3$;
- при большем физическом износе – $m_i = 0,2$.

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОБЪЕКТАХ ИСТОРИКО-КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

Сурнин А.А., Сурнина Е.К., Сабаев Р.М.
СГТУ, г. Саратов, Россия

При исследовании эксплуатационной надёжности зданий и сооружений историко-культурного наследия достаточно серьёзные затруднения вызывают проблемы объективного определения расчётных физико-механических характеристик строительных материалов, в частности, сталей, из которых выполнены несущие конструкции здания.

При проведении исследований на одном из таких объектов было установлено, что геометрические размеры балок, используемых в перекрытии, соответствуют сортаменту двутавровых балок редакции 1926 года. Специфические условия эксплуатации объекта не позволяли произвести отбор образцов стали балок для определения физико-механических показателей материала. Для определения основных характеристик стали балок перекрытия был произведён отбор образцов из полки двутавровой балки на наименее загруженном участке. Проведёнными исследованиями с использованием установки спектрального анализа стружки металла установлен состав представленного образца. По результатам спектрального анализа выявлено, что представленная сталь не может быть идентифицирована ни с одной из марок стали, имеющих в действующих нормативных документах. По своему составу эта сталь наиболее близка к составу стали класса Ст2кп по ГОСТ 380-94. Для Ст2 в наименьший предел текучести составляет $R_{тп} = 2000 \text{ кг/см}^2$. Нормами СП 13-102-2003 предписывается расчётное сопротивление стали R_y определять путём деления нормативных значений предела текучести $R_{тп}$, который принимается равным наименьшему значению предела текучести, на коэффициент надёжности по материалу γ_m , который принимают для конструкций, изготовленных до 1932 года, у которых значения предела текучести ниже 215 МПа (2150 кг/см^2) – $\gamma_m = 1, 2$.

Однако, в соответствии с СП 13-102-2003 расчётные сопротивления стали не должны превышать значений, действующих в период выплавки стали. Анализ справочных материалов выявил, что значения допускаемых напряжений для сталей, выпущенных в начале XX века, не одинаковы для различных сочетаний нагрузок. В частности, для стали Ст2 они составляют – 1450 кг/см^2 в случае действия «основных и случайных нагрузок» (терминология начала XX века) и 1200 кг/см^2 в случае действия только «основных» нагрузок. Указанные значения допускаемых напряжений были использованы при выполнении поверочных расчётов стальных элементов здания.

СПЕЦИФИКА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

Сурнин А.А., Сурнина Е.К., Сабаев Р.М.
СГТУ, г. Саратов, Россия

При исследовании эксплуатационной надёжности зданий и сооружений опасных производственных объектов исключительно важное значение имеет обследование технического состояния строительных конструкций и зданий.

Введённое в действие Постановление Правительства РФ от 26 декабря 2014 г. № 1521 «Об утверждении перечня национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил)». Указанное постановление устанавливает перечень национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

Вместе с тем, в соответствии Законом «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» все технические устройства, применяемые на опасном производственном объекте (к которым следует отнести здания и сооружения) в процессе эксплуатации, подлежат экспертизе промышленной безопасности. Этот же Закон устанавливает требования промышленной безопасности к проектированию, строительству, и приёмке в эксплуатацию опасного производственного объекта.

Проведение обязательных технических осмотров опасных производственных объектов должно осуществляться с привлечением специализированных организаций, осуществляющих деятельность в сфере проектирования и возведения строительных объектов. При этом оценка технического состояния здания и сооружения объективно должна базироваться, прежде всего, на нормативных требованиях главы 2 СНИП «Нормы проектирования».

В настоящее время практически отсутствуют методики, охватывающие весь комплекс вопросов, связанных со спецификой эксплуатации опасных производственных объектов.

Результатом диагностики технического состояния здания и сооружения должна быть оценка их состояния, которая в обязательном порядке должна быть рассмотрена территориальными органами Ростехнадзора и являться обязательной составной частью декларации безопасности опасного производственного объекта.

Анализ требований нормативно-правовой документации показывает, что в современных условиях особую значимость и ответственность приобретает экспертная оценка промышленной безопасности объекта в целом.

К РАСЧЕТУ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ С ПОМОЩЬЮ МКЭ

Теличко В.Г., Ходорович П.Ю.

ТулГУ, г. Тула, Россия

Для повышения эффективности строительства существенно важным является совершенствование методов проектирования оснований и фундаментов, стоимость устройства которых может достигать до 20-30% стоимости зданий и сооружений [1]. Сложность инженерно-геологической обстановки площадок строительства, уникальность и масштабность современных сооружений (АЭС, ТЭС, установки на шельфе и др.), повышение технологических нагрузок и этажности зданий требуют возможно полного учёта реальных свойств грунтов оснований, что можно обеспечить только при использовании новейших достижений в области механики грунтов, горных пород и численных методов расчёта.

Анизотропные грунты и породы широко распространены в коре и в верхние мантии Земного шара. Кроме того, они обладают разносопротивляемостью [1]. Грунты (нескальные породы), обладают в той или иной степени анизотропией свойств с учётом того, что при формировании в прошлые геологические эпохи они в большей или меньшей мере испытывали механические свойства, сформировавшее неоднородные и анизотропные напряжённое состояние. Анизотропия в грунтах – скорее правило, чем исключение [1]. К грунтам, у которых она ярко выражена, относятся ленточные глинистые отложения, лёссы и лёссовидные грунты, торфянистые, мёрзлые, солонцеватые и некоторые другие разновидности.

Для решения поставленной задачи моделирования авторы предлагают использовать модифицированную конечно-элементную модель, построенную на базе стандартного объёмного изопараметрического элемента в форме тетраэдра с 3-мя степенями свободы в узле [2], использующего положения общей трёхмерной теории упругости [3].

Для иллюстрации предлагаемого подхода рассмотрена задача о давлении на грунтовое полупространство. В качестве геометрической модели примем прямую призму, с размерами в плане в десять раз большими соответствующих размеров зоны давления. При таком соотношении разница в параметрах НДС с точным решением задачи теории упругости о слоистом полупространстве является незначительной. Исходные данные для расчёта принимались следующие: размеры в плане 20000 × 5000 мм, по высоте 7 слоёв по 2000 мм, размер зоны давления 2000 × 500. Механические характеристики материалов заимствованы приведены в работе [4]. Интенсивность равномерно распределённой нагрузки q принималась равной 700 кПа.

Проведённые авторами исследования напряжённо-деформированного состояния модели полупространства из нескольких слоёв разносопротивляющихся анизотропных (ортотропных) материалов показали, что предлагаемый

подход, основанный на положениях трёхмерной теории упругости и определяющих соотношениях А.А. Трещева [4] вполне адекватен и обладает рядом преимуществ над многими теориями благодаря повышенной точности и удобству использования метода конечных элементов [3]. Также показано, что при проведении расчётов пренебрегать учётом явления разносопротивляемости никак нельзя, так как это может привести к значительным погрешностям в определении параметров напряжённо-деформированного состояния (до 30% по напряжениям и перемещениям).

Библиографический список

1. Бугров, А.К. Анизотропные грунты и основания сооружений. / А.К. Бугров, Голубев А.И. – СПб.: Недра, 1993. – 245 с.: ил.
2. Клованич, С.Ф. Метод конечных элементов в нелинейных задачах инженерной механики. / С.Ф. Клованич // Библиотека журнала «Світ геотехніки», Вып. 9. – Запорожье: Изд-во «Світ геотехніки», 2009. – 400 с.
3. Трещев, А.А. Конечно-элементная модель расчёта пространственных конструкций из материалов с усложнёнными свойствами / А.А. Трещев, В.Г. Теличко, А.Н. Царев, П.Ю. Ходорович // Известия ТулГУ. Технические науки. – Тула: Изд-во ТулГУ. – 2012. – Вып. 10. – С. 106-115.
4. Трещев, А. А. Теория деформирования и прочности материалов, чувствительных к виду напряжённого состояния. Определяющие соотношения: монография / А. А. Трещев // РААСН, ТулГУ. – М.; Тула : Изд-во ТулГУ, 2008.– 264 с.

РАСЧЕТ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК ПОКРЫТИЙ ИЗ РАЗСОПРОТИВЛЯЮЩИХСЯ МАТЕРИАЛОВ

Теличко В.Г., Ходорович П.Ю., Кораблин И.М.
ТулГУ, г. Тула, Россия

Инженерная практика постоянно требует повышения точности расчёта элементов строительных и машиностроительных конструкций, деталей различных машин и аппаратов. Решение данной задачи невозможно без совершенствования определяющих соотношений, достаточно надёжно описывающих процессы деформирования конструкционных материалов обладающих «нестандартными свойствами», а также без совершенствования методик расчёта конструкций. Механические характеристики подобных материалов активно проявляют чувствительность к виду напряжённого состояния. К материалам, обладающим указанными свойствами, относят керамику, стеклопластики, различные конструкционные графиты, ряд полимеров и подавляющее большинство композитов.

Расчёт плит и оболочек ведётся, как известно, на базе прикладных технических теорий, позволяющих перейти от трёхмерной задачи к двумерной, что

существенно упрощает как математическую, так и чисто вычислительную процедуру. Очевидно, что реализация подобного подхода, в основе которого лежит исследование поведения срединной поверхности плиты или оболочки, в МКЭ обуславливает появление специфических конечных элементов. В большинстве случаев для построения матриц, характеризующих такие элементы, используются соответствующие соотношения теории плит и оболочек, основанные на технических гипотезах об изменении напряжённо-деформированного состояния по толщине.

Имеется целый ряд таких теорий, отличающихся характером и степенью обоснованности вводимых допущений. Наиболее распространёнными из них являются теория тонких пластин и оболочек Кирхгофа-Лява, средней толщины С.П.Т. Имошенко, Э. Рейсснера и т.д.. Однако не все плиты и оболочки, применяемые в технике можно отнести к классу тонких или средней толщины, во-первых, из-за их геометрических размеров, во-вторых, из-за существенной неоднородности материала и его нелинейного поведения, наличия арматуры, трещин и т.д. Более того, с точки зрения МКЭ каждый конечный элемент, являясь частью системы, должен рассматриваться как отдельная конструкция в её составе, соотношение его геометрических размеров должно отвечать требованиям, при которых допустимо использование кинематических и статических гипотез.

Перечисленные особенности деформирования пространственных конструкций могут быть учтены только с привлечением аппарата общей трёхмерной теории с использованием всей совокупности компонентов напряжений и деформаций. Поэтому, необходим комплексный подход, сочетающий с одной стороны часть гипотез технической теории изгиба, с другой – соотношения общей механики. Основой такого подхода могут служить специальные конечные элементы, построенные на базе стандартных объёмных элементов, но учитывающие особенности аппроксимации геометрии и перемещений по толщине.

Для реализации приведённых выше соображений авторы предлагают использовать модифицированную конечно-элементную модель построенную на базе объёмного изопараметрического элемента в форме тетраэдра с 3-мя степенями свободы в узле [1], использующего разрешающие уравнения [2]. Вопросы связанные с получением матрицы жёсткости решались в работе [3].

Для демонстрации разработанной математической модели рассматривался расчёт толстой цилиндрической оболочки, опёртой жёстко по образующим и нагруженной равномерно распределённой нагрузкой. Исходные данные для расчёта принимались следующие: размеры в плане оболочки 2000x700 мм, высота подъёма 350 мм, внутренний радиус 250 мм. Материал оболочки – графит АТJ-S [2]. Интенсивность равномерно распределённой нагрузки q варьировалась от 0 до 200 кПа. Проведено сравнение результатов, полученных для нескольких различных теорий: А.А. Трещева [2], классической теории анизотропии, а также результатами, основанными на определяющих соотношениях

С.А. Амбарцумяна [4] и Р.М. Джонса – Д.А.Р. Нельсона (в квазилинейной постановке) [5].

Библиографический список

1. Клованич, С.Ф. Метод конечных элементов в нелинейных задачах инженерной механики. / С.Ф. Клованич // Библиотека журнала «Світ геотехніки». – Вып. 9. – Запорожье: Світ геотехніки, 2009. – 400 с.

2. Трещев, А. А. Теория деформирования и прочности материалов, чувствительных к виду напряжённого состояния. Определяющие соотношения: монография / А. А. Трещев // РААСН, ТулГУ. – М. : Изд-во ТулГУ, 2008. – 264 с.

3. Трещев А.А., Теличко В.Г., Царёв А.Н., Ходорович П.Ю. Конечно-элементная модель расчёта пространственных конструкций из материалов с усложнёнными свойствами // Известия ТулГУ. Технические науки. – Вып. 10. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2012. – С. 106-114.

4. Амбарцумян, С.А. Основные уравнения и соотношения разномодульной теории упругости анизотропного тела / С.А. Амбарцумян // Изв. АН СССР. МТТ. – 1969. – № 3. – С. 51-61.

5. Jones, R.M. Modeling Nonlinear Deformation of Carbon-Carbon Composite Materials / R.M. Jones // AIAA Journal. – 1980. – Vol. 18. – № 8. – P. 995-1001.

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В СРЕДЕ САПР

Теличко Г.Н.

ТулГУ, г. Тула, Россия

На практике для описания характеристик элементов сооружения строители используют различные единицы измерения. Так, для представления о длине элемента используются метры, для указания высоты поперечного сечения – сантиметры, а для вычисленных перемещений – мм. Аналогичная картина наблюдается и при задании статических нагрузок: используются тонна-силы, килограмм-силы (система единиц измерения СГС), килоньютон, ньютон (система единиц СИ), а при работе с иностранными проектами – такие единицы измерения как фут (в качестве меры длины) и фунт (в качестве меры силы).

Перевод одних единиц в другие для их совместности, в принципе, может производиться в самой среде автоматизированного проектирования. Однако на практике требуется осуществлять весьма жёсткий контроль за этим аспектом обработки данных, что нельзя признать задачей собственно строительной механики.

Чтобы избежать подобных затруднений и использовать в качестве *производных единиц измерения* комплексные параметры.

Например, использовать в качестве единицы измерения параметры:

a – для длины;

j – для угла поворота;

F – для площади;

J – для момента инерции на изгиб;

E – для модуля упругости;

a – для коэффициента линейного расширения;

$^{\circ}C$ – для температуры;

q – для интенсивности распределённой нагрузки;

P – для сосредоточенной силы (в узлах фермы или в сжатом участке рамы при продольном изгибе);

w – для частоты собственных/вынужденных колебаний; и так далее.

При вводе данных о соответствующей величине строительной механики в программу расчёта, значение этой величины назначается равным 1.

Так, задавая модуль упругости материала E в качестве характеристики материала модели заданной расчётной схемы, в поле ввода значения модуля мы должны набрать число 1.

Нетрудно определить, что характеристики напряжённо-деформированного состояния будут выражены некоторыми комбинациями введённых производных единиц измерения (и числовых коэффициентов при них). Например:

qa – поперечные и продольные силы при поперечном изгибе;

P – продольные силы в стержнях фермы;

qa^2 – изгибающие моменты;

$\frac{qa^3}{EJ}$ – угловые перемещения от статической нагрузки, заданной через q и a ,

при поперечном изгибе; и т.д.

Важно отметить, что одна и та же физическая величина, например, поступательное перемещение при поперечном изгибе, имеет размерность L, но комбинации производных единиц измерения, её определяющие, зависят от типа расчётной схемы и характера внешнего воздействия.

При *статическом* нагружении, заданном в параметрах q и a , *статически неопределимой* расчётной схемы, описанной в параметрах a и EJ , размерность поступательного перемещения определяется комбинацией

$$L = \dim\left(\frac{qa^4}{EJ}\right)$$

При *кинематическом* нагружении, заданном параметр j , размерность поступательного перемещения в той же расчётной схеме определяется комбинацией

$$L = \dim(\varphi a).$$

В этой же расчётной схеме при температурном воздействии, заданном параметрами $^{\circ}C$ и a , размерность поступательного перемещения определяется комбинацией:

$$L = \dim(\alpha ^{\circ}C a).$$

В последнем случае, вычисляя перемещения на ЭВМ, легко ошибиться. Дело в том, что значения коэффициента линейного расширения могут измеряться по-разному:

$$\frac{\text{мм}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}} \text{ или } \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

Приведённая формула размерности требует, чтобы коэффициент линейного расширения определялся через $1/^\circ\text{C}$, т.е. измерялся в тех же системных единицах, что и параметр длины a .

Итак, в качестве исходных данных в программный комплекс будут вводиться только безразмерные числовые значения характеристик заданной расчётной схемы и воздействий на неё. Следовательно, результаты также будут получаться в безразмерном виде.

Переход к физическим значениям определяемых характеристик легко выполнить, задавшись единицами измерения какой-либо системы и значениями в ней параметров для каждой конкретной вычисленной характеристики. Но для этого нужно знать комбинацию параметров, определяющие ту или иную характеристику в каждом конкретном случае. Эти комбинации получаются в результате применения изучаемых в курсе строительной механики методов постановки и решения типовых задач.

Реализация предложенного подхода на практике столкнулась с интересным фактом: широко применяемые комплексы САПР, такие как SCAD и Лира-САПР, решают типовые задачи строительной механики стержневых конструкций в параметрической форме только в определённом диапазоне соотношения безразмерных величин, характеризующих расчётную схему, что связано с вариантами реализацией метода конечных элементов в этих средах. Впрочем, такая же особенность характерна для этих пакетов и при использовании обычно применяемых единиц измерения. Особенно это хорошо видно при расчётах на устойчивость элементарных балок: для коротких стержней с развитым поперечным сечением получаемые решения не соответствуют теоретическим или вычислительный процесс оказывается расходящимся.

АНАЛИЗ ПРЕДЛАГАЕМЫХ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ТРАНСПОРТНЫХ ПЕРЕХОДОВ ЧЕРЕЗ КЕРЧЕНСКИЙ ПРОЛИВ

Толеков М. А., Овчинников И.Г.
СГТУ, г. Саратов, Россия

18 марта 2014 года Крым официально вошёл в состав Российской Федерации, и потому была поставлена первоочередная задача «связать» его автомобильной и железной дорогой с остальной территорией России. Различные строительные компании, группы специалистов и отдельные лица предложили большое количество вариантов пересечения Керченского пролива. По непроверенным данным их число превышает 70 вариантов.

В докладе рассматриваются основные из предложенных вариантов пересечения Керченского пролива, с учётом того, что они должны обеспечивать автомобильное и железнодорожное сообщение между Крымом и остальной Россией. В таблице приведены варианты транспортных переходов, которые удалось обнаружить в интернете и доступной литературе.

№	Створ	Схема	Длина, км	Тип моста	Подходы	Место для коммуникаций	Цена, млрд. руб	Сроки стр-ва, годы	Источник
1	Тузлинский	Неизвестно	5,6	Понтонно-опорно-разводной	Подходные насыпи	Отсутствует	3,5-30	1-1,5	Виталий Катунин и Геннадий Рубцов
2	Тузлинский	Неизвестно	5,6	Металлический 2-х уровневый	Подходные насыпи	Отсутствует	30	3	Пестряков
3	Тузлинский	18x132+264+23x132	11,7	Металлический вантовый	Подходные насыпи	Имеется	~228	3,5	Гипростроймост
4	Тузлинский	18x132+264+23x132	11,7	Металлический, с аркой в надрусловом пролёте	Эстакадные	Имеется	~228	3,5	Гипростроймост
5	Тузлинский	18x132+264+23x132	11,7	Металлический, ферменный	Подходные насыпи	Имеется	~228	3,5	Гипростроймост
6	Тузлинский	17x132+154+264+154+22x132	11,7	Металлический, ферменный	Эстакадные	Имеется	~228	3,5	Гипростроймост
7	Еникальский	Неизвестно	15,56	Эстакада из фибробетона	Эстакадные	Имеется	120	2-2,5	Проектс-пещстрой

В докладе проводится сравнительный анализ этих вариантов с учётом дополнительных требований, касающихся возможности переброски воды в Крым, а также электроэнергии.

ПОПЕРЕЧНЫЙ УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКИЙ ИЗГИБ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ПЛАСТИН, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ В УСЛОВИЯХ АГРЕССИВНОЙ СРЕДЫ ПРИ БОЛЬШИХ ПРОГИБАХ

Трещев А.А., Башкатов А.В.
ТулГУ, г. Тула, Россия

Уваров Е.А.
ООО ИТЦ «ДИАТЭК», г. Железногорск, Россия

В ходе термической обработки и горячей обработки давлением титановые сплавы загрязняются газами, в результате чего их свойства изменяются. Насыщение титановых сплавов газами оказывает охрупчивающее влияние. В представленной работе используется, предложенная ранее в работах Трещева А.А.,

Божанова П.В. и Полтавца П.А., математическая модель влияния наводороживания на пластические свойства титановых сплавов для прослеживании процессов поперечного пластического изгиба тонких прямоугольных пластин при больших прогибах.

Рассмотрено нагружение равномерно распределённой нагрузкой при шарнирном опирании по контуру и при жёстком защемлении. Механизм воздействия наводороживания имеет характер, результатом которого является наведенная и меняющаяся во времени чувствительность пределов текучести сплавов к виду напряжённого состояния.

Проанализированы известные подходы к построению уравнений пластического состояния для конструкционных материалов, деформирование которых зависит от степени проникновения активной среды в структуру конструкции, когда эта неоднородность проявляется как разносопротивляемость.

Предложены условия пластичности и прочности для материалов, подверженных активному наводороживанию. «Константы», входящие в условия пластичности и прочности представлены в виде функций от степени газонасыщения материала. Эти соотношения конкретизированы для титановых сплавов ВТ1-0, ВТ14 и ТС5.

Показано, что начало развития пластических деформаций и достижения пределов прочности указанных материалов, подверженных воздействию наводороживания универсально определяется условиями типа Губера-Мизеса, модифицированного путём введения функции среднего нормированного октаэдрического напряжения и степени наводороживания. Эта функция для исследованных материалов удовлетворительно аппроксимируется экспоненциальными зависимостями типа функций Больцмана при выполнении постулата Друкера.

На основе предложенных условий пластичности материала получена система разрешающих уравнений поперечного изгиба тонких прямоугольных пластин Кирхгофа, подвергающихся наводороживанию. При этом прослеживался процесс влияния степени наводороживания на пластические свойства пластинки, рассчитаны переменные границы пластических зон, как в плане, так и по толщине при больших прогибах в рамках формализма Кармана.

ДЕФОРМИРОВАНИЕ ПОЛОГОЙ ОБОЛОЧКИ ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ ГАУССОВОЙ КРИВИЗНЫ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ В ПЛАНЕ ИЗ МАТЕРИАЛОВ, СВОЙСТВА КОТОРЫХ ЗАВИСЯТ ОТ ВИДА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ ПОЛЗУЧЕСТИ

Трещев А.А., Захарова И.А., Злобин С.Ф.
ТулГУ, г. Тула, Россия

В современной технике получили широкое распространение оболочки, изготовленные из материалов, реологические свойства которых не соответ-

ствуют классическим представлениям о механике твёрдых тел. В общепринятых теориях ползучести изначально постулируется реологическая несжимаемость реономных материалов и принимается за основу гипотеза единой кривой деформирования во времени.

Однако, как показали эксперименты, проведённые на полимерных и композитных материалах, величина давления может существенно изменить характер и механизмы деформационных процессов, вызывая чувствительность параметров ползучести к виду напряжённого состояния и к гидростатическому давлению.

К таким материалам относится полиметилметакрилат (ПММА), политетрафторэтилен (ПТФЭ) и полиэтилен высокой плотности (ПЭВП). Дилатансия для таких материалов является функцией времени, развиваясь в процессе ползучести в зависимости от вида напряжённого состояния. Влияние гидростатического давления на деформацию сдвига не может быть учтено классическими теориями ползучести.

В представленном докладе рассматривается задача поперечного изгиба тонкой оболочки положительной гауссовой кривизны на прямоугольном плане, базирующаяся на потенциале ползучести для изотропных дилатирующих разносопротивляющихся материалов. Гипотезы Кирхгофа считаются справедливыми. Для описания процесса ползучести указанных материалов при отсутствии упрочнения использовался потенциал скорости деформаций в виде:

$$W = (A + B \xi + C \eta) \tau^n, \quad (1)$$

где A, B, C, n – константы материала, определяемые в результате обработки экспериментальных данных по исследованию ползучести при одноосном растяжении, сжатии и простом сдвиге; $\xi = \sigma / S_0$, $\eta = \tau / S_0$ – нормированные нормальные и касательные напряжения на девиаторной плоскости; $S_0 = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2}$ – норма пространства.

В результате использования методики ассоциированного закона течения на основе потенциала (1) устанавливаются зависимости между скоростями деформаций и напряжениями:

$$\dot{\epsilon}_{ij} = \frac{\partial W}{\partial \sigma_{ij}} = \frac{\partial W}{\partial \sigma} \cdot \frac{\partial \sigma}{\partial \sigma_{ij}} + \frac{\partial W}{\partial \tau} \cdot \frac{\partial \tau}{\partial \sigma_{ij}}, \quad (2)$$

которые положены в основу исследования ползучести оболочки положительной гауссовой кривизны на прямоугольном плане при поперечном изгибе. Здесь $\dot{\epsilon}_{ij}$ – компоненты тензора скоростей деформаций.

Рассмотрен изгиб жёстко защемлённых по контуру оболочек при малых прогибах и в результате решения конкретных задач обнаружен ряд количественных эффектов, связанных с разноползучестью материала оболочки.

ПЛОСКОЕ НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ДЛЯ ПЛАСТИНКИ С ДВУМЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ ЭЛЛИПТИЧЕСКИМИ ОТВЕРСТИЯМИ, ВЫПОЛНЕННОЙ ИЗ ОРТОТРОПНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Трещёв А.А., Морозова А.В.
ТулГУ, г. Тула, Россия

Симин В.В.
ООО ИТЦ «ДИАТЭК», г. Железногорск, Россия

Известно, что одним из практически важных классов задач механики деформируемого твёрдого тела являются задачи о концентрации напряжений вокруг эллиптических отверстий в пластине с учётом из взаимного влияния в зависимости от их взаимной ориентации. Указанная задача часто служит объектом апробации различных вариантов новых определяющих соотношений.

В представленном докладе рассмотрены задачи деформирования однородных пластинок с двумя параллельно ориентированными эллиптическими отверстиями. Пластинки выполнены из ортотропных композитов 16К9-27/АТJ-S, AR и PR и при решении задач рассматриваются с учётом разнотривляемости. Для этой цели принята конечно-элементная модель пластинок с двумя степенями свободы в узле. Основу этой модели составляют треугольные симплексные конечные элементы. Общая формулировка МКЭ принята на основе вариационного принципа Лагранжа.

При решении задачи принимались технические гипотезы: а) поверхность пластинок покрывалась сетью плоских треугольных конечных элементов; б) нагружение считалось простым при активной деформации, поэтому для описания свойств основного материала принимались нелинейные уравнения состояния, представленные через параметры нормированного пространства.

Решение системы алгебраических уравнений рассматриваемых задач с учётом соответствующих граничных условий производилось методом Гаусса. Исходная нелинейная задача решалась методом пошаговых нагружений с учётом итерационного процесса переменных параметров упругости.

Результаты расчёта анализировались на примере деформирования прямоугольных пластин с двумя параллельными эллиптическими отверстиями, нагруженных по краям равномерно распределёнными растягивающими или сжимающими нагрузками. При этом ориентация отверстий по отношению к контуру пластин менялась дискретно поворотом на определённый угол (0° , 45° , 90°).

В результате расчёта прямоугольных пластин с отверстиями, выполненных из ортотропных композитов, установлено, что неучёт свойств их разнотривляемости может привести к погрешности в определении основных нормальных напряжений в наиболее напряжённых сжатых волокнах составляет 22%-78%, а в растянутых – 29%-78%. Погрешность классической теории при определении касательных напряжений находится в пределах 16%-38%.

**ТРЕЩИНЫ ПОПЕРЕЧНОГО СДВИГА
В ОРТОТРОПНЫХ МАТЕРИАЛАХ
С НЕЛИНЕЙНО МЕНЯЮЩИМИСЯ СВОЙСТВАМИ,
НАХОДЯЩИХСЯ В УСЛОВИЯХ ПЛОСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ**

Трещев А.А., Неделин А.В.

ТулГУ, г. Тула, Россия

Машкин А.Н.

ООО ИТЦ «ДИАТЭК», г. Железногорск, Россия

Зависимость деформационных характеристик от вида напряжённого состояния проявляется, прежде всего, в средах, содержащих различного рода дефекты, поры и микротрещины. К таким средам относятся горные породы, конструкционные графиты, стекло- и графитопластики, бетон, некоторые керамические и композитные материалы. Вблизи трещин вид напряжённого состояния меняется существенным образом, поэтому представляется важным исследование напряжённо-деформированного состояния в окрестности макротрещин в телах, механические характеристики которых определяются наличием микроповреждений. Материал при этом моделируется сплошной средой с соответствующими эффективными деформационными характеристиками.

В представленном докладе исследуются трещины поперечного сдвига в упругих ортотропных нелинейных материалах, для которых не выполняются соотношения классической теории упругости, обычно принимаемые в линейной механике разрушения. Рассматривается случай плоской деформации. Для конкретного вида функций, входящих в определяющие соотношения, находятся асимптотические распределения напряжений, деформаций и перемещений в окрестности вершины трещины. Исследуются условия начала роста трещины.

В качестве определяющих соотношений для ортотропного разносопротивляющегося материала приняты нелинейные зависимости, предложенные в работах А.А. Трещева и Д.А. Ромашина, которые представлены в нормированном пространстве напряжений. В качестве конкретных материалов были приняты композиты Т300/5208, AR, PR и 16К9-27.

Показано влияние усложнённых свойств материалов на критические значения напряжений, определяющих начало роста макротрещины. Установлено, что учёт нелинейной чувствительности механических свойств материала к изменению вида напряжённого состояния приводит к существенному снижению величин критических напряжений, при которых происходит рост трещин.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ
НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
ПУСТОТНЫХ ПЛИТ НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ
С УЧЕТОМ НЕЛИНЕЙНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
И РАЗРУШЕНИЯ МАТЕРИАЛА**

Трещёв А.А., Теличко В.Г., Чигинский Д.С.
ТулГУ, г. Тула, Россия

В представленной работе рассмотрено решение задачи прочностного расчёта пустотных плит новой конструкции безопалубочного формования с учётом усложнённых свойств железобетона: поперечного сдвига, нелинейной сопротивляемости основного материала, с учётом трещинообразования.

Решение поставленной задачи осуществлялось с использованием конечно-элементной модели, предложенной в работе [1]. Использовался конечный элемент треугольной формы с 5-ю степенями свободы в узле.

Для упрощения поставленной задачи использовались следующие дополнительные технические гипотезы:

1) В качестве модели для арматуры принималось идеально упруго-пластическое тело.

2) Предполагалось, что арматура воспринимает только нормальные напряжения в поперечных сечениях.

3) Напряжения в пределах армированных слоёв определялись как сумма напряжений в бетоне и арматуре, а за условие совместности работы бетона и арматуры принималось равенство деформаций этих двух сред.

4) Срединную поверхность оболочки представляли сетью гибридных конечных элементов, с учётом разбиения по толщине на ряд фиктивных слоёв.

5) Жесткостные характеристики распространялись на все точки фиктивного слоя.

6) В зависимости от конкретных условий состояния фиктивных слоёв выделялись следующие группы:

- бетонные слои,
- армированные слои,
- бетонные слои с трещинами,
- бетонные слои с пересекающимися трещинами,
- армированные слои с трещинами,
- армированные слои с пересекающимися трещинами.

Моделирование осуществлялось согласно методике, предложенной в работе [2], в качестве критерия трещинообразования использовался критерий П.П. Баландина.

Численное решение задачи осуществлялось методом пошаговых нагружений в сочетании с методом «переменных параметров упругости».

Библиографический список

1. Теличко, В.Г. Гибридный конечный элемент для моделирования пространственных машиностроительных конструкций с усложнёнными свойствами / В.Г. Теличко, А.А. Трещёв. – Изв. ТулГУ. Серия. Строительные материалы, конструкции и сооружения. – Вып. 5. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2003. – С. 116-125.
2. Теличко, В.Г. Моделирование напряженно-деформированного состояния оболочечных конструкций из железобетона / В.Г. Теличко, А.А. Трещёв // Известия ТулГУ. Сер. Строительные материалы, конструкции и сооружения. – Вып. 8. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2005. – С. 147-161.

**ПРИМЕНЕНИЕ ОБОБЩЁННОЙ ТЕОРИИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ
МНОГОСЛОЙНЫХ ПЛАСТИН СРЕДНЕЙ ТОЛЩИНЫ К РАСЧЕТУ
ПУСТОТНЫХ ПЛИТ БЕЗОПАЛУБОЧНОГО ФОРМОВАНИЯ**

Трещёв А.А., Теличко В.Г., Чигинский Д.С.
ТулГУ, г. Тула, Россия

В данной работе рассмотрена методика расчёта пустотных железобетонных плит новой конструкции, изготовленных по безопалубочной технологии, на основе обобщённой теории деформирования слоистых пластин средней толщины, выполненных из структурно-анизотропного разносопротивляющегося (ортотропного) материала, с учётом поперечного сдвига в геометрической постановке Теодора фон Кармана.

Для вывода системы дифференциальных разрешающих уравнений применялись геометрические соотношения Т. Кармана, физические уравнения состояния для описания нелинейной работы бетона были взяты из работ А.А. Трещева и Н.В. Васильева [1].

Решаемая задача изгиба пустотной плиты имеет нелинейность двоякого характера, вследствие чего появляются определённые трудности при её решении. Поэтому, для решения поставленной задачи применялось методика последовательных нагружений, предложенная В.З. Власовым, в модификации В.В. Петрова в форме двухшагового метода последовательных возмущений параметра [2]. Сложность выражений для нелинейных компонентов системы дифференциальных разрешающих уравнений заставляет прибегать к численным методам решения, из которых в данном случае наиболее просто реализуется метод конечных разностей [1].

Проведённые расчёты показали, что данная модель, основанная на обобщённой теории деформирования слоистых пластин средней толщины [1] позволяет эффективно проводить расчёты напряжённо-деформируемого состояния (НДС) пустотных железобетонных плит новой конструкции, изготовленных по безопалубочной технологии.

Полученные результаты свидетельствуют о необходимости учёта эффектов нелинейной разносопротивляемости, структурной анизотропии и поперечных

сдвигов для получения наиболее достоверных результатов оценки НДС пустотных плит безопалубочного формования.

Библиографический список

1. Теличко, В.Г. Моделирование напряжённно-деформированного состояния гибких слоистых пластин из анизотропных разносопротивляющихся материалов с учётом геометрической нелинейности / В.Г. Теличко, А.А. Трещёв, Н.В. Васильев // Известия ТулГУ. Т.-Н. Вып. 2. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2011. – С. 541-546

2. Петров, В.В. Построение инкрементальных соотношений для физически нелинейного материала с развивающейся неоднородностью / В.В. Петров // Проблемы прочности элементов конструкций под действием нагрузок и рабочих сред. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2005. – С. 138-143.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЁННЫЕ ПУСТОТНЫЕ ПЛИТЫ НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ БЕЗОПАЛУБОЧНОГО ФОРМОВАНИЯ, АРМИРОВАННЫЕ ПРОВОЛОКОЙ КЛАССА ВР1400

Трещёв А.А., Чигинский Д.С., Башкатов А.В.

ТулГУ, Тула, Россия

Выполнены расчёты по двум группам предельных состояний пустотных плит новой конструкции безопалубочного формования, армированных предварительно напряжённой проволокой класса Вр1400. Панели перекрытий предназначены для применения в жилых, общественных и производственных зданиях и могут применяться как при новом проектировании, так и взамен плит с круглыми пустотами, изготавливаемых по агрегатно-поточной или конвейерной технологии. Панели перекрытий выполняются из бетона класса по прочности на сжатие В40 и рассчитаны под унифицированные равномерно распределённые нагрузки (сверх собственной массы плиты) – 450; 600; 800; 1250 кгс/м² для длин с 4,2 до 10,8 м с шагом 0,6 м.

Подъем панелей должен производиться краном с применением захватных устройств. Заделка пустот в торцах панелей, заводимых в кирпичные или блочные стены, не требуется, если напряжения сжатия в стенах от расчётных нагрузок вышележащих этажей не превышают 5,4 МПа (55 кгс/см²).

Напрягаемая арматура в нижней и верхней зонах выполнена из высокопрочной проволоки класса Вр1400 по ГОСТ 7348-81* с номинальным диаметром 5 мм. Расчёт панелей производился при соблюдении обязательных требований [2] с учётом теоретических положений [3], а также рекомендации [1]. Величина начального предварительного напряжения нижней арматуры плит была принята 1000 МПа и верхней – 500 МПа. Для панелей длиной 4,2 и 4,8 м в верхней зоне армирование отсутствует. Для панелей длиной от 5,4 до 10,8 м, независимо от нагрузок, в верхней зоне принято 5 стержней для плит шириной 1,2 м и 6 стержней для плит шириной 1,5 м. Выполнены расчёты 114 панелей при вариации: длины, ширины и высоты сечения, и расчётных нагрузок. Ко-

личество стержней в нижней зоне для плит ПБ–16...12... – получено в интервале от 9 до 35 шт., для плит ПБ–22...12... – от 9 до 44 шт., для плит ПБ–22...15... – от 11 до 55 шт.

Анализ проведённой работы позволяет сделать вывод о применения пустотных плит новой конструкции, армированных проволокой класса Вр1400, эффективности современной методики расчётов и целесообразности разработки новых и актуализации подготовленных ранее технических решений панелей перекрытий, выполненных по технологии безопалубочного формования.

Библиографический список

1. Пособие по проектированию предварительно напряжённых железобетонных конструкций из тяжёлого бетона (к СП 52-102-2004). – М., 2005.
2. СНиП 52-01-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения». – М., 2004.
3. Трещев, А. А. Анизотропные пластины и оболочки из разносопротивляющихся материалов: монография / А.А. Трещёв. – М.: РААСН; Тула: ТулГУ, 2007. – 160 с.

ПОВЫШЕНИЕ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ДОРОЖНОГО БЕТОНА ВКЛЮЧЕНИЕМ МНОГОАНКЕРНОЙ ФИБРЫ

Трофимов В.И., Пупенин К.И., Михайлов А.И.
ТвГТУ, г. Тверь, Россия

В настоящее время предъявляются повышенные требования к бетонам для дорожного и аэродромного строительства, способных воспринимать повышенные нагрузки и, при этом, эффективно работать в суровых природно-климатических условиях. Проблема эта особенно актуальна для Арктических зон, где ведётся крупномасштабное строительство, связанное с обустройством нефтяных и газовых месторождений.

Одним из эффективных методов повышения трещиностойкости бетона является его дисперсное армирование. В настоящее время разработаны научные основы по обоснованию эффективного использования дисперсных волокон различной формы и размеров для дисперсного армирования бетона. Однако все они касаются в основном работы контактной области волокон и не затрагивают объёма возможной зоны деформирования в пределах двух – трёх диаметров волокна, что снижает эффективность микроармирования и, соответственно, работы самой фибры.

Наиболее эффективными дисперсно-армирующими элементами являются волокна с волнистой поверхностью и анкерами на концах. Однако поверхность таких волокон не полностью участвует в работе при развитии сдвиговых деформаций, а также они отличаются значительной трудоёмкостью в изготовлении, что снижает эффективность их использования.

С целью повышения эффективности работы фибры в бетоне нами предложена новая форма фибры, которая может быть выполнена многоанкерной и в виде микросеток (плоской или объёмной) (патент №2490406). Особенность работы микросеток в бетоне была доложена на прошлой конференции. В данном сообщении приводятся результаты модельных испытаний бетона с другой формой фибры - многоанкерной.

В этом случае фибра выполняется в виде нити с поперечными выпусками – усами. За счёт этого увеличивается область объёмного микроармирования вокруг многоанкерной фибры. При этом усы фибры выполняют дополнительную функцию армирования в поперечном направлении, что, в целом, повышают эффективность ее работы в бетонной матрице.

Изготовить такую фибру не сложно, например, путём её нарезки из обычной сетки (стальной или полимерной). В своих исследованиях мы использовали полимерную фибру, полученную из отходов производства оконных москитных сеток.

При действии нагрузки на матрицу, армированной многоанкерной фиброй, в работе будет задействован значительно больший её объём, чем при использовании известных волокон, что существенно повышает сопротивляемость сдвиговым деформациям. При этом в отличие от обычных волокон многоанкерная фибра способна воспринимать повышенные сдвиговые нагрузки в двух направлениях (осевом и поперечном), возникающие в бетонной матрице при действии внешней нагрузки.

Выполненные предварительные исследования на модельных смесях из цементно-песчаных растворов показали, что достигается значительное увеличение прочности бетона, армированного полимерной многоанкерной фиброй, на изгиб - на 54% по сравнению с неармированным бетоном и на 16% по сравнению с бетоном, армированным гладкой фиброй.

В заключение можно отметить, что использование в бетоне новой многоанкерной фибры позволит улучшить структурно-механические свойства мелкозернистого бетона, а также повысить надёжность бетонных покрытий при их сложной работе в области переменных сжимающих и растягивающих напряжений. Особенно это важно в случае применения многоанкерной фибры для получения бетонов, используемых в дорожном и аэродромном строительстве в арктических зонах.

ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ДОРОЖНЫХ НАСЫПЕЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НЕКОНДИЦИОННЫХ ГРУНТОВ

Трофимов В.И., Смелянский И.В., Пупенин К.И.,
Сергеев Н.И., Попков В.С.
ТвГТУ, г. Тверь, Россия

В условиях нарастающего дефицита качественных грунтовых материалов, используемых в дорожном строительстве, все больше рассматривается вари-

антов применения некондиционных тонкодисперсных грунтов, которые повсеместно распространены во многих регионах страны. Однако у таких грунтов при замачивании снижается несущая способность. Поэтому в настоящее время перед учёными, проектировщиками и строителями стоит задача по разработке необходимых научно-технических мероприятий для широкого вовлечения некондиционных грунтов: пылеватых песков, супесей и др. в практику строительства дорог.

Цель выполненного исследования состояла в обосновании возможности использования новых методов повышения эксплуатационной надёжности дорожных насыпей и площадок на основе применения технологии активной стабилизации тонкодисперсных грунтов.

Опыт применения грунтоцементных композиций в практике повышения несущей способности оснований известен. Однако в дорожном строительстве, в связи со сложностью реализации данная технология нашла ограниченное применение.

В ТГГУ на кафедре ПСК был предложен новый способ улучшения структурно-механических свойств грунтовой насыпи, отсыпаемой из некондиционных тонкодисперсных грунтовых материалов, путём включения цементного вяжущего и новой фибры в виде микросеток или многоанкерных волокон (патенты №: 2453649; 2490406). В процессе гидратации цемента образуются новые образования в виде фиброгрунтоцементной композиции, которые в совокупности с остальной свободной фиброй существенно повышают сопротивляемость сдвиговым деформациям грунтовой насыпи и тем самым повышают её устойчивость.

Были выполнены сдвиговые испытания образцов из фиброгрунтоцементной композиции. В качестве грунтовой матрицы использовался пылеватый песок. Многоанкерная фибра изготавливалась из отходов производства полимерной москитной сетки. Длина многоанкерной фибры – 15 мм, а ширина – 2 мм. При этом для испытания тонкодисперсных грунтов с учётом возможности использования волокнистого наполнителя была создана сдвиговая установка УПС-2 на базе известных сдвиговых приборов ГПП-30 и ВСВ-25 системы Гидропроекта. Испытания выполнялись по методике быстрого сдвига.

Для исследований использовался пылеватый неоднородный песок, из которого готовились образцы площадью 40 см² и влажностью 11,5% с содержанием многоанкерной фибры в %: 0; 5; 15; 30. При этом содержание цемента М500 в 5% задавалось постоянным для всех образцов. Образцы выдерживались 21 сутки в условиях естественного твердения. Плотность образцов составляла 148 кг/м³.

Угол наклона полученных графиков (угол внутреннего трения φ) в виде зависимости $\tau = f(\sigma)$ имеет тенденцию к возрастанию с повышением содержания многоанкерной фибры в грунтовой смеси. При этом существенно возрастает и структурная прочность грунтовой композиции (удельное сцепление).

В свою очередь, зависимость сопротивления сдвига от содержания многоанкерной фибры носит нелинейный характер.

Так введение 5% многоанкерной фибры в исследованный пылеватый песок привело к повышению удельного сцепления почти в 3,5 раза, что говорит о значительном структурном упрочнении грунтовой смеси.

По результатам предварительных исследований был предложен оптимальный состав фиброгрунтоцементной смеси для повышения устойчивости откосов насыпей из некондиционных тонкодисперсных грунтов (пылеватые пески, супеси и др.): 5% цемента и 5-6% многоанкерной фибры.

Результаты выполненных исследований по повышению устойчивости откосов насыпей, отсыпаемых из некондиционных грунтовых материалов с использованием технологии активной стабилизации их структуры, могут быть применены для повышения эффективности проектных решений в строительстве дорог и использованы при разработке специальной методической и нормативной документации.

CONSTITUTIVE EQUATIONS OF A TENSORIAL MODEL FOR DUCTILE DAMAGE OF METALS

Tutyshkin N.D.

Tula State University, Tula, Russia

Müller W.H., Wille R.

Berlin University of Technology, Berlin, Germany

Thermodynamic consistence of the constitutive equations for ductile damage is a necessary condition of their validity. For the study of a thermodynamically irreversible process of plastic deformation it is convenient to list the internal state variables and the associated variables as shown in Table.

Internal state variables	Associated variables	Dissipative functions
Deviatoric plastic strain rate tensor, $\dot{\boldsymbol{\epsilon}}$	Deviatoric stress tensor, \boldsymbol{s}	Plastic dissipation, $\dot{W}_p = s^{ij} \dot{\epsilon}_{ij}$
Isotropic hardening parameter, \dot{r}	Isotropic hardening stress parameter, R	Stored energy density rate, $\dot{W}_s = R\dot{r}$
Damage rate tensor, $\dot{\boldsymbol{\omega}}$	Energy density release rate tensor, $-\boldsymbol{Y}$	Damage dissipation, $\dot{W}_D = Y^{ij} \dot{\omega}_{ij}$

The constitutive equations for the internal variables ($\dot{\epsilon}_{ij}$, \dot{r} , $\dot{\omega}_{ij}$) can be derived from a dissipation potential F , which is a convex function of the associated variables

$(-s_{ij}, R, -Y_{ij})$. The convexity of the dissipation potential in an associated variable space follows from the second principle of thermodynamics, *i.e.*, the Clausius-Duhem inequality. Thus, we find:

$$\dot{e}_{ij} = \dot{\lambda} \frac{\partial F}{\partial s_{ij}}, \quad \dot{r} = -\dot{\lambda} \frac{\partial F}{\partial R}, \quad \dot{\omega}_{ij} = \dot{\lambda} \frac{\partial F}{\partial Y_{ij}}. \quad (1)$$

where \dot{e}_{ij} are the deviatoric plastic strain rates (at the RVE scale), \dot{r} is the isotropic hardening parameter, $\dot{\omega}_{ij}$ are the components of the damage rate tensor $\dot{\boldsymbol{\omega}}$, s_{ij} are the deviatoric stresses, R is the isotropic hardening stress parameter, Y_{ij} are the components of the tensor \mathbf{Y} which accounts for the energy density release rate related to the void growth and a change in its shape, and $\dot{\lambda}$ is the plastic Lagrange multiplier.

In view of the published qualitative experiments [1] we can decompose the potential F as the sum:

$$F = \Phi + \Omega \quad (2)$$

where Φ and Ω refer to the plastic potential and the damage potential, respectively.

In view of Eq. (2) Eqs. (1) assume the following form:

$$\dot{e}_{ij} = \dot{\lambda} \frac{\partial \Phi}{\partial s_{ij}}, \quad \dot{r} = -\dot{\lambda} \frac{\partial \Phi}{\partial R}, \quad \dot{\omega}_{ij} = \dot{\lambda} \frac{\partial \Omega}{\partial Y_{ij}}. \quad (3)$$

Following Kachanov [2] the von Mises yield function f can be used as a plastic potential Φ :

$$f(s_{ij}, R) = (1/2)s_{ij}^i s_{ij}^j - \tau_y^2 = 0, \quad (4)$$

where τ_y is the yield stress under shear.

The plastic multiplier $\dot{\lambda}$ is proportional to the plastic strain energy density rate, \dot{w}_p :

$$\dot{w}_p = s^{ij} \dot{e}_{ij} = \dot{\lambda} s_{ij}^i s_{ij}^j = \frac{2}{3} \dot{\lambda} \sigma_{eq}^2. \quad (5)$$

Eq. (5) results in:

$$\dot{\lambda} = \frac{3}{2} \frac{\dot{w}_p}{\sigma_{eq}^2} = \frac{3}{2} \frac{s^{ij} \dot{e}_{ij}}{\sigma_{eq}^2} = \frac{3}{2} \frac{\dot{e}_{ij}^i \dot{e}_{ij}^j}{\dot{\lambda} \sigma_{eq}^2} = \frac{9}{4} \frac{\dot{\epsilon}_{eq}^2}{\dot{\lambda} \sigma_{eq}^2}, \quad (6)$$

where σ_{eq} and $\dot{\varepsilon}_{\text{eq}} = \sqrt{(2/3)\dot{\varepsilon}_j^i \dot{\varepsilon}_i^j}$ denote the equivalent von Mises stress and strain rate (both related to the RVE), respectively. In view that $\sigma_{\text{eq}} = \tau_y \sqrt{3}$ (at the yield state) we may finally write:

$$\dot{\lambda} = \frac{\sqrt{3} \dot{\varepsilon}_{\text{eq}}}{2 \tau_y}, \quad (7)$$

When calculating stresses and strains we will consider isotropic hardening that is typical for large plastic deformations at metal forming. The conjugate force of isotropic hardening is the stress parameter $R = \sqrt{(1/2)s_j^i s_i^j} = \tau_y$, which describes a change in the radius of the von Mises cylinder (4) in the principal stress space $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$. The isotropic hardening parameter, \dot{r} , can be written as follows:

$$\dot{r} = -\dot{\lambda} \frac{\partial \left[(1/2)s_j^i s_i^j - \tau_y^2 \right]}{\partial (\tau_y)} = 2\dot{\lambda} \tau_y = \dot{\varepsilon}_{\text{eq}} \sqrt{3}. \quad (8)$$

The damage potential Ω for a rigid-plastic material model determines the dissipation associated with plastic dilatation due to the void volume growth and to changes of the meso-element shape. The energy density rate of the meso-elements associated with the void growth can be defined as a quadratic function of the first invariant $I_1(\dot{\hat{\varepsilon}})$ of the strain rate tensor $\dot{\hat{\varepsilon}}$ for the meso-element:

$$\dot{w}_v = \bar{\sigma}_H \dot{\hat{\varepsilon}}_k^k = \frac{1}{3\lambda} \left(\dot{\hat{\varepsilon}}_k^k \right)^2 = \frac{1}{3\lambda} I_1^2(\dot{\hat{\varepsilon}}) = \frac{1}{3\lambda} \left(\dot{\hat{\varepsilon}}_1^1 + \dot{\hat{\varepsilon}}_2^2 + \dot{\hat{\varepsilon}}_3^3 \right)^2, \quad (9)$$

where $\bar{\sigma}_H$ is the hydrostatic stress, $\dot{\hat{\varepsilon}}_k^k$ ($k = 1, 2, 3$) are the linear components of the tensor $\dot{\hat{\varepsilon}}$

The used correlation $\dot{\hat{\varepsilon}}_k^k = 3\dot{\lambda} \bar{\sigma}_H$ at the mesoscale corresponds to the Green yield condition [3]:

$$AI_2(\bar{\sigma}) + BI_1^2(\bar{\sigma}) = \tau_y^2, \quad (10)$$

where A, B are the material functions, $\bar{\sigma}$ is the stress tensor, $\hat{\sigma}$ is the deviatoric stress tensor; τ_y is the yield stress for the undamaged material (when $f = 0$).

The dilatation rate is associated with the Green yield condition:

$$\dot{\varepsilon}_{,k}^k = \frac{18B}{A} \frac{\sqrt{I_2(\dot{\hat{e}})}}{\sqrt{I_2(\hat{s})}} \hat{\sigma}_H = \frac{18B}{A} \dot{\lambda} \hat{\sigma}_H. \quad (11)$$

The meso-element energy density rate related to a change in the void shape is the linear function of the second invariant $I_2(\dot{\hat{e}})$ of the deviatoric strain rate tensor $\dot{\hat{e}}$ for the meso-element:

$$\dot{w}_{sh} = \hat{s}^{ij} \dot{\hat{e}}_{ij} = \frac{1}{\lambda} \dot{\hat{e}}_j^i \dot{\hat{e}}_i^j = \frac{2}{\lambda} I_2(\dot{\hat{e}}) = \frac{3}{2\lambda} \dot{\varepsilon}_{eq}^2, \quad (12)$$

where \hat{s}^{ij} , $\dot{\hat{e}}_{ij}$ are the components of the deviators \hat{s} and $\dot{\hat{e}}$.

Taking into account a requirement of the identical dimension with the plastic potential (22) we may express the damage potential as follows:

$$\Omega = \frac{1}{2\lambda} (\dot{w}_v + \dot{w}_{sh}) = \frac{1}{2\lambda^2} \left(\frac{1}{3} (\dot{\varepsilon}_{,k}^k)^2 + \dot{\varepsilon}_{,j}^i \dot{\varepsilon}_i^j \right). \quad (13)$$

The tensor \mathbf{Y} can be defined by the linear function of the strain rate tensor for meso-elements.

$$Y_{ij} = k_Y \frac{1}{\lambda} \dot{\hat{e}}_{ij}. \quad (14)$$

As a normalizing factor k_Y we may use the following integral quantity $\bar{\varepsilon}_f$ (to the moment t_f of macroscopic failure):

$$k_Y = \bar{\varepsilon}_f = \int_{t_f} \sqrt{6\lambda\Omega}^{1/2} dt = \int_{t_f} \left(\left(\frac{\dot{\varepsilon}_{,k}^k}{3} \right)^2 + \frac{9}{2} \dot{\varepsilon}_{eq}^2 \right)^{1/2} dt. \quad (15)$$

In view of Eqs. (14) and (15) Eq. (13) becomes:

$$\Omega = \frac{1}{\bar{\varepsilon}_f^2} \left(\frac{1}{6} (Y_{,k}^k)^2 + \frac{1}{2} \tilde{Y}_{,j}^i \tilde{Y}_{,i}^j \right) = \frac{1}{\bar{\varepsilon}_f^2} \left(\frac{1}{6} I_1^2(\mathbf{Y}) + I_2(\tilde{\mathbf{Y}}) \right), \quad (16)$$

where $Y_{,k}^k$ and \tilde{Y}_{ij} are the volumetric and deviatoric components of the tensor \mathbf{Y} .

The damage potential (17) and associated variable $Y_{ij} = (\dot{\hat{e}}_f / \dot{\lambda}) \dot{\hat{e}}_{ij}$, in view of Eq. (3)₃, defines the damage rate tensor $\dot{\omega}$:

$$\dot{\omega}_{ij} = \dot{\lambda} \frac{\partial \Omega}{\partial Y_{ij}} = \frac{\dot{\lambda}}{\bar{\varepsilon}_f^2} Y_{ij}, \quad (17)$$

A decomposition of the increments of the damage tensor $d\omega$ into a volumetric and a deviatoric part, $d\omega_{ij} = (1/3)\delta_{ij} d\omega_k^k + d\tilde{\omega}_{ij}$ (where $d\omega_k^k$ denotes the first invariant of the tensor $d\omega$ and δ_{ij} is the Kronecker delta), is physically meaningful. The volumetric part, $(1/3)\delta_{ij} d\omega_k^k$, describes the damage increment caused by a change in the volume of the void. The deviatoric increment, $d\tilde{\omega}_{ij}$, accounts for the increase in damage caused by a change in void shape. Such a view on damage kinetics enables us to introduce two damage measures, ω_1 and ω_2 , for damage assessment:

$$d\omega_1 = d\omega_k^k = \frac{\dot{\bar{\varepsilon}}_k^k}{\bar{\varepsilon}_f} dt, \quad d\omega_2 = \sqrt{3\tilde{\omega}_j^i \tilde{\omega}_i^j} dt = \frac{\sqrt{3\dot{\bar{\varepsilon}}_j^i \dot{\bar{\varepsilon}}_i^j}}{\bar{\varepsilon}_f} dt = \frac{3}{\sqrt{2}} \frac{\dot{\bar{\varepsilon}}_{eq}}{\bar{\varepsilon}_f} dt, \quad (18)$$

In view of Eqs. (19) the integral normalized measures of damage ($\omega_1, \omega_2 \in [0; 1]$) can be written as follows

$$\omega_1 = \int_t \frac{\dot{\bar{\varepsilon}}_k^k}{\bar{\varepsilon}_f} dt = \int_{\bar{\varepsilon}_k^k} \frac{d\bar{\varepsilon}_k^k}{\bar{\varepsilon}_f}, \quad \omega_2 = \int_t \frac{\sqrt{3\dot{\bar{\varepsilon}}_j^i \dot{\bar{\varepsilon}}_i^j}}{\bar{\varepsilon}_f} dt = \int_{\bar{\varepsilon}_{eq}} \frac{3\sqrt{2}}{\bar{\varepsilon}_f} d\bar{\varepsilon}_{eq}. \quad (19)$$

For an experimental study of the damage in terms of ω_1 and ω_2 it is convenient to define $\bar{\varepsilon}_k^k$ and $\bar{\varepsilon}_{eq}$ and their derivatives, *cf.*, Eqs. (19), as material functions of the equivalent deviatoric strain ε_{eq} of the RVE, *i.e.*:

$$\bar{\varepsilon}_k^k = \bar{\varepsilon}_k^k(\varepsilon_{eq}), \quad \dot{\bar{\varepsilon}}_k^k = \left[\bar{\varepsilon}_k^k(\varepsilon_{eq}) \right]' \frac{d\varepsilon_{eq}}{dt}, \quad \bar{\varepsilon}_{eq} = \bar{\varepsilon}_{eq}(\varepsilon_{eq}), \quad \dot{\bar{\varepsilon}}_{eq} = \left[\bar{\varepsilon}_{eq}(\varepsilon_{eq}) \right]' \frac{d\varepsilon_{eq}}{dt}, \quad (20)$$

where the dash refers to differentiation with respect to ε_{eq} .

The technique of how the strains of both meso-elements and the RVE (which contains these meso-elements) under complex loading can be determined is outlined. By substituting the material functions (20) into Eqs. (18) we may finally write:

$$d\omega_1 = \frac{\left[\bar{\varepsilon}_k^k(\varepsilon_{eq}) \right]'}{\bar{\varepsilon}_f} d\varepsilon_{eq}, \quad d\omega_2 = \frac{3}{\sqrt{2}} \frac{\left[\bar{\varepsilon}_{eq}(\varepsilon_{eq}) \right]'}{\bar{\varepsilon}_f} d\varepsilon_{eq}. \quad (21)$$

Thus, the damage tensor ω and two normalized measures ω_1 and ω_2 associated with its invariants describe both the possibility of macroscopic failure in the danger zone of deformed materials and the possibility of the onset of active void coalescence and formation of large cavities. These measures can be applied for the assessment of a quality of the meso-structure of metallic components produced by

forming procedures. It can be explained by the fact that a high-quality structure of the metal (without large cavernous defects and clusters) essentially improves an ability of components to withstand dynamic impact loads and also enhances their fatigue resistance.

References

1. Lemaitre, J. Engineering Damage Mechanics: Ductile, Creep, Fatigue and Brittle Failures / J. Lemaitre, R. Desmorat. – Springer, 2007.
2. Kachanov, L.M.: Fundamentals of the Theory of Plasticity / L.M. Kachanov. – Dover Publications, 2004.
3. Green, R. J. A plasticity theory for porous solids // Int. J. Mech. Sci. – 1972. – Vol. 14. – P. 215-224
4. Tutyshkin, N.D. Strain-induced damage of metals under large plastic deformation: Theoretical framework and experiments / N.D. Tutyshkin, W.H. Müller, R. Wille, M.A. Zapara // International Journal of Plasticity, 2014. – № 59. – P. 133–151.

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ФОРМУЛИРОВКЕ ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ СООТНОШЕНИЙ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ

Тутышкин Н.Д., Тришина Т.Ю.
ТулГУ, г. Тула, Россия

Традиционный макромеханический подход к проектированию и разработке процессов обработки давлением изделий с высокими эксплуатационными характеристиками не всегда соответствует предъявляемым требованиям. Успешное решение этой задачи требует использования связанного физико-механического подхода с прогнозированием макро- и мезоструктурных параметров обрабатываемых давлением материалов на основе современных положений теории пластичности и механики деформационной повреждаемости. Механика повреждаемости деформируемых материалов изучает закономерности поведения и надёжности деформируемых материалов с учётом кинетики их повреждаемости микродефектами. Экспериментальные исследования показывают, что эксплуатационные свойства деталей машин и аппаратов зависят не только от макромеханических, но и мезоструктурных параметров материала.

Принимается геометрическая модель макроэлемента со стохастическим распределением пор. На мезоуровне принимается геометрическая модель мезоэлемента, представляющего собой пору с материальной оболочкой. В связи

с представленными моделями, определяются деформации на макро- и мезоуровне. На макроуровне определяется степень деформации сдвига. На мезоуровне определяется объёмная деформация мезоэлементов.

Деформация материала в процессах пластического формоизменения металлов описывается системой уравнений, состоящей из уравнений равновесия, условия сплошности, уравнения поверхности текучести, условия градиентности скоростей деформации и кинетического уравнения деформационной повреждаемости. Принимается, что поверхность текучести описывается функцией текучести Мизеса, а также вводится интенсивность скоростей деформации сдвига.

В механике деформируемого твёрдого тела получило распространение представление о поврежденности, как величине ω описывающей накопление дефектов в процессе деформации. Деформационная повреждаемость металла приводит к пластическому разрыхлению его структуры. С моментом образования макротрещины связывается момент достижения критической величины пластического разрыхления. Предлагаемый подход к формулировке определяющих соотношений повреждаемости состоит в том, что модель макроэлемента со стохастическим распределением пор позволяет принять за меру повреждаемости модальную характеристику $\bar{\varepsilon}_{ii}$ объёмной деформации по отношению к N -совокупности мезоэлементов, заключённых в данном макроэлементе.

ГЕНЕЗИС КАРБОНАТКАЛЬЦИЕВЫХ ОТХОДОВ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКА

Уруев В.М., Алексеева К.Н., Соловьева И.Е., Шанина О.М.

ТулГУ, г. Тула, Россия

В работе дан анализ генезиса карбонаткальциевых отходов, образующихся на предприятиях по добыче и переработке мела и известняков, на заводах по производству цемента, минеральных удобрений, сахара, на сооружениях умягчения воды на ТЭЦ.

Ключевые слова: карбонаткальциевые отходы, микронаполнитель, пыль-уноса, кальцит.

По механизму процессов технологического генезиса, представленных в таблице, техногенные карбонатные продукты могут быть результатом физико-механического дробления и измельчения, а другие из них – результатом протекания обменных реакций и реакций разложения, процессов перекристаллизации, вымораживания, конверсии, коагуляции [1].

«Источник» карбонатных отходов	Агрегатное состояние	Механизм процессов технологического генезиса	Химико-минералогический состав	Объем образования, тыс. т/год
Предприятия по добыче и переработке мела и известняков	Зернистый и порошок материал	Физико-механическое дробление и измельчение	Кальцит с примесями карбоната магния, песка, глины	1220
Производство минеральных удобрений	Мелкокристаллический порошок увлажненный	Обменные реакции, реакции перекристаллизации, вымораживание	Кальцит с примесями аммиачной селитры и гидрофосфатов кальция	300
Сахарные заводы	Пульпа, тесто	Коагуляция, осаждение, карбонизация, кристаллизация	Кальцит с примесями гидроксида кальция, белков и солей органических и неорганических кислот	150
Цементный завод	Зерна и пыль-уноса	Физико-механическое удаление с частичным физико-химическим разложением	Кальцит с примесями биотита, КОН, NaOH, угля	75
Сооружения по умягчению воды на ТЭЦ	Пульпа, тесто	Обменные реакции, карбонизация	Смесь гидроксида кальция и карбоната кальция	Запасы не учтены

По генезису карбонатные отходы разделены на продукты, получаемые в результате:

- механических преобразований природного сырья;
- физико-химических процессов, происходящих при переработке природного сырья в целевые продукты;
- сочетания физических и химических процессов при длительном хранении отходов.

По агрегатному состоянию техногенные карбонаткальциевые отходы могут быть представлены в виде крупно-, мелкозернистых, пылевидных, увлажнённых и сухих порошкообразных материалов, а также в виде пасты (теста).

В процессе исследований выполнено детальное комплексное тестирование структурнозначимых физико-механических и физико-химических характеристик двух видов техногенных карбонаткальциевых отходов – так называемого конверсионного мела от производства минерального удобрения нитроаммофоски и пыли-уноса цементного производства.

Техногенный карбонаткальциевый отход производства нитроаммофоски по данным дисперсного ситового и седиментационного, химического, петрографического, рентгенофазового, дифференциально-термического, калориметрического анализов представлен в виде мелкодисперсных частиц размером

от 0,05 до 2,5 мм с удельной площадью поверхности до 700-800см²/г, истинной плотностью 2530 кг/м³, насыпной плотностью 1160 кг/м³, пористостью 54-55%, теплотой смачивания 5,8 кДж/кг. Результаты рентгенофазового, дифференциально-термического и электронномикроскопического анализов показали, что этот техногенный продукт имеет кальцитовую структуру.

Техногенный продукт цементного производства выступает в виде двух фракций уноса цементного производства с размерами частиц соответственно 1,25-0,63 и 0,64-0,14 мм, то есть зерна-уноса и пыли-уноса. Химический состав отхода цементного производства представлен в основном оксидами кальция (38-40%) и кремния (13-15%) с примесями оксидов калия и натрия (13-15%). Результаты физико-механического тестирования показали, что истинная плотность зёрен и пыли-уноса соответственно составляет 2660 и 3200 кг/м³, насыпная плотность – 920 и 960 кг/м³, удельная площадь поверхности 1900 и 2900см²/г, массовая доля активного *CaO* – 2,5 и 5,2%, теплота смачивания 2,8 кДж/кг. Минералогический состав пыли и зерна-уноса цементного производства по данным рентгенофазового, дифференциально-термического и электронномикроскопического методов представлен в виде мелких кристаллов кальцита ромбоэдрической формы с примесями биотита, чешуйчатых графитов, α -тридимита, гидроксидами калия и составляет 20-30% по массе.

Имея различные физико-механические и физико-химические свойства, отход производства нитроаммофоски и отход цементного производства являются мелкодисперсными, зернистыми и порошкообразными материалами, содержащими в своём химическом составе 70-90% карбоната кальция в форме кальцита.

Оба отхода, как установлено, не обладают вяжущими свойствами и, следовательно, могут рассматриваться только в качестве дополнительных компонентов в смесях с вяжущими веществами.

Библиографический список

1. Кукина, О.Б. Генезис техногенного карбоната кальция (отхода производства нитроаммофоски) и его идентификационные характеристики как сырьевого компонента для строительных материалов / О.Б. Кукина, О.Р. Сергуткина // Современные проблемы строительного материаловедения: Материалы Пятых Академических Чтений РААСН – Воронеж, 1999. – С. 241-244.
2. Чернышов, Е.М. Системная диагностика неорганических техногенных продуктов ЦЧР и направления их утилизации в технологиях строительных материалов / Е.М. Чернышов, Н.Д. Потамошнева, И.И. Грекова, О.Б. Кукина // Высокие технологии в экологии: Труды 3-ей Международной науч.-техн. конф. – Воронеж, 2000. – С. 316-323.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ КАРБОНАТНЫХ МИКРОНАПОЛНИТЕЛЕЙ

Уруев В.М., Алексеева К.Н., Соловьева И.Е., Шанина О.М.

ТулГУ, г. Тула, Россия

Применение бетонов в современном строительстве на основе минеральных вяжущих является основным решением проблемы обеспечения строительными материалами возведения зданий и сооружений различного назначения.

Мелкозернистый бетон, который представляется к исследованию в данной работе, является наиболее приемлемым для решения проблем масштабного строительства, так как не требует применения крупного заполнителя. Известно, что получение и применение крупного заполнителя для изготовления бетонов требует довольно больших капитальных затрат, включающих в себя горно-изыскательные работы, разработку карьеров, устройство дробильно-сортировочных цехов, транспортные расходы. В то время как мелкозернистый бетон может быть изготовлен на основе материалов местного происхождения, и кроме того с применением минеральных и органических отходов промышленности предприятий, расположенных в данном регионе.

Однако, применение в широком диапазоне отходов промышленных производств сдерживается из-за отсутствия, в достаточной мере, исследований по структуре и свойствам материалов, получаемых на основе композитов различного рода по структуре и исходным материалам.

Проблему изготовления мелкозернистого бетона на основе менее дорогостоящих материалов предлагается решить с помощью применения отходов переработки карбонатных пород. На основе изучения опыта, практики и исследований по данной тематике отечественного и зарубежного опыта было выявлено, что существующие технологические приёмы не в достаточной мере используют все потенциальные возможности карбонатных пород (известняков) с точки зрения их физико-технических свойств. Применение отходов в переработке известняков при производстве строительных изделий на основе определённых технологических приёмов, направленных на использование потенциальных возможностей данных отходов, приводит к получению определённого технико-экономического эффекта и в ряде случаев к решению экологических проблем. [1], [2].

Влияние известняка на свойства цементных растворов является частично физическим, а частично – химическим. Тонкодисперсный наполнитель заполняет пустоты между частичками клинкерных минералов и способствует формированию более плотного цементного камня. В присутствии известняка наблюдается увеличение скорости гидратации трёхкальциевого силиката. Это подтверждается данными оптической и сканирующей электронной микроскопии и результатами количественного рентгенофазового анализа содержания гидроксида кальция. Введение в цемент до 25% карбонатного наполнителя не

оказывает заметного влияния на удобоукладываемость цементных растворных смесей, однако в тонко измельчённых клинкерах может наблюдаться ускорение схватывания, вероятно вследствие образования гидрокарбоалюмината кальция – $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaCO_3 \cdot 11H_2O$. [3]

Качество цемента с добавками тонкомолотых карбонатных пород в основном зависит от количественного соотношения клинкера и добавок, тонкости помола компонентов, соотношения дисперсности частиц и равномерного их распределения в порошке. Добавка должна быть представлена крупными частицами, а портландцементный клинкер – мелкими и мельчайшими.

В присутствии карбонатов кальция наблюдается ускорение процесса гидратации клинкерных частиц смешанного цемента, так как при этом увеличивается водно-клинкерное отношение в системе и осуществляется отвод продуктов растворения из зоны реакции к поверхности частиц микронаполнителя. Прочность сцепления карбонатных частиц с матрицей цементного камня возрастает при их механо-химической обработке в активных механических измельчителях.

На основе выполненных исследовательских работ установлено, что применение карбонатных добавок в виде микронаполнителей способствует модификации их физико-механических свойств и, что немаловажно, придаёт цементному камню и бетону более светлый цвет.

Библиографический список

1. Касторных, Л.И. Добавки в бетоны и строительные растворы: учебно-справочное пособие / Л.И. Касторных. – Ростов н/Д.: Феникс, 2005. – 211 с.
2. Баженов, Ю.М. Технология бетона / Ю.М. Баженов. – М.: Изд-во АСВ, 2003. – 499 с.
3. Колбасов, В.М. «Свойства цемента с карбонатными добавками» / В.М. Колбасов, В.В. Тимашев // Цемент. – 1981. - № 10. – С10-12.

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЬНЫХ СИСТЕМ КОНТАКТНО-КОНДЕНСАЦИОННОГО И ГИДРАТАЦИОННОГО МЕХАНИЗМОВ ТВЕРДЕНИЯ С УЧАСТИЕМ КАРБОНАТКАЛЬЦИЕВЫХ ОТХОДОВ

Уруев В.М., Алексеева К.Н., Соловьева И.Е., Шанина О.М.
ТулГУ, г. Тула, Россия

Структурообразующая роль карбонаткальциевого отхода может оказаться многоплановой, и это создаёт основу для выбора и обоснования возможных направлений его утилизации при получении композиционных строительных материалов.

С учётом генезиса, физико-механических, физико-химических свойств техногенных карбонаткальциевых отходов и возможной их структурообразующей роли перспективным представляется получение известково-карбонатных

и цементно-карбонатных систем твердения. При этом в известково-карбонатных смесях может быть реализован механизм контактно-конденсационного структурообразования системы «портландит-кальцит»; в цементно-карбонатных – механизм гидратационного структурообразования при определённом вкладе фактора контактирования «гидросиликаты кальция-кальцит» и «гидроалюминаты кальция-кальцит».

При механическом сближении между частицами дисперсной системы стабильной и метастабильной кристаллической структуры, соответственно, $CaCO_3$ и $Ca(OH)_2$, $CaCO_3$ и гидросиликатами кальция, $CaCO_3$ и гидроалюминатами кальция возможно формирование контактно-конденсационных связей механохимического и физико-химического типов. В результате принудительного механического сближения частицы техногенного $CaCO_3$ могут срастаться с кристаллами портландита, гидросиликатами, гидроалюминатами кальция и давать прочный искусственный камень.

Установлено, что при реализации технологии прессования смеси кристаллов портландита и частиц техногенных карбонаткальциевых отходов возможно достижение твердого состояния непосредственно после формования без какой-либо тепловой обработки.

Прочность получаемого композиционного материала зависит от массовой доли компонентов в сырьевой смеси, от величины прессового давления и способа получения монокристаллов портландита. Зависимость прочности портландито-карбонатного искусственного камня от соотношения компонентов в сырьевой смеси имеет максимум прочности при доле $CaCO_3$ в составе смеси 30-40%. Такая доля частиц карбонатного компонента отвечает условию появления жесткого зернистого каркаса в композите.

При варьировании величины прессового давления от 20 до 150 МПа прочность меняется от 1 до 11 МПа, имея максимум при 80-100 МПа.

В ходе испытаний искусственного камня, в котором на долю конверсионного мела приходилось 30-40% по массе при средней влажности формовочной смеси 11-12% и давлении 100 МПа достигалась прочность образцов 9-11 МПа, если применялись кристаллы портландита с состоянием, отвечающим теплоте смачивания 55,7 кДж/кг. Отношение прочности при сжатии в водонасыщенном состоянии к начальной прочности при сжатии составило 0,82. Это говорит о том, что прочность материала определяется возникшими связями физико-химического порядка, а не силами капиллярного стяжения. Максимальная начальная прочность при сжатии образцов, сформированных из конверсионного $CaCO_3$ и монокристаллов $Ca(OH)_2$, имеющих теплоту смачивания 39,9 кДж/кг, составляет 7-8 МПа; отношение прочности при сжатии в водонасыщенном состоянии к начальной прочности при сжатии составило 0,53.

Зависимость прочности искусственного камня с использованием пыли-уноса от состава имеет также нелинейный характер с максимумом до 12 МПа при доле $CaCO_3$ в составе 30-40%, влажности сырьевой смеси 10-12% и прессовом давлении 80-100 МПа.

Для портландито-карбонатной системы с оптимальным соотношением индивидуальных кристаллов портландита и конверсионного мела осуществлено определение влажности смеси рациональных значений, обеспечивающей максимальное значение предела прочности при сжатии искусственного камня.

Методом электронной микроскопии определено, что портландито-карбонатный композит слагается из частиц размером около 0,3 мкм; встречаются кристаллические сростки – массивы в виде «друз» с совместными плоскостями кристаллизации портландита и ромбоэдров кальцита.

Таким образом, портландито-карбонатный искусственный камень при плотности 1530-1570 кг/м³ может иметь значения предела прочности при сжатии непосредственно после прессования композита 8-12 МПа. Это достаточно для определенной номенклатуры и «ниши» мелкоштучных строительных изделий – кирпича, перегородочных плит, отделочных плиток.

В ходе исследований установлено, что при формировании цемента с карбонаткальциевыми отходами при прессовых давлениях от 20 до 150 МПа, влажности сырьевой смеси от 5 до 15%, массовой доле конверсионного мела или пыли-уноса от 20 до 60% непосредственно после прессования обеспечивается предел прочности при сжатии 2-15 МПа; к 28 суткам нормального твердения прочность нарастает до значений 30-90 МПа. Коэффициент размягчения прессованных цементно-карбонатных систем может достигать величины 0,8 и более. Менее водостойкими оказались образцы, имевшие в составе до 50-60% пыли-уноса. По данным рентгенофазового, дифференциально-термического, электронномикроскопического анализов установлено, что после 28 суток твердения в нормальных температурно-влажностных условиях в прессованных цементно-карбонатных образцах отмечаются гидросиликаты, гидроалюминаты кальция; наблюдается нарастание шестигранных пластинчатых кристаллов портландита, гидросиликатов и гидроалюминатов кальция на ромбоэдрических кристаллах кальцита с образованием сростков в виде друз размером 0,3-0,6 мкм.

Величина значений предела прочности при сжатии прессованных цементно-карбонатных систем после 28 суток твердения, результаты структурных исследований указывают на то, что в этих системах преобладающим является гидратационный механизм твердения; при этом определённы контакты формируются по механизму эпитаксии.

Исследования вибрированных наполненных цементных систем показали, что отход производства нитроаммофоски и пыль-уноса могут использоваться в качестве разбавителя цементов, так как полученные «разбавленные» цементы обладают достаточно высокой прочностью. Добавка конверсионного мела и пыли-уноса в цемент может доводиться до 30% и даже до 50%. При этом предел прочности при сжатии цементного камня через 28 суток твердения в нормальных температурно-влажностных условиях может составлять не менее 30-35 МПа. Эти цементы могут рассматриваться в качестве исходных смесей для получения, например, поризованных материалов.

Библиографический список

1. Кукина, О.Б. Генезис техногенного карбоната кальция (отхода производства нитроаммофоски) и его идентификационные характеристики как сырьевого компонента для строительных материалов / О.Б. Кукина, О.Р. Сергуткина // Современные проблемы строительного материаловедения: Материалы Пятых Академических Чтений РААСН – Воронеж, 1999. – С. 241-244.

2. Чернышов, Е.М. Системная диагностика неорганических техногенных продуктов ЦЧР и направления их утилизации в технологиях строительных материалов / Е.М. Чернышов, Н.Д. Потамошнева, И.И. Грекова, О.Б. Кукина // Высокие технологии в экологии: Труды 3-ей Межд. науч.-техн. конф. – Воронеж, 2000. – С.316-323.

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛЬНОГО
И ТОЧНОГО РЕШЕНИЙ БАЛКИ ОДНОГО КЛАССА КОНСТРУКЦИЙ**

Федоров М.В., Казаков Д.И.
СГТУ, г. Саратов, Россия

Для того чтобы убедиться в эффективности вариационного моделирования, рассмотрены две балки (натура и модель), которые относятся к одному классу балочных конструкций, но могут отличаться по группам подобных конструкций, то есть условия подобия могут строго не выполняться даже по наиболее ожидаемым величинам.

Чтобы исключить влияние различных "экспериментальных помех", анализ метода сделаем с помощью теоретических расчетов.

Допустим, что балки на концевых опорах имеют шарнирное опирание и несут нагрузку, изменяющуюся по синусоидальному закону. Нетрудно показать, что работа таких балок будет описываться дифференциальным уравнением при граничных условиях (шарнирное опирание).

Точные решения этого уравнения для природы и модели зависят от прогиба. Подставляя это решение в выражения для напряжений получим выражения, соответствующие точному решению для природы, где w масштаб приближенного подобия, подлежащий определению; индексы «м» и «н» указывают, что соответствующие величины относятся к натуре и модели. Масштаб подобия w может определять вид функции W^* , W^* , σ_* , τ_* - искомые функции.

Сравнивая модельное решение с точными решениями, убеждаемся, что решения, полученные с помощью вариационного моделирования, полностью совпали с точными решениями. Очевидно, что процедура по определению оценок с помощью общих выражений будет совпадать с точными оценками.

Библиографический список

1. Кирпичев, М.В. Теория подобия / М.В. Кирпичев. – М.: АН СССР, 1953. – С. 91.

2. Клайн, С.Д. Подобие и приближенные методы / С.Д. Клайн. – М.: Мир, 1968. – С. 302.

3. Архипов, В.Н. О приведение размерных уравнений к безразмерному виду / В.Н. Архипов // Исследования напряженного состояния железобетонных силосных сооружений, Саратов, 1976. – № 5. С. 3-13.

4. Снарский, С.В., Мингазова А.С., Федоров М.В. Вариационные модели балочных конструкций / С.В. Снарский, А.С. Мингазова, М.В. Федоров. // Эффективные строительные конструкции теория и практика. XIV Межд. науч.-техн. конф. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2014. – С. 162-167.

РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ПЛАТФОРМЫ МАЧТЫ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКИ

Федоров М.В., Мирзоян И.П.
СГТУ, г. Саратов, Россия

Выполнен расчет мачты для заданной массы. Высота мачты $H = 10$ м. Масса антенны $M_a = 80$ кг. Диаметр антенны $D_a = 750$ мм. Число антенн $n = 2$. Высота основания мачты от земли $H_z = 30$ м. Сечение мачты – равносторонний треугольник со стороной $a = 1080$ мм. Основание мачты – равносторонний треугольник со стороной $a_1 = 1530$ мм. Раскосы – 13 алюминиевых труб наружным диаметром $d = 40$ мм на каждой грани треугольной призмы мачты. Угол наклона оттяжки к горизонту $B = 62^\circ 21'$. Число оттяжек 3, которые расположены в плане с шагом через 120°. Диаметр троса оттяжки $d_{отт} = 9,2$ мм. Площадь сечения троса по наружному диаметру $F_{тр} = 31,9$ мм². Ø болтов (ГОСТ 22356 – 77), крепящих мачту к основанию $d = 20$ мм. Наименьшее временное сопротивление болта $R = 1100$ Н/мм² = 110 кг/мм² = 1100 МПа.

Использована следующая расчетная схема подъема мачты. Перед подъемом свободный конец грани мачты, лежащей на подставках, поднимается домкратом на 1,5 м. Начальный угол при подъеме вершины мачты равен $\alpha_0 = 8^\circ 38'$. Высота подъема вершины мачты H при повороте мачты на угол α от горизонта составляет 2,83 м. При использовании для подъема мачты подвижного блока (полиспаста), усилие натяжения троса уменьшится в два раза. При начальной высоте подъема нижней грани мачты $H_{нач} = 1,5$ м усилие натяжения троса составит $T_0 = T_{max} = 16$ кН. Изменение величина до $T_0 = T_{max} = 13,7$ кН. Подъем мачты должен выполняться в безветренную погоду. Выполнен расчет прочности болтов, крепящих мачту к платформе, который проводим по следующей схеме.

Из условия равенства опрокидывающего ветрового момента $M_B = 114$ кНм и момента, создаваемого реакцией крепежного высокопрочного болта М 20, находим растягивающее усилие в болте. Расчетное усилие высокопрочного болта равно 270 кН. При эксплуатации мачты оттяжки работают совместно с болтами, крепящими основание. Наиболее опасным является направление ветра в плоскости, образованной мачтой и одной из оттяжек. В этом случае на

дополнительное растяжение работает одна оттяжка и один болт крепления основания мачты. Принимаем за расчетное усилие $T = 55,0$ кН.

Устойчивость платформы при действии ветровой нагрузки. Опрокидывающий ветровой момент равен $M_0 = 114$ кНм. Платформа состоит из 8 швеллеров N18, длиной 6 м каждый. Погонный вес швеллера – 16,3 кг/м (163 Н/м). Общий вес швеллеров равен 7,82 кН. Общий вес платформы $G_{пл} = 7,82 + 5,09 = 12,91$ кН. Уравновешивающий момент от действия веса равен $M_{ур} = 12,91 \times 3 = 38,7$ кНм. Таким образом, равновесия опрокидывающего ветрового момента и компенсирующего момента от веса платформы с мачтой нет: $M_{ур} = 38,7$ кНм $<$ $M_в = 114$ кНм. Для компенсации ветрового момента необходимо дополнительное закрепление платформы. Это закрепление осуществляется 4 болтами М 20 за плиты покрытия. Все соединения платформы с плитами покрытия выполнены через промежуточную стойку из швеллера № 18.

Вывод. Общая длина сварных швов, крепящих каждую анкерную стойку, должна быть не менее 450 мм. Подъем мачты осуществлять в безветренную погоду. Изменение усилие натяжения троса при начальной высоте подъема нижней грани мачты приведено в табл.1. Монтажное натяжение оттяжек $T_{монт} = 8,3$ кН. Рабочее усилие на анкер 55,0 кН (5,5 т). Анкеры оттяжек можно крепить к закладной детали толщиной равной толщине стены и длиной 0,5 м. Все расчеты выполнены в запас прочности. Рекомендуется использовать предложенную методику для оценки напряженного состояния неинвентарных узлов и деталей решетчатой алюминиевой мачты типа MAP.

Библиографический список

1. СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия. – М.: Госстрой России, 2005. – 86 с.
2. СНиП II-23-81*. Стальные конструкции. – М.: Стройиздат, 1990. – 93 с.
3. Савицкий, Г.А. Основы расчета радиомачт / Г.А. Савицкий. – М.: Связь-издат, 1978. – 216 с.

АЛГОРИТМ УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПОЛОГОЙ ОБОЛОЧКИ

Федоров М.В., Пуд М.Г.
СГТУ, г. Саратов, Россия

Работа посвящена мониторингу напряженно-деформированного состояния пологих оболочек, материал которых испытывает простое нагружение в рамках теории А.А. Ильюшина.

Для исследования процессов малоциклового упруго-пластического деформирования конструкций используется либо инкрементальный подход, либо конечные соотношения между напряжениями и деформациями.

Соотношения деформаций теории пластичности, пригодные для случая циклического нагружения получены, используя принцип Мазинга, обобщенный В.В.Москвитиным. Значение интенсивности напряжений в n -ном цикле

равно удвоенному значению интенсивности напряжений при первом нагружении, соответствующей половине значения интенсивности деформаций на диаграмме деформирования первого нагружения.

Полученные соотношения интенсивности напряжений на n -ном цикле учитывают обобщенную теорему В.В. Москвитина об упруго-пластической разгрузке. Приняты гипотезы Кирхгофа-Лява. Получены уравнения колебания оболочки в смешанной форме. Для решения уравнений использованы граничные и начальные условия.

Анализ процесса деформирования во времени использует шаговый метод интегрирования. Напряженно-деформированное состояние оболочки рассчитывается для ряда последовательных шагов по времени Δt , величина которых подбирается из условия устойчивости и сходимости вычислительного процесса.

В данном случае условия динамического равновесия соблюдаются в отдельные моменты времени, соответствующие началу и концу шага. Нарушением условия динамического равновесия между этими моментами пренебрегаем. Жесткостные характеристики находятся в каждом из узлов конечно-разностной сетки по плану оболочки. Рассмотрена задача расчета пологих оболочек на прямоугольном плане при циклическом деформировании. В процессе расчета исследовано распределение полей пластических деформаций по объему конструкции и их изменения в отдельные моменты времени.

Библиографический список

1. Вольмир, А.С. Нелинейная динамика пластин и оболочек / А.С. Вольмир. – М.: Наука, 1972. – 432 с.
2. Федоров, М.В. Анализ упруго-пластических деформаций конструкций при ударном нагружении / М.В. Федоров // Проблемы прочности элементов конструкций под действием нагрузок и рабочих сред. Меж. вузовский научный сборник. – Саратов, 2014. – С. 63-69.

КОЛЕБАНИЯ ГИБКОЙ ПЛАСТИНКИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ИМПУЛЬСНОЙ НАГРУЗКИ

Федоров М.В., Тимохин В.А.
СГТУ, г. Саратов, Россия

Получены соотношения, описывающие колебания гибкой прямоугольной пластинки из упруго-пластического материала под действием поперечной равномерно распределенной импульсной нагрузки q .

Принята гипотеза прямых нормалей – деформации малы, а углы поворота большие. Тогда геометрические соотношения относительных деформаций произвольной точки суммируются из относительных деформаций и деформации сдвига в произвольной точке на расстоянии z от срединной поверхности и слагаемого из произведения кривизн точек срединной поверхности пластинки на координаты произвольной точки.

Использована деформационная теория пластичности А.А. Ильюшина с учетом несжимаемости материала. Связь между интенсивностью касательных напряжений принята в виде степенной или билинейной зависимости.

Подставив усилия и моменты, выраженные через перемещения u , v , w , получены уравнения изгибных колебаний гибкой прямоугольной пластинки в перемещениях для случая активного нагружения. Для интегрирования уравнений колебаний пластинки в перемещениях необходимо учитывать граничные условия ряда типов опирания (жесткая заделка, скользящая заделка, шарнирно-подвижная опора).

Получены уравнения упругих колебаний пластинки при разгрузке. Для варианта, когда во время колебаний напряжения не превышают предела текучести $\Gamma < \Gamma_s$, разгрузка происходит по тем же участкам кривых деформирования, что и нагрузка, и поэтому колебания пластинки описываются уравнениями упругих колебаний пластинки для случая активного упруго-пластического нагружения. Данная модель позволяет оценить колебания упруго-пластической пластинки для своего уровня поперечной равномерно распределенной импульсной нагрузки.

Рассмотрены два примера диаграммы деформирования материала – с линейным и нелинейным упрочнением материала. Модель оценить напряженно-деформированное состояние для упруго-пластического деформирования материала гибкой пластинки при нестационарном внешнем давлении.

Библиографический список

1. Москвитин, В.В. Пластичность при переменных нагрузениях / В.В. Москвитин. – М.: Изд-во. МГУ, 1965. –262 с.
2. Федоров, М.В. Анализ деформаций упруго-пластической пластинки / М.В. Федоров, Г.Р. Муртазина, А.Д. Шаклина // Эффективные строительные конструкции: Теория и практика: сборник статей XIV Международная научно-техническая конференция. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2014. –С. 157-162.

ВАРИАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БАЛОЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Федоров М.В., Шкуратенюк М.В.
СГТУ, г. Саратов, Россия

Вариационные методы моделирования позволяют получить безразмерные уравнения, которые могут содержать все определяющие критерии подобия. В ряде случаев приходится обращаться к приближенному (вариационному) моделированию. Необходимость изучения основ приближенного моделирования на физических моделях может быть перенесена и на моделирование с помощью теоретических моделей, то есть когда натурная конструкция исследуется теоретически с помощью её расчётной схемы-модели.

Для этого случая моделирования величины, входящие в условия однозначности для природы, имеют случайный характер, а величины, входящие в условия однозначности для модели, имеют детерминированный характер. Нетрудно прийти к выводу, что решение можно искать в таком виде, что масштаб приближенного подобия, подлежащий определению. Очевидно, что если эта величина будет найдена, то можно определить (с принятой точностью) искомый результат для природы.

Для установления масштабов приближенного подобия предлагается использовать вариационное исчисление. Рассмотрен класс балочных конструкций, лежащих на обобщённом упругом основании. Определён вид случайных величин, оговорены граничные условия, принят соответствующий данному классу энергетический функционал. Из этого функционала получим интегральное уравнение. Вместо одной функции рассмотрим сумму двух функций. Натурная балочная конструкция имеет величины, входящие в условия однозначности, случайные, а модель - детерминированные.

Подобие для природы и модели в этом случае определяется условиями подобия. Приближенное моделирование можно применить и в этом случае, когда по тем или иным техническим причинам полностью или частично строго не выполняются. Рассмотренное моделирование конструкций в общем случае является приближенным и позволяет: до опыта предсказать, какие можно ожидать погрешности искомых величин в зависимости от тех или иных определяющих критериев подобия.

Библиографический список

1. Архипов, В.Н. Приближенное моделирование пластин с учётом случайных явлений В.Н. Архипов // Известия ВУЗ, Строительство и архитектура, 1976. № 2. – С. 66-70.
2. Еремин, А.П., Федоров М.В. Исследование моделей резервуаров на стадии планирования эксперимента / А.П. Еремин, М.В. Федоров // Совершенствование методов расчёта строительных конструкций и технологии строительства. Меж. Вузовский науч. сборник. – Саратов, 2013. С. 16-23.

О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ СОДЕРЖАНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ «СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ»

Чигинский Д.С., Васильев Н.В.
ТулГУ, г. Тула, Россия

Целью освоения дисциплины «САПР строительных конструкций», согласно рабочей программе учебной дисциплины (РПУД), читаемой на кафедре «ССМиК», является приобретение и освоение студентами современных информационных технологий, применяемых в системах автоматизированного проектирования (САПР) строительных объектов и систем. Задачей, согласно

указанной РПУД, является теоретическая и практическая подготовка студентов в области использования подсистем САПР строительных конструкций на примере программного комплекса SCAD Office [1].

Студентам в рамках контрольно-курсовых работ (ККР) и контрольных работ заочников (КРз) предлагалось выполнить расчет и проектирование конструкций одноэтажного промышленного здания в двух вариантах исполнения, с целью закрепления и обобщения методов компьютерного проектирования строительных конструкций. Вопросы, поставленные для проработки, включали: создание расчётной схемы, сбор нагрузок, выполнение статического расчёта, проверку и подбор сечений элементов стального и железобетонного каркасов средствами САПР.

В рамках учебного процесса по дисциплине «САПР СК» авторами был отмечен ряд особенностей восприятия студентами предложенного материала. Так, например, наблюдалась слабая увязка положений строительных норм и правил с результатами расчётов, выполненных посредством программ SCAD, Vest, Арбат, Кристалл и пр. Поэтому, для последующих учебных занятий, можно рекомендовать студентам, кроме программного решения поставленных задач подбора и проверки сечений элементов конструкций, выполнять самостоятельные ручные вычисления для сопоставления и проверки результатов, полученных программным способом, с целью установления логических междисциплинарных связей.

Кроме того, учитывая многообразие современного программного обеспечения в развитии уровня подготовки студентов, можно рекомендовать расширить спектр программных комплексов для преподавания и сравнения результатов расчётов. Так, например, аналогичные расчётно-конструкторские задачи позволяют решать такие программные продукты, использующие в своей основе метод конечных элементов, как ЛИРА-САПР [2] и Autodesk Robot Structural Analysis в связке с Autodesk Revit, причём последние доступны для студентов и преподавателей в полноценных версиях бесплатно [3].

Библиографический список

1. SCAD Office. – Режим доступа: <http://scadsoft.com>, свободный (15.06.2015)
2. ЛИРА-САПР. – Режим доступа: <http://liraland.ru>, свободный (15.06.2015)
3. Autodesk. Образование. – Режим доступа: <http://www.autodesk.ru/education>, свободный (15.06.2015)

КОМПЛЕКС КОНСТРУКТИВНЫХ ПРОТИВОКАРСТОВЫХ МЕРОПРИЯТИЙ НА ОСНОВЕ ПСПК СИСТЕМЫ «МАРХИ»

Чигинский Д. С., Ходорович П. Ю.
ТулГУ, г. Тула, Россия

Карстовые процессы существенно осложняют строительство и эксплуатацию зданий и сооружений. Например, закарстованные территории занимают

около одной четверти общей площади Нижегородской области [1]. Согласно п. 7.4.3. указанных норм, при проектировании зданий и сооружений, в качестве варианта конструктивных противокарстовых мероприятий, следует применять увеличение пространственной жесткости здания. Однако, для одноэтажных промышленных или складских каркасных зданий, влечёт за собой существенные финансовые затраты, что побуждает заказчиков и проектные организации искать конструктивные решения, с одной стороны, обеспечивающие требуемый уровень противокарстовой защиты, а с другой стороны, оптимизировать капиталовложения.

Вариантом решения указанной задачи может служить применение пространственной перекрёстно-стержневой конструкции системы «МАРХИ». Структурные покрытия являются многократно статически неопределимыми системами с большим количеством элементов, что обеспечивает высокую надежность и «живучесть» данного типа конструкций. Кроме того, следует отметить пространственность работы системы и возможность перекрытия больших пролетов [2], что позволяет допустить следующий комплекс противокарстовых мероприятий:

- укрупнённая сетка колонн принимается более удвоенного диаметра карстовой воронки, что позволяет существенно понизить вероятность её возникновения вблизи несущих конструкций каркаса;

- узел опирания ПСПК системы «МАРХИ» на колонну строится таким образом, чтобы вертикальное перемещение передавалось только в одной направлении (односторонняя связь) в совокупности с системой автоматической сигнализации о карстовой активности (сигнализация о разъединении указанной связи);

- жёсткое защемление колонн в столбчатом фундаменте, позволяющее обеспечить пространственную жёсткость каркаса.

Данный комплекс мероприятий позволяет снизить капитальные затраты за счёт низкой металлоёмкости структурного покрытия системы «МАРХИ» и оптимизированной конструкции фундаментов, при этом обеспечить требуемый уровень противокарстовой защиты.

Библиографический список

1. ТСН 22-308-98 «Инженерные изыскания, проектирование, строительство и эксплуатация зданий и сооружений на закарстованных территориях Нижегородской области». – Нижний Новгород, 1999.

2. Рекомендации по проектированию структурных конструкций. – М.: ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР, 1984.

3. ТУ 5285-001-47543297-09 «Стержни и узловые элементы системы МАРХИ». – М., 2009.

О ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ПЕРЕКРЕСТНО-СТЕРЖНЕВОЙ КОНСТРУКЦИИ СИСТЕМЫ «МАРХИ» ПЛАВАТЕЛЬНОГО БАССЕЙНА В ПОС. ЖАТАЙ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)

Чигинский Д. С., Шерешевский М. Б.
ТулГУ, г. Тула, Россия

Пространственная перекрестно-стержневая конструкция (структура) системы МАРХИ плавательного бассейна в п. Жатай Республики Саха (Якутия) запроектирована в координационных осях 1–6/В–Г и предназначена для покрытия одноэтажной части здания.

В основе геометрического построения указанной конструкции лежит пирамида на квадратном основании (тетраэдр). Пирамиды состоят из трубчатых элементов диаметром от 51 до 102 мм с толщиной стенок от 3 до 3,5 мм, выполняемых из стали марки 09Г2С-12 по ГОСТ 19281-2014. Для соединения указанных элементов в пространственную систему служат сферические и полусферические узловые элементы, позволяющие прикрепить, в общем случае, до 8 и до 12 стержней, соответственно. Узловой элемент имеет отверстия с резьбой в направлении всех сходящихся стержневых элементов.

ОпираНИЕ структурного покрытия осуществляется защемлением опорных баз структуры в фундаментах. Структурные покрытия являются многократно статически неопределимыми системами с большим количеством элементов, что обеспечивает высокую надежность и живучесть данного типа конструкций.

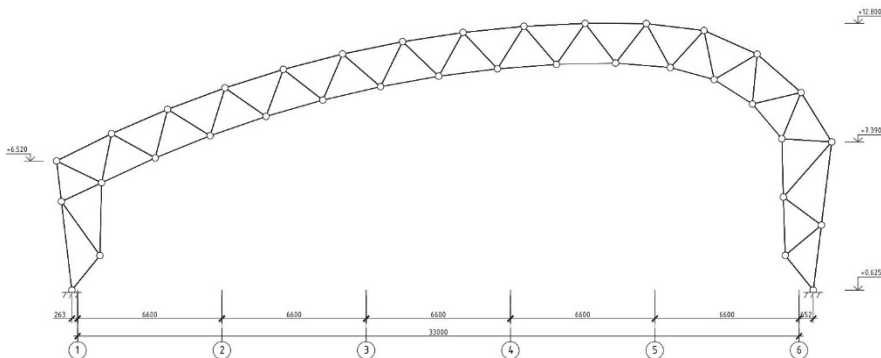


Рис. 1. Разрез по структуре

Наружные ограждающие конструкции закрепляются на систему фахверков и прогонов, для стеновых и кровельных элементов ограждения, соответственно.

Требования унификации стержневых элементов приводят к тому, что некоторые из стержней структуры способны воспринимать усилия большие, чем

возникающие в них от расчетных нагрузок. В сочетании со способностью статически неопределимых систем к перераспределению усилий это фактически приводит к запасу несущей способности структурной конструкции.

Обоснованием применения структурного покрытия также являлись: повышенная надежность от внезапных разрушений; максимальная унификация узлов и стержневых элементов; поточное изготовление металлических конструкций на высокопроизводительных технологических линиях; снижение затрат на транспорт и возможность доставки в отдаленные и труднодоступные места; возможность использования совершенных методов монтажа-сборки на земле и подъема покрытия крупным блоком.

Конструктивные элементы, решения узлов и детали здания подбирались посредством расчётов на расчётные нагрузки [1], в соответствии с действующими строительными нормами [2] и техническими условиями [4].

Исходные данные, в части нагрузок и воздействия, были следующие: вес снегового покрова на поверхности земли – 1,2 кПа (II снег. р-н), нормативное ветровое давление – 0,23 кПа (I ветр. р-н), температура воздуха наиболее холодных суток обеспеченностью 0,98 – минус 59 °С, климатический район по ГОСТ 16350-80 – очень холодный (I₁).

Определение усилий в стержнях и подбор сечений производился с помощью современных программных комплексов конечно-элементного анализа (например, SCAD).

Запроектированная конструкция обладает следующими макрогеометрическими параметрами: высота структуры – 12,2 м, площадь в осях – 33х13,2 = 435,6 кв.м. и состоит из 890 монтажных элементов, в том числе 199 узловых и 691 стержневых элементов. По результатам унификации длин и сечений труб принято 18 позиций нетиповых узловых элементов и 34 позиции нетиповых стержневых элементов. Общая масса структуры составила 9947 кг, что соответствует металлоёмкости 22,84 кг/кв.м.

Учитывая климатические особенности и условия эксплуатации, в проекте заложены требования о климатическом исполнении конструкции – ХЛ по ГОСТ 15150-69* и выполнении антикоррозийного покрытия в соответствии с требованиями [3].

Разработанная структура системы МАРХИ позволила реализовать заложенный архитекторами эстетический образ здания и соблюсти строительные требования прочности и жёсткости при обеспечении эффективного уровня металлоёмкости несущей стальной конструкции.

Библиографический список

1. СП 16.13330.2011 «Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*». – М., 2011.
2. СП 20.13330.2011 «Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*». – М., 2011.
3. СП 28.13330.2012 «Защита строительных конструкций от коррозии. Актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85*». – М., 2012.

4. ТУ 5285-001-47543297-09 «Стержни и узловые элементы системы МАРХИ». – М., 2009.

РАСЧЕТ ЗАМКНУТОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ НА ТАНГЕНЦИАЛЬНУЮ СОСРЕДОТОЧЕННУЮ НАГРУЗКУ

Шагивалеев К.Ф., Сурнина Е.К., Васильцов С.В.
СГТУ, г. Саратов, Россия

Рассмотрена замкнутая цилиндрическая оболочка с шарнирными креплениями по концам. Оболочка находится под действием тангенциальной сосредоточенной нагрузки F (рис. 1)

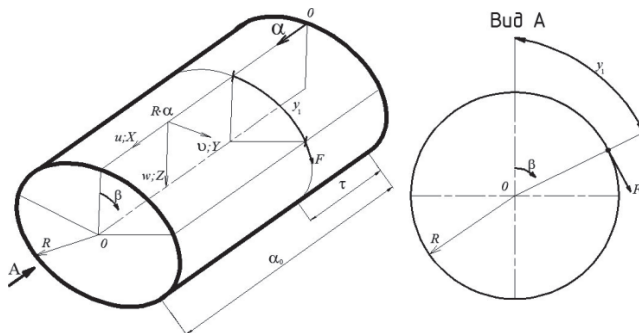


Рис.1

Разложим рассматриваемую нагрузку в тригонометрический ряд по переменной β . Будем иметь:

$$Y(\alpha, \beta) = \begin{cases} 0; & \text{при } 0 \leq \alpha < \tau; \\ \frac{F}{\pi R} \sum_{n=1}^{\infty} \sin n e_1 \sin n \beta & ; \text{при } \tau \leq \alpha \leq \alpha_1 + \tau; \\ 0; & \text{при } \alpha_1 + \tau < \alpha \leq \alpha_0, \end{cases} \quad (1)$$

где $e_1 = \frac{y_1}{R}$.

Используя решения, приведенные в работе [1], получены аналитические выражения для определения перемещений, усилий и моментов.

Библиографический список

1. Шагивалеев, К.Ф. Расчёт замкнутой цилиндрической оболочки по приближенной теории на нагрузку, действующую в тангенциальном направлении / К.Ф. Шагивалеев, Е.К. Сурнина, С.В. Васильцов // Проблемы прочности элементов конструкций под действием нагрузок и рабочих сред: сб. науч. трудов. – Саратов: Изд-во СГТУ, 2012. – С. 31-34.

РАСЧЕТ ЗАМКНУТОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ НА НАГРУЗКУ, СОСРЕДОТОЧЕННУЮ В КОЛЬЦЕВОМ НАПРАВЛЕНИИ И РАВНОМЕРНО РАСПРЕДЕЛЕННУЮ ВДОЛЬ ОБРАЗУЮЩЕЙ

Шагивалеев К.Ф., Сурнина Е.К., Пшенов А.А.
СГТУ, г. Саратов, Россия

Рассмотрена замкнутая цилиндрическая оболочка, имеющая на одном конце жесткое закрепление, а на другом – свободный конец. Оболочка находится под действием нагрузки p , сосредоточенной в кольцевом направлении и равномерно распределенной вдоль одной образующей (рис. 1).

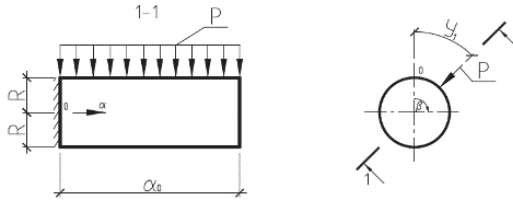


Рис. 1

Аналитические выражения для перемещений, усилий и моментов для рассматриваемого случая приведены в работе [1].

В качестве примера рассмотрена оболочка со следующими геометрическими параметрами:

1. Длина оболочки $L=30$ м, радиус $R=3$ м, $\alpha_0=L/R=10$, толщина стенки $h=0,16$ м, коэффициент Пуассона $\nu=0,2$.
2. Длина оболочки $L=30$ м, радиус $R=6$ м, $\alpha_0=L/R=5$, толщина стенки $h=0,24$ м, коэффициент Пуассона $\nu=0,2$.

Результаты расчётов приведены в таблице (значения необходимо умножить на p/E).

	Радиальные перемещения в различных точках вдоль образующих $\beta = 0$ и $\beta = \pi$											
	$\frac{\alpha_0}{12}$	$\frac{2\alpha_0}{12}$	$\frac{3\alpha_0}{12}$	$\frac{4\alpha_0}{12}$	$\frac{5\alpha_0}{12}$	$\frac{6\alpha_0}{12}$	$\frac{7\alpha_0}{12}$	$\frac{8\alpha_0}{12}$	$\frac{9\alpha_0}{12}$	$\frac{10\alpha_0}{12}$	$\frac{11\alpha_0}{12}$	α_0
$R=3$	$\frac{490,7}{-7,1}$	$\frac{1298}{-479}$	$\frac{2240}{-134}$	$\frac{3244}{-284}$	$\frac{4273}{-526}$	$\frac{5304}{-880}$	$\frac{6323}{-1345}$	$\frac{7326}{-1903}$	$\frac{8313}{-2528}$	$\frac{9286}{-3196}$	$\frac{10253}{-3884}$	$\frac{11216}{-4579}$
$R=6$	$\frac{308}{37,3}$	$\frac{791}{134}$	$\frac{1365}{288}$	$\frac{1972}{497}$	$\frac{2597}{754}$	$\frac{3231}{1055}$	$\frac{3866}{1395}$	$\frac{4499}{1767}$	$\frac{5129}{2164}$	$\frac{5757}{2576}$	$\frac{6383}{2995}$	$\frac{7008}{3417}$

Библиографический список

1. Шагивалеев, К.Ф. Расчёт замкнутой цилиндрической оболочки на локальные и сосредоточенные нагрузки / К. Ф. Шагивалеев. –Саратов: Изд-во СГТУ, 2011. – 316 с.

РАСЧЕТ ПОЛОГИХ АНИЗОТРОПНЫХ ОБОЛОЧЕК ИЗ АНИЗОТРОПНЫХ РАЗНОСОПРОТИВЛЯЮЩИХСЯ МАТЕРИАЛОВ

Шерешевский М.Б., Трещев А.А., Теличко В.Г.

ТулГУ, г. Тула, Россия

Решение прикладных задач механики деформируемого твердого тела требует постоянного совершенствования методик расчета. Решение данной задачи невозможно без параллельного совершенствования применяемых определяющих соотношений, достаточно надежно описывающих процессы деформирования новейших конструкционных материалов, обладающих «усложненными» механическими свойствами. Характеристики подобных материалов проявляют повышенную чувствительность к виду и количественным параметрам напряженного состояния. К таким материалам относят керамику, стеклопластики, различные типы конструкционных графитов, ряд полимерных материалов и подавляющее большинство композитов различной природы.

Перечисленные особенности деформирования материалов и конструкций, особенно с учетом геометрически нелинейного деформирования, можно учесть только с использованием современных апробированных теорий и достижений в области механики деформируемого твердого тела.

Для решения поставленной задачи авторами на основе геометрических соотношений Т. фон Кармана и физических определяющих соотношений, предложенных в работе А.А. Трещева [1], получены разрешающие уравнения в инкрементальной форме, позволяющей достаточно просто учесть нелинейность двоякой природы, возникающую при одновременном учете физических и геометрических нелинейностей. Эффективный метод решения подобных задач предложен в работе В.В. Петрова [2].

Чтобы проиллюстрировать проделанную авторами работу, была рассмотрена задача об оценке напряженно-деформированного состояния пологой оболочки вращения. Задача решалась со следующими параметрами: оболочка принималась жестко опертой по контуру опирания, загруженной равномерно распределенной нагрузкой интенсивностью 125 кПа, диаметр оболочки 1200 мм, высота стрелы подъема 180 мм, толщина оболочки 75 мм, Материал оболочки – ортотропный графит АТJ-S [1]. Проведено сравнение результатов, полученных для нескольких различных теорий: А.А. Трещева [1], классической теории анизотропии, а также результатами, основанными на определяющих соотношениях С.А. Амбарцумяна [3] и Р.М. Джонса-Д.А.Р. Нельсона [4]. Показано, что использование предлагаемой модели для исследования НДС оболочек из анизотропных материалов позволяет существенно повысить точность расчетов.

Библиографический список

1. Трещев, А. А. Теория деформирования и прочности материалов, чувствительных к виду напряженного состояния. Определяющие соотношения: монография / А. А. Трещев // РААСН, ТулГУ. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2008. – 264 с.
2. Петров, В.В. Построение инкрементальных соотношений для физически нелинейного материала с развивающейся неоднородностью / В.В. Петров // Проблемы прочности элементов конструкций под действием нагрузок и рабочих сред. – Саратов: Сарат. ун-т, 2005. – С. 138-143.
3. Амбарцумян, С.А. Основные уравнения и соотношения разномодульной теории упругости анизотропного тела / С.А. Амбарцумян // Изв. АН СССР. МТТ. – 1969. – № 3. – С. 51-61.
4. Jones, R.M. Modeling Nonlinear Deformation of Carbon-Carbon Composite Materials / R.M. Jones // AIAA Journal. – 1980. – Vol. 18. – № 8. – P. 995-1001.

КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕОРИЙ АДГЕЗИИ

Ярцев В.П., Ерофеев А.В.
ТГТУ, г. Тамбов, Россия

Под адгезией понимается поверхностное явление, которое заключается в возникновении при контакте поверхностей двух разных тел механической прочности [1]. Следовательно, явление адгезии лежит в основе образования прочного контакта между подложкой (твердое тело) и адгезивом (клеящий агент).

К настоящему моменту времени накопилось несколько теорий адгезии, каждая из которых разрабатывалась для объяснения результатов, полученных в ходе проведения тех или иных экспериментов [2].

Согласно механической или микрореологической теории адгезии, разработанной Мак-Беном, адгезия осуществляется за счет затекания адгезива в поры или трещины, располагающиеся на поверхности подложки, где и происходит его затвердевание. При этом адгезив связывается с подложкой путем механического заклинивания. С увеличением площади контакта прочность адгезионного соединения растет.

Таким образом, пористость подложки и прочность пленки адгезива определяют прочность адгезионного соединения. Положение теории о механическом сцеплении адгезива и подложки не вызывает сомнений. Однако механическая теория не объясняет адгезию тел с гладкими поверхностями и не учитывает физико-химическую природу адгезива и подложки.

Адсорбционная или молекулярная теория адгезии, разработанная Дебройном и Мак-Лареном, утверждает, что адгезия осуществляется за счет межмолекулярных сил. Таким образом, молекулярная теория считает, что для высокой прочности адгезионного соединения подложка и адгезив должны обладать

полярными функциональными группами. На практике адгезия между слабополярными и неполярными полимерами также возможна. Этот факт говорит о том, что положения молекулярной теории полностью не объясняют природу адгезии.

Химическая теория адгезии считает, что адгезия является результатом химического взаимодействия подложки и адгезива. Однако выделить адгезионную составляющую, которая реализуется за счет образования химических связей между компонентами адгезионного соединения, не представляется возможным.

Согласно электрической теории адгезии, разработанной Деревягиным и Кротовой, адгезия реализуется за счет контактной электризации, которая имеет место при тесном соприкосновении компонентов адгезионного соединения. Основоположники электрической теории считают, что между подложкой и адгезивом возникает разность потенциалов. Однако наблюдать электрические явления при разрушении адгезионного соединения представляется возможным только при определенных условиях проведения эксперимента.

Согласно диффузионной теории адгезии, разработанной Воюцким для объяснения адгезии полимеров, адгезия реализуется за счет диффузии макромолекул или их сегментов одного полимера в другой с образованием прочной связи между ними. При этом происходит исчезновение границ раздела, а адгезия затрагивает не только поверхность раздела, но и широкие прилегающие слои. Последние экспериментальные данные говорят о необходимости рассмотрения процессов, происходящих вблизи межфазной границы компонентов адгезионного соединения.

Согласно теории слабых граничных слоев, разработанной Бикерманом, в зоне контакта компонентов адгезионного соединения образуются так называемые «слабые» граничные слои, определяющие прочность адгезионного соединения. Причем физико-механические свойства этих слоев отличаются от свойств подложки и адгезива. Минусом данной теории является то, что она почти не принимает во внимание химическую структуру адгезива.

Ни одна из рассмотренных теорий не отражает полную картину явления адгезии, т.е. на практике необходимо учитывать положения разных теорий.

Библиографический список

1. Берлин, А. А Основы адгезии полимеров / А. А. Берлин, В. Е. Басин. – М.: Химия, 1974. – 391 с.
2. Новикова, С. И. Тепловое расширение твердых тел / С.И. Новикова. – Издательство «Наука», Москва, 1974. – 294 с.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Адылов А.М., Кривошеин И.В.</i> Устойчивость гибких линейно упругих пологих арок	5
<i>Александрова О.В.</i> Применение рециклинговой воды в бетонах	6
<i>Аннина О.Г., Курилко О.Ю.</i> Долговечность нелинейно деформируемых пологих оболочек	7
<i>Башиев Д.И., Хохряков О.В., Хозин В.Г.</i> Цементы низкой водопотребности. Технология и экологическая перспектива	8
<i>Баикатов А.В., Теличко В.Г., Гречишкин Е.А.</i> Моделирование НДС железобетонных конструкций с учетом кинетики агрессивных сред	9
<i>Белов В.В., Али Р.А., Новиченкова Т.Б.</i> Оптимизация структуры связующей матрицы газобетона с использованием карбонатного наполнителя	11
<i>Белов В.В., Куляев П.В., Куделя Н.Н.</i> Использование карбонатного наполнителя для повышения трещиностойкости мелкозернистых бетонов	12
<i>Богатина А.Ю., Моргун Л.В.</i> Погонажные изделия из пенобетона	13
<i>Булдыжова Е.Н., Гальцева Н.А.</i> Сухие строительные смеси на основе многофазового гипсового вяжущего	14
<i>Володин В.П., Надиров Э.Р.</i> Исследование процесса нагружения пологих цилиндрических панелей	15
<i>Габриелян Г.С., Овчинников И.Г.</i> Анализ применимости различных конструктивных решений дорожных одежд для ремонта мостового полотна моста через Волгу в г. Саратове	16
<i>Гальцева Н.А., Булдыжова Е.Н.</i> Использование синтетического ангидрита сульфата кальция для приготовления закладочных смесей	17
<i>Гараников В.В.</i> Экспериментальное исследование ползучести при повышенной температуре	18
<i>Губарева Н.В.</i> Простейшие модели вязко-упругих тел. Модель Максвелла	20
<i>Делягин М.Ю., Трещёв А.А., Теличко В.Г.</i> Связанная задача термоупругости нелинейных разнсопротивляющихся материалов для квадратной оболочки положительной гауссовой кривизны ...	21

<i>Дорожкина Е.А.</i> Основные положения проектирования зеленых крыш.....	22
<i>Елсуфьева М.С.</i> Технологические возможности повышения трещиностойкости сталефибробетонов.....	22
<i>Ерофеев А.В.</i> Архитектурно-строительное материаловедение. Компетенции магистра.....	25
<i>Женжурист И.А.</i> Реакция природных силикатов, активированных тонкодисперсным алюминием и содержащими модификаторы, на электромагнитное поле СВЧ.....	26
<i>Загородникова М.А.</i> Учет климатических воздействий при оценке физических и механических свойств кровельных мембран на основе поливинилхлорида.....	27
<i>Зиборов Л.А., Теличко В.Г.</i> О прочности бетона В30 в сложном напряженном состоянии.....	28
<i>Зорин Д.А.</i> Размолоспособность расширяющихся добавок.....	31
<i>Зубчанинов В.Г., Алексеева Е.Г.</i> О влиянии кривизны траекторий в процессе сложного упруго- пластического деформирования на запаздывание свойств материалов.....	32
<i>Ильченко Е.Д.</i> О возможности применения теории многослойных пластин слабого сдвига к расчету дорожных одежд на пролетных строениях мостовых сооружений.....	33
<i>Иноземцев В.К., Дуничев С.С.</i> Бифуркационный критерий устойчивости системы «высотный объект – упруго-пластический слой основания».....	34
<i>Иноземцев В.К., Дуничев С.С.</i> Высотный объект за гранью устойчивости.....	35
<i>Иноземцев В.К., Иноземцева О.В.</i> К расчету общей устойчивости высотного сооружения на упруго-пластическом слое основания.....	38
<i>Иноземцев В.К., Иноземцева О.В.</i> Высотный объект на деформируемом основании в закритической области деформирования.....	40
<i>Ким А.Ю.</i> Расчет линзообразных мембранно-пневматических систем шаговыми методами.....	41

<i>Ким А.Ю.</i> Перспективы применения пневматических сооружений в условиях современной России	42
<i>Ким А.Ю., Полников С.В.</i> Коррозия в стальных канатах, усиливающих мягкую оболочку пневматических сооружений	43
<i>Клиндух Н.Ю., Мезенцев В.В., Винтер А.В.</i> Анализ состояния подпорных стен в г. Красноярске. Современные технологии строительства подпорных стен	44
<i>Козырева Л. В., Забазнов В.В.</i> Современный подход к проектированию мостового перехода	45
<i>Козырева Л.В., Муравьев Д.Ю.</i> Современный подход к проектированию пешеходных мостов	46
<i>Косицков Ю.Г., Новиченкова Т.Б.</i> О проблеме выбора материалов для производства бетонных смесей различного назначения	47
<i>Кривошеин И.В., Адылов А.М.</i> Устойчивость геометрически и физически нелинейных пологих арок	48
<i>Кривошеин И.В., Адылов А.М.</i> Исследование НДС пологих арок из нелинейно деформируемого материала	49
<i>Кривошеин И.В., Савочкин А.А.</i> Метод расчета нелинейно деформируемых балок с локальными повреждениями	50
<i>Кривошеин И.В., Савочкин А.А.</i> О расчете балок с локальными повреждениями на сплошном упругом основании	51
<i>Кузнецов О.Р.</i> Две расчётные модели для прямых замкнутых призматических оболочек ...	52
<i>Кузнецов О.Р., Лукачёва Е.И.</i> Некоторые проблемы, возникающие при учёте деформации контура в расчётах призматических оболочек	53
<i>Кузнецов О.Р., Малахов Р.А.</i> Некоторые результаты экспериментальных исследований НДС оболочки с деформированным контуром для резиновых образцов	55
<i>Кузнецов О.Р., Никифорова А.А.</i> Экспериментальные исследования НДС прямых стальных кессонов при кручении	56
<i>Кузнецов О.Р., Парменов С.В.</i> Влияние учёта продольной деформации элементов, составляющих контур, на НДС оболочки	57

<i>Кузнецов О.Р., Решетникова А.А.</i> Влияние различным образом приложенной нагрузки на НДС оболочки	58
<i>Ларсен О.А.</i> Экологические проблемы применения наноматериалов в строительстве	59
<i>Ларсен О.А., Решетнева П.А.</i> Наноглины и их применение в строительстве	60
<i>Леонов В.М.</i> Магнитно-импульсная обработка металлов – характеристики процесса.....	61
<i>Малинин В.Г., Бурдин Ю.А., Дементьев Н.С., Перельгин А.И.</i> Влияние фазового состава сплава NI-50%TI на диаграммы изотермического растяжения	63
<i>Малинин В.Г., Бурдин Ю.А., Дементьев Н.С., Перельгин А.И.</i> Циклическая память формы сплава NI-50%TI при сложном напряженном состоянии	64
<i>Малинин В.Г., Малинина Н.А., Димов А.А.</i> Методика экспериментальных исследований структурно-механических Характеристик стальных пластин с концентраторами	65
<i>Малинин В.Г., Малинина Н.А., Мавлюбердинов Д.В.</i> Установка для исследования поведения материалов в условиях высокого гидростатического давления и сложного напряженного состояния	66
<i>Малинин В.Г.</i> Моделирование процесса термомеханического соединения из материалов с обратимыми мартенситными превращениями	67
<i>Мамонтов С.А.</i> Тепловое старение и долговечность ДСП	68
<i>Марчук Н.И., Прасоленко Е.В., Палагушкин В.И.</i> Оптимальное проектирование конструкций на базе ПК ANSYS.....	69
<i>Моргун В.Н.</i> Влияние температуры воды затворения на тепловыделение в пенобетонных смесях	70
<i>Моргун Л.В.</i> О газодерживающих свойствах фибропенобетонных смесей	71
<i>Наумов И.А., Гречишкин Е.А.</i> Исследование процессов пластического деформирования с учетом дилатансии материала.....	72
<i>Нигаматова О.И.</i> Методика оценки технического состояния с применением нечеткого моделирования.....	73

<i>Нигаматова О.И.</i> Применение автоматизированных баз данных для управления состоянием мостовых сооружений	75
<i>Овчаренко А.Ю.</i> О механике разрушения в строительной отрасли	77
<i>Овчинников И.Г., Кокодеев А.В.</i> Самонапряженные конструкции «тенсегрити» в мостостроении	80
<i>Охлопков Н.Л., Нигоматулин Ф.В.</i> Исследование влияния истории докритического нагружения на упруго-пластическую устойчивость круговых цилиндрических оболочек	81
<i>Охлопков Н.Л., Черемных С.В.</i> Устойчивость круговых цилиндрических упруго-пластических оболочек при сложных процессах комбинированного деформирования	83
<i>Палагушкин В.И., Мезенцев В.В., Хованский М.Е., Беличенко М.Ю., Дроздов В.А., Коробейников А.С.</i> Регулирование НДС конструкций с использованием персональных электронно-вычислительных машин	84
<i>Петров В.В., Мищенко Р.В., Пименов Д.А.</i> Влияние качества аппроксимирующих функций на главную часть решения пологих оболочек	85
<i>Петров В.В., Мищенко Р.В., Пименов Д.А.</i> Улучшение качества аппроксимирующих функций на главную часть решения пологих оболочек	86
<i>Прохорова А.В., Сычева Т.Н.</i> Применение различных теорий при оценке прочности древесины	91
<i>Прудков Е.Н., Семкина А.А., Соловьева И.Е.</i> Способы повышения коррозионной стойкости бетонов	92
<i>Прудков Е.Н., Скоркин М.Е., Шанина О.М.</i> Модифицирование высокопрочного мелкозернистого бетона добавками	93
<i>Пишенов А.А., Зобкова Н.В., Федотов А.В.</i> Некоторые вопросы теплозащиты реконструируемых зданий	94
<i>Романов В.М.</i> Влияние повреждаемости материала на длительную прочность пластин при действии растягивающей нагрузки	95
<i>Рябов Г.Г., Агальцов Н.С., Соловьева И.Е., Шанина О.М.</i> Рациональный способ вторичного использования отработанного асфальтобетона	96
<i>Рябов Г.Г., Ашихмин А.А.</i> Исследования влияния комплексной добавки на прочностные свойства керамики	97

<i>Рябов Г.Г., Сигарев А.М., Соловьева И.Е., Шанина О.М.</i> Жароупорная бетонная смесь на основе техногенных отходов	97
<i>Селиванов Ф.С., Непряхин Р.А.</i> Особенности деформируемости основания при его увлажнении	98
<i>Селиванов Ф.С., Самышина В.А.</i> Оценка напряженно-деформируемого состояния плиты на нелинейно-деформируемом основании	100
<i>Селиванов Ф.С., Самышина В.А.</i> Оценка напряженно-деформируемого состояния оболочки на нелинейно-деформируемом основании	102
<i>Селиванов Ф.С., Синева Н.Ф., Никитюк М.А.</i> Математическая модель деформирования плит на слоистом основании с локальной неоднородностью	103
<i>Селиванов Ф.С., Синева Н.Ф., Ошменский А.С.</i> Модель деформирования плит на нелинейном неоднородном основании	105
<i>Селиванов Ф.С., Синева Н.Ф., Ошменский А.С.</i> Расчет ступенчато-неоднородной оболочки, взаимодействующей с двухслойным основанием	107
<i>Селиванов Ф.С., Синева Н.Ф., Кузнецова А.В.</i> Расчет ступенчато-неоднородной оболочки, заглубленной в основание, при его увлажнении	108
<i>Селиванов Ф.С., Чубаров Д.Е.</i> Расчет ступенчато-неоднородной оболочки на нелинейно-деформируемом основании	110
<i>Семёнов П.К., Поляков Ю.А.</i> Расчёт регулярной системы нелинейно-упругих перекрёстных балок вариационными интеракциями в сочетании с методом двойной аппроксимации	112
<i>Семенов П.К., Федотов А.В.</i> Построение математической модели деформирования и разрушения нелинейно-упругих пластин, взаимодействующих с температурным полем	113
<i>Семенов П.К., Шаклина А.Д.</i> О решении интегро-дифференциальных уравнений задач расчета нелинейно-упругих плит методом вариационных итераций в сочетании с методом двойной аппроксимации	115
<i>Семёнов П.К., Шаклина А.Д.</i> Дифференциальное уравнение взаимодействия нелинейно-упругих плит с нелинейным неоднородным основанием	116

<i>Сергеева С.Б., Трещев А.А., Ильин И.В.</i> Влияние водородосодержащей среды на напряженно-деформированное состояние круглых пластин из титановых сплавов.....	117
<i>Синева Н.Ф., Селиванов Ф.С., Ирхина А.В.</i> Оценка деформирования конструкции, взаимодействующей с основанием с локальной неоднородностью	118
<i>Спаская М.В., Трещев А.А.</i> Влияние температурного воздействия на НДС полой сферической оболочки из ортотропного разносопротивляющегося материала.....	120
<i>Спаская М.В., Трещев А.А.</i> Влияние разносопротивляемости материала и температурного воздействия на НДС круговой цилиндрической ортотропной оболочки	121
<i>Сурнин А.А., Сурнина Е.К., Сабаев Р.М.</i> Особенности исследования строительных конструкций зданий в условиях существующей застройки.....	123
<i>Сурнин А.А., Сурнина Е.К., Сабаев Р.М.</i> Особенности определения несущей способности металлических Конструкций на объектах историко-культурного наследия	124
<i>Сурнин А.А., Сурнина Е.К., Сабаев Р.М.</i> Специфика обеспечения эксплуатационной надежности зданий и сооружений на опасных производственных объектах	125
<i>Теличко В.Г., Ходорович П.Ю.</i> К расчету грунтовых оснований с помощью МКЭ.....	126
<i>Теличко В.Г., Ходорович П.Ю., Кораблин И.М.</i> Расчет цилиндрических оболочек покрытий из разносопротивляющихся материалов	127
<i>Теличко Г.Н.</i> Параметрическое моделирование в среде САПР	129
<i>Толеков М. А., Овчинников И.Г.</i> Анализ предлагаемых проектных решений транспортных переходов через Керченский пролив	131
<i>Трещев А.А., Башкатов А.В., Уваров Е.А.</i> Поперечный упруго-пластический изгиб прямоугольных пластин, эксплуатируемых в условиях агрессивной среды при больших прогибах ...	132
<i>Трещев А.А., Захарова И.А., Злобин С.Ф.</i> Деформирование полой оболочки положительной гауссовой кривизны прямоугольной в плане из материалов, свойства которых зависят от вида напряженного состояния при ползучести	133
<i>Трещев А.А., Морозова А.В., Симин В.В.</i> Плоское напряженное состояние для пластинки с двумя параллельными эллиптическими отверстиями, выполненной из ортотропных материалов ..	135

<i>Трецев А.А., Неделин А.В., Машкин А.Н.</i> Трещины поперечного сдвига в ортотропных материалах с нелинейно меняющимися свойствами, находящихся в условиях плоской деформации	136
<i>Трецёв А.А., Теличко В.Г., Чигинский Д.С.</i> Моделирование напряженно-деформированного состояния пустотных плит новой конструкции с учетом нелинейных физических свойств и разрушения материала	137
<i>Трецёв А.А., Теличко В.Г., Чигинский Д.С.</i> Применение обобщённой теории деформирования многослойных пластин средней толщины к расчету пустотных плит безопалубочного формования.....	138
<i>Трецёв А.А., Чигинский Д.С., Баикатов А.В.</i> Предварительно напряжённые пустотные плиты новой конструкции безопалубочного формования, армированные проволокой класса ВР1400 .	139
<i>Трофимов В.И., Пупенин К.И., Михайлов А.И.</i> Повышение трещиностойкости дорожного бетона включением многоанкерной фибры	140
<i>Трофимов В.И., Смелянский И.В., Пупенин К.И., Сергеев Н.И., Попков В.С.</i> Повышение устойчивости дорожных насыпей при использовании некондиционных грунтов	141
<i>Tutyshkin N.D., Müller W.H., Wille R.</i> Constitutive equations of a tensorial model for ductile damage of metals.....	143
<i>Тутьишкин Н.Д., Тришина Т.Ю.</i> Физико-механический подход к формулировке определяющих соотношений повреждаемости	148
<i>Уруев В.М., Алексеева К.Н., Соловьева И.Е., Шанина О.М.</i> Генезис карбонаткальциевых отходов и их характеристика	149
<i>Уруев В.М., Алексеева К.Н., Соловьева И.Е., Шанина О.М.</i> Исследование мелкозернистых бетонов с применением карбонатных микронаполнителей	152
<i>Уруев В.М., Алексеева К.Н., Соловьева И.Е., Шанина О.М.</i> Исследование модельных систем контактно-конденсационного и гидратационного механизмов твердения с участием карбонаткальциевых отходов.....	153
<i>Федоров М.В., Казаков Д.И.</i> Сравнительный анализ модельного и точного решений балки одного класса конструкций	156
<i>Федоров М.В., Мирзоян И.П.</i> Расчет устойчивости платформы мачты под действием ветровой нагрузки	157

<i>Федоров М.В., Пуд М.Г.</i> Алгоритм упруго-пластического деформирования пологой оболочки.....	158
<i>Федоров М.В., Тимохин В.А.</i> Колебания гибкой пластинки под действием импульсной нагрузки	159
<i>Федоров М.В., Шкуратенюк М.В.</i> Вариационное моделирование балочных конструкций	160
<i>Чигинский Д.С., Васильев Н.В.</i> О совершенствовании содержания дисциплины «системы автоматизированного проектирования строительных конструкций»	161
<i>Чигинский Д. С., Ходорович П. Ю.</i> Комплекс конструктивных противокарстовых мероприятий на основе пспк системы «МАРХИ»	162
<i>Чигинский Д. С., Шерешевский М. Б.</i> О пространственной перекрестно-стержневой конструкции системы «МАРХИ» плавательного бассейна в пос. Жатай республики Саха (Якутия).....	164
<i>Шагивалеев К.Ф., Сурнина Е.К., Васильцов С.В.</i> Расчет замкнутой цилиндрической оболочки на тангенциальную сосредоточенную нагрузку.....	166
<i>Шагивалеев К.Ф., Сурнина Е.К., Пшенов А.А.</i> Расчет замкнутой цилиндрической оболочки на нагрузку, сосредоточенную в кольцевом направлении и равномерно распределенную вдоль образующей.....	167
<i>Шерешевский М.Б., Трецев А.А., Теличко В.Г.</i> Расчет пологих анизотропных оболочек из анизотропных разносопротивляющихся материалов	168
<i>Ярцев В.П., Ерофеев А.В.</i> Классификация теорий адгезии	169

Научное издание

Сборник материалов XVI Международной
научно-технической конференции
«Актуальные проблемы строительства,
строительной индустрии и промышленности»
(30 июня – 3 июля 2015 г.)

Авторское редактирование

Изд. лиц. ЛР № 020300 от 12.02.97. Подписано в печать 01.07.15

Формат бумаги 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная

Усл. печ. л 10,5. Уч.-изд. л. 9,0

Тираж 100 экз. Заказ №

Тульский государственный университет

300012, г. Тула, просп. Ленина, 92

Отпечатано в Издательстве ТулГУ

300012, г. Тула, Пр. Ленина, 95