



Министерство образования и науки РФ  
Российская академия архитектуры и строительных наук  
Администрация Тульской области и г. Тулы  
ООО «Тульский завод ЖБИ»  
Тульский государственный университет  
Кафедра «Строительство, строительные материалы  
и конструкции»

# **СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ**

**ХII Международной  
научно-технической конференции  
«Актуальные проблемы строительства  
и строительной индустрии»  
(30 июня – 2 июля 2011 г.)**



**ТУЛА  
2011**

В настоящем сборнике опубликованы материалы, представленные участниками ХII Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы строительства и строительной индустрии» (Тульский государственный университет, 30 июня – 2 июля 2011 года, г. Тула).

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

#### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Баранова Т.И. – чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф., ПГУАС (г. Пенза)

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

#### ОРГКОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

##### Председатель:

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

##### Зам. председателя:

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

##### Члены оргкомитета:

Лигай С.Е. – зам. главы г. Тулы,

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

#### ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

##### Сопредседатели:

Карпенко Н.И. – академик РААСН, д.т.н., профессор (РААСН);

Петров В.В. – академик РААСН, д.т.н., профессор (СГТУ);

Баранова Т.И. – чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф., ПГУАС (г. Пенза)

##### Члены программного комитета:

Бобрышев А.Н. – чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф., ПГУАС (г. Пенза)

Белов В.В. – д.т.н., проф. ТверьГТУ (г. Тверь)

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

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

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

Неделин А.В. – ООО «Тульский завод ЖБИ», к.т.н., зав. филиалом кафедры ССМиК ТулГУ (г. Тула)

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИСПЕРСНЫХ СТРУКТУР, ОБРАЗОВАННЫХ В РЕЗУЛЬТАТЕ КАПИЛЛЯРНОГО СЦЕПЛЕНИЯ ЧАСТИЦ

Белов В.В., Образцов И.В.  
*ТверьГТУ, г. Тверь, Россия*

Структура материала не остается неизменной, «застывшей». В пространстве и во времени она непрерывно претерпевает изменения. Этому, в частности, способствуют постоянное движение элементарных частиц, атомов, молекул, взаимодействие материала с окружающей средой. Помимо рассмотренных выше видов взаимодействий и соответствующих структур необходимо выделить такие важные взаимодействия, как капиллярные, проявляющиеся в трехфазных (твердое – жидкость – газ) дисперсных системах, к которым относится подавляющее большинство сырьевых (бетонных, растворов, силикатных и т.п.) смесей для изготовления строительных материалов [1]. Например, сила, «склеивающая» увлажненные песчинки средних размеров, примерно в 200 раз больше силы тяжести, их разрывающей. При уменьшении размера частиц это соотношение очень резко возрастает. Чем меньше размеры частиц, тем сильнее они слипаются одна с другой и прилипают к различным поверхностям. У крупных песчинок есть некий «критический размер», после превышения которого капиллярные силы перестают превалировать над силами тяжести. Расчеты дают значение «критического» радиуса частицы примерно 0,6 мм [2].

Для построения геометрической модели объемной ячеисто-глобулярной структуры использовали язык программирования Blitz3D с возможностью трехмерной визуализации. Основой алгоритма послужило условие, исключающее пересечение поверхностей объектов в трехмерном пространстве.

Порядок построения модели:

1. Появление 1-го шарика в центре системы координат.
2. Появление  $i$ -го шарика вблизи поверхности существующего по случайному выбору. Координаты нового шарика задаются случайными в сферической системе координат. Таким образом строится цепочечная структура трехмерных объектов. Основным условием появления нового объекта является условие, исключающее пересечение поверхностей шариков. Для этого рассчитываются расстояния между центрами шариков. Для двух трехмерных тел с координатами  $X_1, Y_1, Z_1$  и  $X_2, Y_2, Z_2$ , расстояние  $L_{1-2}$  между их центрами определяется по формуле:

$$L_{1-2} = \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2 + (Z_1 - Z_2)^2}.$$

Исходя из вычисленных расстояний между центрами шариков и величин их радиусов, формулируется условие отсутствия пересечений поверхностей шариков: «Если расстояние между центром вновь созданного шарика и цен-

тром ранее возникшего  $L_{1-2}$  меньше суммы их радиусов  $R_1 + R_2$ , то происходит новая генерация случайных координат текущего объекта».

При сближении мелких шариков с крупными рассчитываются расстояния от каждого мелкого шарика до каждого крупного, и для сближения выбирается минимальное. Таким образом, мелкий шарик притягивается к ближайшему крупному. Рассчитываются расстояния между крупными шариками и происходит их взаимное отдаление на расстояние двух мелких шариков в зазоре.

Рассчитываются расстояния между «налипшими» мелкими шариками и другими крупными, после чего происходит скольжение мелких шариков по поверхности крупного в сторону ближайших крупных. Таким образом, мелкие шарiki размещаются в зазорах между крупными шариками, тем самым имитируя образование арочных структур.

Полученная трехмерная модель отражает принцип капиллярного взаимодействия частиц.

#### Библиографический список

1. Белов В.В. Капиллярное структурообразование сырьевых композиций на основе минеральных вяжущих веществ // «ALIFORM» Международное аналитическое обозрение. 2010. № 6. С. 63-75.
2. Шишлова А. Песок сухой, влажный и звучащий // Наука и жизнь. 1999. № 6. С. 32-36.

### **ВЛИЯНИЕ МНОГОКРАТНОГО ЗАМОРАЖИВАНИЯ-ОТТАИВАНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ ДРЕВЕСНОВОЛОКНИСТЫХ ПЛИТ**

Белякова Д.С., Киселева О.А.  
*ТГТУ, г. Тамбов, Россия*

В процессе эксплуатации в реальных условиях материалы, как правило, подвергаются воздействию знакопеременных температур. При этом, адсорбированная в порах вода замерзает, вызывая внутренние напряжения в материале. Многократное попеременное замораживание-оттаивание приводит к снижению эксплуатационных характеристик строительных материалов, а также может являться причиной их разрушения.

Испытания проводились на образцах древесноволокнистых плит. Перед замораживанием образцы замачивались в воде в течение 1 ч, выдерживались на морозе до полного их промерзания, а затем оттаивали и высушивали. После заданного числа циклов замораживания-оттаивания испытывались при поперечном изгибе.

После воздействия многократного замораживания – оттаивания наблюдается падение прочности древесноволокнистых плит. Наиболее интенсивно процесс протекает в первые 5 циклов. При этом теряется до 41 % прочности.

При последующем действии фактора падение прочности происходит медленнее.

Проследим как меняется влажность древесноволокнистых плит. Влажность образцов фиксировали после их высушивания. После первые 10 циклов замораживания-оттаивания влажность ДВП увеличивается на 13%, затем наступает стабилизация процесса.

Увеличение влажности, говорит о том, что при замачивании в течении первых 10 циклов влага проникала в стенки клеток древесных волокон, что в свою очередь негативно сказывается и на прочности материала. При дальнейшем воздействии фактора снижение прочности ДВП вызвано возникновением дефектов, образовавшихся в результате разрыва связей наполнитель-полимер.

## **К РАСЧЕТУ ГИБКИХ СЛОИСТЫХ ПЛАСТИН ИЗ АНИЗОТРОПНЫХ, РАЗНОСОПРОТИВЛЯЮЩИХСЯ МАТЕРИАЛОВ**

Васильев Н.В.

*ТулГУ, г. Тула, Россия*

В строительстве и других отраслях промышленности в настоящее время получили широкое применение конструкционные материалы, механические свойства которых не соответствуют классическим представлениям об упругопластическом деформировании твердых тел. Особенность таких материалов проявляется в зависимости деформационных, прочностных характеристик от вида напряженного состояния и в дилатационном характере деформирования. Механические свойства подобных материалов вступают в противоречие с классическими представлениями механики деформируемого твердого тела, основанными на гипотезе единой кривой деформирования. Эти материалы в научно-технической литературе отнесены к классу разносопротивляющихся и большинство из них являются анизотропными. Актуальность выбранной темы заключается в широком распространении анизотропных разносопротивляющихся материалов в строительных конструкциях, авиастроении и технологическом оборудовании и в отсутствии надежной теории для расчета таких материалов.

В представленной работе рассматривается упругое равновесие прямоугольной трехслойной пластины, отнесенной к декартовой системе координат. Внешние слои пластины одинаковы по своим свойствам, при этом в произвольной точке каждого слоя одна из плоскостей упругой симметрии параллельна срединной плоскости, а остальные две перпендикулярны к координатным линиям  $X_1 = const$ ,  $X_2 = const$ . Пластина нагружается нормально приложенной равномерно распределенной нагрузкой  $q$ . Рассматривается геометрически нелинейная задача изгиба слоистой пластины в декартовой си-

стеме координат при величинах максимальных прогибов порядка толщины этой пластины.

Получаем систему разрешающих дифференциальных уравнений прямоугольных пластин, составленных из материалов, обладающих двойкой анизотропией. Для их решения предлагается использовать метод сеток с разностной аппроксимацией повышенной точности в сочетании с двухшаговым методом последовательных возмущений параметров В.В. Петрова, для чего данные уравнения подвергались лианеризации путем формального применения метода последовательных нагружений, традиционно используемого для решения геометрически нелинейных задач.

Для решения задачи разработан пакет прикладных программ на базе системы MATLAB 9.

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ РАСЧЕТЕ ПОЛОГИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПАНЕЛЕЙ И СВОДОВ ВАРИАЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ**

Володин В.П., Надиров Э.Р.  
*ТверьГТУ, г. Тверь, Россия*

Исследование процесса нагружения пологих цилиндрических панелей и сводов удобно проводить на основании вариационных методов в перемещениях. Выбор выражений для перемещений требует тщательного подхода, поскольку от этого зависит и точность, и трудоемкость решения.

В работе предлагается относительно простой способ определения перемещений и деформаций для пологих цилиндрических панелей, основанный на использовании дифференциальных уравнений равновесия пологих оболочек в перемещениях.

Выражение для прогиба записывается в виде:  $w(\bar{x}, \bar{y}) = f_{mn} X_m(\bar{x}) Y_n(\bar{y})$ , где  $f_{mn}$  – постоянные коэффициенты;  $\bar{x} = x/a$ ,  $\bar{y} = y/b$  – безразмерные координаты ( $a$  и  $b$  размеры оболочки в плане);  $X_m(\bar{x})$ ,  $Y_n(\bar{y})$  – искомые функции, они определяются из дифференциального уравнения для прогиба как функции, описывающие деформации балки-полоски и арки-полоски при продольно-поперечном изгибе.

Касательные перемещения определяются из остальных двух дифференциальных уравнений в перемещениях в предположении, что выражение для прогиба известно. Полные перемещения представляются в виде

$$u(\bar{x}, \bar{y}) = u_0(\bar{x}, \bar{y}) - \frac{1}{2a} \int w_{,\bar{x}}^2 d\bar{x}; \quad v(\bar{x}, \bar{y}) = v_0(\bar{x}, \bar{y}) + k_y \int w(\bar{x}, \bar{y}) d\bar{y} - \frac{1}{2b} \int w_{,\bar{y}}^2 d\bar{y}.$$

Здесь  $\bar{k}_y = k_y b$ ,  $k_y$  – кривизна панели. Для определения функций  $u_0(\bar{x}, \bar{y})$  и  $v_0(\bar{x}, \bar{y})$  получим два дифференциальных уравнения, которые решаются с помощью функции перемещений  $\Psi(\bar{x}, \bar{y})$ .

Для функции перемещений получено нелинейное неоднородное бигармоническое уравнение, которое с точностью до постоянного множителя  $Eh$  ( $E$  – модуль упругости,  $h$  – толщина оболочки) совпадает с дифференциальным уравнением для функции усилий  $\Phi(\bar{x}, \bar{y})$  – вторым основным уравнением теории оболочек при решении в смешанной форме. После определения функции перемещений  $\Psi(\bar{x}, \bar{y})$ , находятся функции

$$u_0(\bar{x}, \bar{y}) = \frac{1}{b} \int (\alpha \Psi_{,\bar{y}\bar{y}} - \mu \alpha_0 \Psi_{,\bar{x}\bar{x}}) d\bar{x}; \quad v_0(\bar{x}, \bar{y}) = \frac{1}{a} \int (\alpha_0 \Psi_{,\bar{x}\bar{x}} - \mu \alpha \Psi_{,\bar{y}\bar{y}}) d\bar{y};$$

$$\alpha = a/b, \quad \alpha_0 = b/a.$$

Деформации в оболочке также определяются через функцию перемещений:

$$\varepsilon_x = \frac{1}{ab} (\alpha \Psi_{,\bar{y}\bar{y}} - \mu \alpha_0 \Psi_{,\bar{x}\bar{x}}), \quad \varepsilon_y = \frac{1}{ab} (\alpha_0 \Psi_{,\bar{x}\bar{x}} - \mu \alpha \Psi_{,\bar{y}\bar{y}}), \quad \gamma_{xy} = -2(1+\mu) \frac{1}{ab} \Psi_{,\bar{x}\bar{y}}.$$

## ПРИМЕНЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ТОННЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ В г. СОЧИ

Гоглидзе Л.В., Диулгарови А.С.

*Тоннельный ОТРЯД 44, г. Сочи, Россия*

При строительстве тоннелей в Сочи используется ново-австрийский метод проходки тоннелей, с определенными инновациями, реализованными на стадии разработки рабочей документации и контролируемые в процессе научно-технического сопровождения строительства тоннелей.

Метод опирается на следующие принципы:

1. производится по возможности полный учет совместной работы несущей конструкции обделки с природным массивом вокруг подземной выработки;
2. В процессе работы ведется контроль за кинетикой нарастания горного давления, до достижения им максимального значения, что позволяет регулировать скорость проходки;
3. Проведение оптимизации формы выработки и обделки с целью снижения концентрации напряжений в окружающей породе;
4. Так как в результате достигается равновесие системы «массив окружающей породы - первичная обделка», то конструкция постоянной обделки оказывается облегченной.
5. Обеспечивается надежная антикоррозионная защита анкерной крепи, что позволяет считать ее силовым элементом конструкции тоннеля.

Следовательно, основной принцип обеспечения надежности проведения проходческих работ заключается в использовании инновационной технологии мониторинга поведения грунтового массива, как в закрытом пространстве (в выработке) так и на открытой поверхности над тоннелем. Процедура мониторинга опирается на использование современных компьютеризованных средств сбора, обработки и представления всего массива информации экспертам, которые в процессе ее анализа могут быстро выработать необхо-

димые управленческие решения и передать их для реализации на практике. Эта же система позволяет быстро оценить эффективность принятых и реализуемых управленческих решений.

Еще одна инновационная технология применена при борьбе с оползнями. Так как проливные дожди, характерные для Сочи быстро смывают посаженные растения, то для борьбы с возможными оползнями были применены геосинтетики.

Таким образом, при строительстве тоннелей все больше применяются инновационные технологические решения. Причем уже построенные тоннели обеспечиваются различными системами, обеспечивающими их надежную и безопасную работу: вентиляционными, сигнализационными системами, системами теленаблюдения, автоматического управления, а также резервного электроснабжения.

### ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА БУБНОВА-ГАЛЕРКИНА ПРИ РЕШЕНИИ УРАВНЕНИЙ КОЛЕБАНИЙ УПРУГО ОПЁРТОГО СТЕРЖНЯ ПРИ ПОДВИЖНОЙ НАГРУЗКЕ

Гриднев С.Ю.

*ВГАСУ, г. Воронеж, Россия*

Для уточнения динамического поведения пролетных строений автодорожных мостов на резино-металлических опорных частях (РМОЧ) при подвижной нагрузке необходимо учитывать их упругие свойства при всестороннем деформировании в расчетной схеме [1]. Динамические уравнения движения стержня со свободными концами, который моделирует пролетное строение, в математическом описании должны содержать слагаемые, учитывающие упругие реакции деформирующихся опорных частей на пролетные строения: моменты, создаваемые горизонтальными реактивными силами в опорных частях при их продольном сдвиге относительно центра изгиба в вертикальной плоскости  $M_1^{cдв}(t), M_2^{cдв}$ , реактивные моменты в опорных частях при их изгибе в вертикальной плоскости  $M_1^{изг}(t), M_2^{изг}(t)$ , вертикальные динамические опорные реакции  $S_1(t), S_2(t)$ .

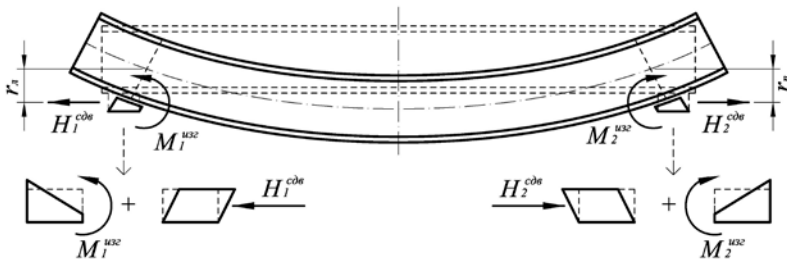


Рис.1. Деформация опорных частей и возникающие при этом реактивные силы

Изгибные колебания упруго опертого пролетного строения моста в вертикальной плоскости при подвижной нагрузке описываются дифференциальным уравнением в частных производных:

$$m_{\sigma} \frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2} + (1+k_0) \frac{\partial}{\partial t} EJ_z \frac{\partial^4 y(x,t)}{\partial x^4} + S_1(t) \cdot \delta(x-0) + S_2(t) \cdot \delta(x-l_{\sigma}) + M_1^{cob}(t) \cdot \delta'(x-0) + (1) \\ + M_2^{cob}(t) \cdot \delta'(x-l_{\sigma}) + M_1^{uzc}(t) \cdot \delta'(x-0) + M_2^{uzc}(t) \cdot \delta'(x-l_{\sigma}) = \sum_{j=1}^{q(t)} \sum_{k=1}^{n_j} R_k(t) \cdot \delta(x-x_k)$$

где  $l_{\sigma}$ ,  $m_{\sigma}$ ,  $E$ ,  $J_z$ ,  $\rho$  - длина и параметры пролетного строения;

$\sum_{j=1}^{q(t)} \sum_{k=1}^{n_j} R_k(t)$  - слагаемое, учитывающее давление осей автомобилей, находящихся в данный момент времени в пределах проезжей части моста;

$k_0$  - коэффициент внутреннего трения, вычисляемый в соответствии с модернизированной гипотезой Фойгта с поправкой Бока;

В уравнении (1) дельта-функции определяют положение осей автомобилей и вертикальные динамические опорные реакции, а при определении положения реактивных моментов используются производные дельта-функции [2].

Для приведения уравнению (1) к виду удобному для расчета на ЭВМ применим алгоритм Бубнова-Галеркина. Прогиб стержня в произвольном сечении представим в виде:

$$y(x,t) = \sum_{\nu=1}^{N_{\sigma}} f_{\nu}(t) Y_{\nu}(x), \quad (2)$$

где  $f_{\nu}(t)$  - коэффициенты разложения;

$Y_{\nu}(x)$  - собственные функции стержня со свободными концами;

$N_{\sigma}$  - число удерживаемых собственных форм в разложении.

Подставляя решение (1) в (2) и выполняя далее стандартную процедуру метода Бубнова-Галеркина, получим совокупность  $N_{\sigma}$  обыкновенных неоднородных дифференциальных уравнений второго порядка:

$$\ddot{f}_{\nu}(t) + k_0 \omega_{\nu}^2 \dot{f}_{\nu}(t) + \omega_{\nu}^2 f_{\nu}(t) = \frac{1}{m_{\sigma} A_{\nu}} \left[ \sum_{j=1}^{q(t)} \sum_{k=1}^{n_j} R_k(t) Y_{\nu}(x_k) \right] - \sum_{m=1}^{N_{\sigma}} S_m(t) \cdot Y_{\nu}(x_m) + Y_{\nu}(0) P_1(t) + Y_{\nu}(l_{\sigma}) P_2(t) \quad (3) \\ - \dot{Y}_{\nu}(0) \cdot M_1^{cob}(t) - \dot{Y}_{\nu}(l_{\sigma}) \cdot M_2^{cob}(t) - \dot{Y}_{\nu}(0) \cdot M_1^{uzc}(t) - \dot{Y}_{\nu}(l_{\sigma}) \cdot M_2^{uzc}(t)$$

где  $A_{\nu} = \int_0^{l_{\sigma}} m_{\sigma} Y_{\nu}^2 dx$  - нормирующий множитель собственных изгибных форм стержня со свободными концами.

Отметим, что для вычисления интегралов содержащих производные дельта-функции, например,  $\int_0^{l_{\sigma}} \left[ Y_{\nu}(x) \left( M_1^{cob}(t) \cdot \delta'(x-0) \right) \right]$  выполняется интегрирование по частям. При этом в правой части уравнений (3) в слагаемых, учи-

тывающих реактивные моменты, появляются производные собственных форм. В дальнейшем уравнения (3) легко реализуются на ЭВМ.

Проведенный анализ результатов вычислительных экспериментов показал необходимость учета реактивных моментов со стороны деформирующихся опорных частей в расчетах колебаний сталежелезобетонного пролетного строения при подвижной нагрузке. Результаты удовлетворительно согласуются с результатами натурных измерений [3]. Выполнена оценка влияния и определены пределы применимости учета тех или иных упругих свойств различных опорных частей. В некоторых случаях пренебрежение упругими свойствами опорных частей может привести к серьезным ошибкам в оценке НДС пролетного строения.

#### Библиографический список

1. Гриднев. С.Ю. Уточненная пространственная расчетная схема упруго опертого пролетного строения сталежелезобетонного моста / С.Ю. Гриднев // Научный вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура. 2008. Вып. № 4. С. 112-120.
2. Новицкий В.В. Дельта-функция и ее применение в строительной механике / В.В. Новицкий // Расчет пространственных конструкций. 1962. Вып. VIII. С.207-245.
3. Гриднев С.Ю. Натурные измерения колебаний упруго опертого сталежелезобетонного моста при движении по нему автомобиля в режиме торможения/ С.Ю. Гриднев, В.В.Волков, А.Н.Будковой // Научный вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура. 2010. Вып. № 1. С. 112-120.

#### **АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ АВТОЦИСТЕРН НА АВТОДОРОЖНЫЕ МОСТЫ ПРИ ГИДРОУДАРЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕХАНИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЖИДКОСТИ**

Гриднев С.Ю., Будковой А.Н.  
*ВГАСУ, г. Воронеж, Россия*

В связи с резким увеличением объемов перевозок по автомобильным дорогам нашей страны нефтепродуктов, сжиженных газов, плодовоовощных соков, молока и других жидких грузов в транспортном потоке появились специализированные автоцистерны повышенной грузоподъемности и большой осности, а также седельные тягачи с прицепами-автоцистернами. Особенностью автоцистерн со значительным эксплуатационным недоливом, по сравнению с транспортными средствами других типов является возможность перемещения жидкости относительно кузова автоцистерны и ее колебания при наличии свободной поверхности. Это приводит к появлению дополнительных гидродинамических давлений на кузов автоцистерны, которые, в свою очередь, необходимо учитывать при определении динамических давлений колес на путь. В отличие от транспортного средства с твердыми грузами математическая модель автоцистерны существенно усложняется. Это обуслав-

ливается появлением бесконечного числа дополнительных степеней свободы, связанных с движением жидкости.

При движении автоцистерн с жидкостью при эксплуатационном недоливе по автодорожным мостам в режиме торможения или разгона приток жидкости к передней или задней крышке приводит к смачиванию верхней образующей котла автоцистерны - гидроудару. Резкое возрастание давления на крышку котла при гидроударе приводит к значительному увеличению и перераспределению давлений осей автоцистерны на пролетное строение автодорожных мостов. При этом меняется характер колебаний пролетного строения и его напряженно-деформированное состояние.

Для анализа воздействия автоцистерн на пролетные строения мостов при переходных режимах движения с учетом гидроудара и определения сверхнормативных нагрузок на пролетные строения автодорожных мостов ранее использовалась модель, в которой колебание жидкости описывались уравнениями механики сплошных сред [1]. В работе [2] подробно описана модель автоцистерны с использованием механического аналога жидкости, которая предполагает наличия у жидкости только свободной поверхности, что ведет к существенному занижению величин давлений на проезжую часть в случае переходных режимов движения без учета гидроудара. В развитии такого подхода динамическая модель автоцистерны с использованием механического аналога усовершенствуется в работах [3] и [4] с целью учета явления гидроудара.

Суть усовершенствования механической модели жидкости заключается в следующем. При замачивании потолка к жесткости  $c_n$ , полученной из уравнений механической модели, добавляется функция, описывающая асимптотическое увеличение жесткости при увеличении смещения твердого груза  $x_n$  вплоть до крайнего значения (1):

$$c'_n = \begin{cases} c_n, & x_n \leq x_n^0 \\ c_n \cdot \exp\left(\frac{x_n - x_n^0}{3(x_n^{\max} - x_n^0)}\right), & x_n > x_n^0 \end{cases}, \quad (1)$$

где  $x_n^0$  – смещение n-го груза в момент замачивания потолка;

$x_n^{\max}$  – максимально возможное смещение n-ого груза (рис. 1).

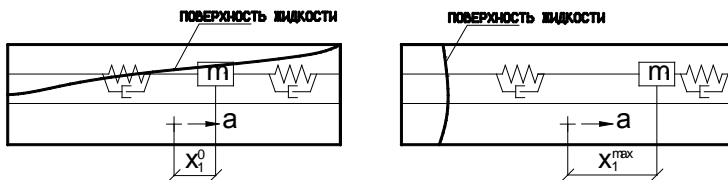
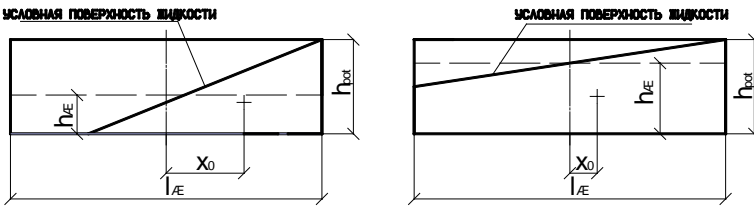


Рис. 1. Пояснения к формуле (1)

При учете одной собственной формы горизонтальные смещения центра масс всей жидкости находятся из следующих равенств:

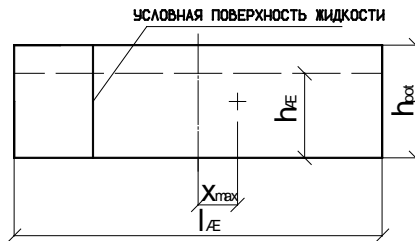
$$x^0 = \frac{m_1 \cdot x_1^0}{m_0 + m_1}; \quad x^{\max} = \frac{m_1 \cdot x_1^{\max}}{m_0 + m_1}. \quad (2)$$

Величины  $x^0$  и  $x^{\max}$  в зависимости от уровня наполнения цистерны находятся из геометрических соображений (рис. 2, 3). Для упрощения будем считать поверхность жидкости плоской (условная поверхность жидкости):  $h_{ж} \leq h_{pot}/2, h_{ж} > h_{pot}/2$ .



$$x^0 = l_{ж} \frac{3h_{pot} - 4h_{ж}}{6h_{pot}}, \quad x^0 = l_{ж} \frac{h_{pot} - h_{ж}}{6h_{ж}}$$

Рис. 2. К определению  $x^0$



$$x^{\max} = \frac{l_{ж}}{2} \left( 1 - \frac{h_{ж}}{h_{pot}} \right)$$

Рис. 3. К определению  $x^{\max}$

Величины  $x^0$  и  $x^{\max}$  зависят от уровня наполнения и количества учитываемых собственных форм колебаний свободной поверхности жидкости.

Отдельно следует сказать, что в представленной модели не учитываются силы сопротивления, обусловленные перемешиванием жидкости при колебаниях. Их наличие будет приводить к быстрому затуханию высокочастотных форм колебаний.

Использованная ранее авторами модель жидкости, подробно описанная в [2], предполагает наличия у жидкости только свободной поверхности и не

предполагала замачивание жидкостью верхней образующей котла автоцистерны, что ведет к существенному занижению величин давлений на проезжую часть в случае переходных режимов движения.

Математическое описание поведения автоцистерны в целом приведены в [4]. Алгоритм расчета аналогичен изложенному в [3] с учетом принятых дополнений. Моделирование колебаний усовершенствованной модели системы «автомобиль-жидкость» при торможении были реализованы в пакете Simulink системы MatLab.

С помощью усовершенствованной модели были выявлены особенности динамического давления автоцистерн для перевозки различных жидкостей с точки зрения определения максимальных значений и характера распределения динамических давлений осей на проезжую часть с учетом явления гидроудара.

#### Библиографический список

1. Гриднев, С.Ю. Моделирование совместных колебаний пролетных строений и автоцистерн с частично наполненными жидкостью кузовами при переходных режимах движения / С.Ю. Гриднев, А.Н.Будковой // Научный вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура. 2009. №3. С. 69-76.

2. Гриднев С.Ю. Моделирование колебаний автоцистерны при торможении с использованием механического аналога жидкости / С.Ю. Гриднев, А.Н. Будковой // Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики. Сборник трудов международной конференции. Воронеж, 2010. С. 125-131.

3. Гриднев С.Ю. Использование механического аналога жидкости для моделирования колебаний автоцистерны при разгоне и торможении / С.Ю. Гриднев, А.Н. Будковой // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. Вып. № 1 (21), 2011. С. 98-106.

4. Гриднев С.Ю. Совершенствование модели автоцистерны с использованием механического аналога жидкости для исследования переходных режимов движения / С.Ю. Гриднев, А.Н. Будковой // Актуальные проблемы динамики и прочности материалов и конструкций: модели, методы, решения: Материалы II-ой международной дистанционной научно-технической конференции. Самара, 2011. С. 58-61.

### **ВЛИЯНИЕ ВОДЫ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛАМИНИРОВАННЫХ ДРЕВЕСНОВОЛОКНИСТЫХ ПЛИТ**

Груздева Е.А., Киселева О.А.  
*ТГТУ, г. Тамбов, Россия*

Вода существенно влияет на физико-механические характеристики древесины и материалов на ее основе. Проследим влияние воды на прочность ламинированных древесноволокнистых плит.

Наиболее сильное снижение прочности ДВП наблюдается в первые два часа непрерывного замачивания, после чего наступает стабилизация процес-

са. После 2 часов воздействия воды прочность составляет 55 % от первоначальной, а на 7 сутки и позднее – 35 %.

Объяснить такое поведение материала можно, проследив, как меняется влажность древесноволокнистых плит. Наибольшее увеличение влажности также наблюдается в первые 2 часа воздействия воды (она достигает 50 %). Затем процесс замедляется, но не прекращается, и на 30 сутки влажность образцов достигает 88 %. Таким образом, в первые 2 часа воздействия воды влага заполняет не только поры в древесноволокнистых плитах, но и проникает в стенки клеток самих древесных волокон. В результате наблюдается разбухание образцов и существенное падение их прочности. Дальнейшее действие воды приводит только к увеличению влажности образцов, следовательно, предел гигроскопической влажности (для древесины он равен 30 % [1]) достигнут уже к 2 часам.

При циклическом замачивании ламинированных древесноволокнистых плит падение прочности наиболее интенсивно происходит впервые 5 циклов замачивания. При этом теряется до 30 % прочности. Дальнейшее действие воды практически не сказывается на механических свойствах ДВП.

После 5 циклов замачивания-высушивания влажность составляет 86 % и остается неизменной. Следовательно, вода проникает только в поры плит и полости клеток наполнителя, но не попадает в стенки клеток, т.е. в плитах образуется большое количество капиллярной влаги. Данная влага не приводит к снижению прочности древесного наполнителя и легко испаряется при сушке [1].

При сравнении непрерывного и циклического замачивания можно сделать следующие выводы. Для ламинированных древесноволокнистых плит наиболее опасно именно непрерывное замачивание. Данный факт объясняется тем, что предел гигроскопической влажности достигается к 2 часам непрерывного замачивания, а при циклических испытаниях образцы находились в воде только 1 час, после чего происходит их сушка и часть гигроскопической влажности теряется.

#### Библиографический список

1. Строительные материалы. Учебник/ Под общей ред. В.Г. Микульского. М.: Изд-во АСВ, 1996. 448 с.

### **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СВЯЗАННОЙ ЗАДАЧИ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОГО ИЗГИБА СФЕРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК ИЗ МАТЕРИАЛОВ С УСЛОЖНЕННЫМИ СВОЙСТВАМИ**

Делягин М.Ю., Трещев А.А.  
*ТулГУ, г. Тула, Россия*

Рассматривается связанная задача изгиба пологой сферической оболочки из изотропных разносопротивляющихся материалов при больших прогибах. Строится математическая модель этой задачи в рамках численной реализации.

Уравнения, описывающие напряженно-деформированное состояние оболочки, получаем, используя гипотезы Кирхгофа-Лява, закон теплопроводности Фурье, классические условия равновесия и разработанную Н.М. Матченко и А.А. Трещевым теорию деформирования материалов, механические характеристики которых зависят от вида напряженного состояния. Нелинейность в задаче возникает и из-за усложненных свойств материалов, и из-за конечных прогибов. Линеаризацию уравнений проводим методом последовательных нагружений на начальном этапе построения разрешающей системы. В результате получаем разрешающую систему уравнений, состоящую из трех линейных дифференциальных уравнений в частных производных. Для увеличения точности будем использовать процедуру двухшагового метода последовательного возмущения параметров, предложенного Петровым В.В.

Систему линеаризованных дифференциальных уравнений в приращениях предлагается решать методом конечных разностей. Для связанной задачи термоупругости конечно-разностная сетка имеет три направления: время, радиус оболочки и ее толщина. Поэтому достижение требуемой точности решения геометрически нелинейной задачи может привести к чрезмерному увеличению требуемых вычислительных ресурсов. Для решения этой проблемы будем использовать конечные разности повышенной точности. Чтобы избежать появления законтурных точек вблизи границ оболочки по толщине, радиальной координате и времени применим односторонние шаблоны.

С учетом граничных и начальных условий была получена система линейных алгебраических уравнений в приращениях прогибов, радиальных перемещений и температур. Коэффициенты СЛАУ зависят от параметров НДС, поэтому на первом этапе нагружения необходимо применить метод переменных параметров упругости Биргера И.А. Дальнейшее решение проводится в среде MATLAB (MathWorks Inc., USA).

Проводились различные исследования работы оболочек, однако, связанная задача о больших прогибах сферической оболочки из изотропных разносопротивляющихся материалов под воздействием поперечной нагрузки и температуры до сих пор не решалась. На основании результатов научной работы ученых ТулГУ по термоупругости пластин можно сделать вывод, что эффекты связности и разносопротивляемости вносят значительные коррективы в НДС конструкции.

## **ИСПЫТАНИЯ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ КОРОБКОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КМА В СОСТАВЕ БЕТОННОЙ СМЕСИ**

Ермолович Е.А.

*НИУ БелГУ, г. Белгород, Россия*

Актуальность применения отходов в строительной индустрии диктуется необходимостью снижения себестоимости строительной продукции, экономией капитальных вложений, материальных и трудовых затрат, а также

охраной окружающей среды и рациональным использованием природных ресурсов.

Для испытания тяжелого бетона были использованы следующие сухие материалы. В качестве вяжущего вещества использован цемент марки ПЦ-400 активностью 44,2 МПа, а в качестве заполнителя – щебень и песок из отходов обогащения сухой магнитной сепарации железистых кварцитов Коробковского месторождения Курской магнитной аномалии.

По методике ГОСТ 27006-86 был подобран состав бетона марки 300 класса В22.5. Согласно расчета состав сухих материалов на 1м<sup>3</sup> бетона составил: щебень-1641 кг; песок-799 кг; цемент-330 кг; вода-178 л (В/Ц)=0,54).

Из бетонной смеси было заформовано 9 образцов размером 10x10x10 см, которые были выдержаны 28 суток в нормальных условиях естественного твердения (относительная влажность воздуха 100%, температура +20<sup>0</sup>С).

В возрасте 7 и 28 суток образцы испытывались на прочность при сжатии. В результате проведенных испытаний прочность бетона в возрасте 7 суток составила 21 МПа, в возрасте 28 суток- 31,5 МПа.

При испытании определялась средняя плотность тяжелого бетона(она составила 2770 кг/м<sup>3</sup>) и его жесткость бетонной смеси (85 с).

С целью использования минерального порошка как мелкого заполнителя, обеспечивающего снижение расхода цемента при изготовлении тяжелого бетона, была приготовлена бетонная смесь, в состав которой был введен порошок из отходов обогащения мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов КМА, с размером зерен свыше 0 до 0,14 мм и содержанием до 80% фракции менее 0,074 мм. Из бетонной смеси было изготовлено 6 групп образцов размером 10x10x10 см. В первую группу минеральный порошок не вводился, в образцы второй группы вводился в количестве-10%, третьей – 20%, четвертой-30%, пятой-40%, шестой-50% от массы цемента.

Результаты испытания показали, что минеральный порошок из отходов обогащения мокрой магнитной сепарации позволяет снизить расход цемента до 20% для марки бетона М 300 при незначительном (12,2%) снижении прочности бетона. При этом проектная марка бетона практически не изменяется (27,65-31,5 МПа).

## **ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ КАЧЕСТВА КРОВЕЛЬ ИЗ РУЛОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Еропов Л.А.

*ВГУ, г. Владимир, Россия*

В настоящее время наибольшее применение в России для плоских и малоуклонных крыш находят кровли из наплавляемых битумных и битумно-полимерных рулонных материалов. Наибольшее влияние на конструкции и материалы этих крыш оказывает высокая температура и ультрафиолетовые лучи, меньшее – вода, переменное замораживание и оттаивание или увлажнение и сушка.

Под влиянием тепла и ультрафиолетовых солнечных лучей в битуме верхнего покровного слоя наплавляемых битумных и битумно-полимерных рулонных материалов развиваются процессы окисления, полимеризации, деструкции, образования водорастворимых соединений, улетучивания масел, уменьшения содержания смол и увеличения асфальтенов. В результате этого битум становится хрупким, в нем появляются трещины, повышается температуру размягчения и снижается пенетрация, то есть появляются признаки старения.

Вода, особенно при повышенных температурах, проникает в материалы и вызывает в них процессы окисления. В результате этого в материалах образуются водорастворимые соединения. Вымывание их влагой ведет к образованию в материалах пористости и повышенного водопоглощения.

Разрушение покровного слоя битумных и битумно-полимерных рулонных материалов вызывается не только химическими, но и физическими процессами. При повышении температуры проникшая в битум кровельных материалов влага испаряется и образует в покровном слое пузырьки пара. Одновременно происходит размягчение битума и понижение его вязкости. Битумные стенки пузырьков не выдерживают давления пара и лопаются. После того, как вода по трещинам и открытым кратерам получает доступ к основе рулонного материала начинают развиваться процессы биологического и химического разрушения основы. Поэтому долговечность кровли в основном определяется сроком сохранности покровного верхнего слоя и основы. Дальнейшему развитию трещин и кратеров в верхнем слое кровли способствует циклическое замерзание попавшей в нее влаги.

Разрушение кровли является не только следствием непосредственного воздействия атмосферных факторов и солнца, но также и взаимодействия кровельного ковра с основанием. Наиболее характерные повреждения кровли в этом случае - вздутия и разрывы. Разрывы в кровле возникают при образовании трещин в основании. Вздутия образуются и летом в результате испарения влаги, имеющейся в основании и кровельном ковре. Влага может быть:

- начальной из-за недостаточной просушки основания или намокания под дождем нижних слоев кровли до завершения кровельных работ;
- появившейся в процессе эксплуатации, главным образом вследствие конденсации паров, поступающих к кровельному коврику снизу.

Хорошее качество склейки слоев рулонного ковра и его приклейка в основании затрудняет появление вздутий, так как силе давления пара необходимо преодолеть силы адгезии битума к основанию и к рулонному материалу. Качество приклейки кровельного ковра снижается наличием сырого основания и низкой температурой воздуха. Значительное избыточное давление пара в подкровельном слое, вызывающее образование вздутий, обуславливает целесообразность в устройстве "дышащей" кровли, из-под которой водяной пар при нагреве удаляется наружу.

При нарушении сплошности приклейки кровельного ковра рулонный материал удлиняется, и в кровельном ковре могут образовываться складки. Протечек они не вызывают. Попеременное насыщение водой и сушка кровельных материалов почти не вызывают усадки.

Чем ниже температура размягчения битумных приклеивающих мастик и наплавляемого битума, тем меньше их хрупкость при низких температурах. Но низкая температура приклеивающих мастик и битума может вызвать сползание кровельного ковра, что особенно часто бывает в местах примыканий. Наличие уклона может вызвать стекание мастик, имеющих недостаточно высокую температуру размягчения. Введением наполнителя в битум с невысокой температурой размягчения можно повысить теплостойкость мастик и одновременно понизить их хрупкость, приводящую к растрескиванию и отслоению рулонного материала при отрицательных температурах. Поэтому, для приклейки рулонного ковра отечественными стандартами рекомендуются мастики и битумы только с наполнителями

Горизонтальные покрытия, уменьшающие опасность сползания кровли, позволяют использовать мастики и битумы с меньшей температурой размягчения, обладающие и меньшей хрупкостью при отрицательных температурах.

На морозе возможно появление трещин в кровле из битумных рулонных материалов от случайной ударной нагрузки, например, от падения ручного инструмента.

Нанесенная на кровлю ветром пыль может служить почвой для произрастания трав и других растений. Такая почва является хорошей средой для развития микроорганизмов, которые разрушают кровельные материалы. Корни растений с большой легкостью прорастают через слои рулонных материалов кровельного ковра, ослабленного воздействием микроорганизмов. Корнестойкими являются дегтевые материалы и полиэтиленовая пленка. У последней после нескольких лет эксплуатации сохраняется прочность, а относительное удлинение сокращается почти существенно. Кроме того, птицы, кормясь насекомыми, живущими в растительном слое почвы, иногда проклеивают кровельный ковер.

Рулонные кровли из битумных и битумно-полимерных материалов, как отмечает отечественная и зарубежная практика, могут служить более 20 лет. За рубежом производители кровельных работ гарантируют срок службы кровельного ковра в зависимости от примененных конструкций и материалов в 10, 15 или 20 лет. Однако, средняя долговечность рубероидных кровель в России составляет только 5-7 лет, из битумных наплавляемых материалов – 10 - 20 лет, из битумно-полимерных материалов – 15 – 25 лет. Основная причина малого срока службы кровли из рубероида - ее преждевременный износ из-за появления трещин и вздутий в покровном слое, неудовлетворительного качества кровельных работ, так 79% всех дефектов, приведших к ремонту кровли, возникало вследствие низкого качества работ. Преждевременный из-

нос кровли не только повышает затраты на ремонт или замену кровли, но также этим затратам сопутствуют большие, не учитываемые затраты на ремонт конструкций зданий, пострадавших от протечек.

## **ВЛИЯНИЕ ЦИКЛОВ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО СТАРЕНИЯ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕКОРАТИВНО-ЗАЩИТНЫХ ПЛИТ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ДСП**

Ерофеев А.В., Овчаренко Е.А.  
*ТГТУ, г. Тамбов, Россия*

Большинство строительных материалов эксплуатируются в неблагоприятных условиях. Декоративно-защитные плиты покрытия также не являются исключением. Они в основном подвержены атмосферным воздействиям. Воздействие солнечного света моделировали циклами ультрафиолетового старения. Для декоративно-защитной плиты покрытия на основе ДСП и полиэфирной смолы в качестве связующего были выполнены 30 циклов ультрафиолетового старения. Время цикла колебалось в диапазоне от 6 часов до 12 часов. Образцы подвергались ультрафиолетовому старению в специальной камере.

После каждого ангармонического цикла определяли твердость по Бринеллю по формуле:  $НВ = P / \pi d n^*$ , где  $P$  – нагрузка, приложенная к шарик, кг;  $d$  – диаметр шарика, мм;  $n^*$  – величина погружения шарика в материал; мм. Нагрузку, приложенную к шарик, находили по формуле:  $P = L P_1 / l$ , где  $P_1$  – нагрузка, приложенная к рычагу, кг;  $L$  – длина рычага, м;  $l$  – расстояние от опоры до шарика, м. Погружение шарика диаметром 6 мм. фиксировали с помощью индикатора часового типа с ценой деления 0,01 мм..

Твердость декоративного слоя и основы падает в 1,3 – 2 раза. Падение твердости объясняется тем, что уровень УФ - радиации выше чем уровень, при котором происходит разрушение химических связей в полимерных цепях. Таким образом, поглощенная энергия вызывает разрушение наиболее слабых химических связей. При этом образуются активные свободные радикалы, которые инициируют деструкцию полимера.

Изменение твердости декоративного слоя из керамзита описывается уравнением  $НВ = -0,0663n^2 - 1,247n + 41,216$ , из опилок –  $НВ = -0,0127n^2 + 0,0883n + 34,928$ , из песка -  $НВ = 0,0473n^2 - 1,8249n + 53,791$ . Изменение твердости основы описывается уравнением  $НВ = 29,204e^{-0,0137n}$ .

Через каждые 5 ангармонических циклов с помощью электронных весов определяли массу образцов с погрешностью 0,01 гр. и рассчитывали процент изменения массы по формуле:  $M = [(m_{ок} - m_{пер}) / m_{пер}] 100\%$ , где  $m_{пер}$  – масса первоначального образца, гр;  $m_{ок}$  – масса образца после воздействия  $n$ -ого количества циклов замораживания-оттаивания, гр.

После циклов ультрафиолетового старения наблюдали уменьшение массы образцов, которое связано с выкрашиванием декоративно-защитного слоя и выделением летучих веществ. Изменение массы плиты покрытия с декора-

тивным слоем из керамзита описывается уравнением  $M = 0,0038n^2 - 0,403n$ , из опилок –  $M = 0,004n^2 - 0,2767n$ , из песка –  $M = 0,0035n^2 - 0,2825n$ .

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДОПОГЛОЩЕНИЯ И НАБУХАНИЯ ДЕКОРАТИВНО-ЗАЩИТНЫХ ПЛИТ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ДВП

Ерофеев А.В., Солопов Д.Ю.  
*ТГТУ, г. Тамбов, Россия*

В реальных условиях эксплуатации декоративно-защитные плиты покрытия, состоящие из основы (ДВП), связующего (полиэфирная смола) и декоративного слоя, будут подвергаться периодическому воздействию влаги. Под водопоглощением понимается способность материала впитывать и удерживать влагу в порах. Водопоглощение численно выражается в процентах как отношение массы воды, поглощенной образцом при полном водонасыщении, к массе сухого образца. Под набуханием понимается процесс увеличения объема или линейных размеров твердого тела вследствие поглощения им воды или водяного пара.

Для определения водопоглощения и набухания образцы выдерживали в воде 30 мин., 1 час, 2 часа, 1 сутки, 7 суток и 14 суток. Затем с помощью электронных весов определяли массу образцов с погрешностью 0,01 гр., а с помощью штангель-циркуля – высоту образцов.

Водопоглощение определяли по формуле:  $W = [(m_{\text{вл}} - m_{\text{сух}}) / m_{\text{сух}}]100\%$ , где  $m_{\text{сух}}$  – масса сухого образца, гр.,  $m_{\text{вл}}$  – масса образца после замачивания, гр.

Набухание определяли по формуле:  $H = [(h_{\text{вл}} - h_{\text{сух}}) / h_{\text{сух}}]100\%$ , где  $h_{\text{сух}}$  – высота сухого образца, мм.,  $h_{\text{вл}}$  – высота образца после замачивания, мм.

Наиболее интенсивно процесс водопоглощения и набухания плитой покрытия происходит в первые 120 минут. Далее процесс водопоглощения протекает менее интенсивно и уже к 200 - 250 часам стабилизируется, а процесс набухания стабилизируется к 175 - 225 часам. Максимальное водопоглощение составило 39 % для плиты покрытия с декоративным слоем из керамзита, 50 % - с декоративным слоем из опилок и 22 % - с декоративным слоем из песка. Максимальное набухание составило 22 % для плиты покрытия с декоративным слоем из керамзита, 25,5 % - с декоративным слоем из опилок и 14 % - с декоративным слоем из песка. Водопоглощение и набухание плит покрытия зависит от водопоглощения и набухания исходных материалов. Водопоглощение и набухание плит покрытия на основе ДВП практически в равной степени зависит от водопоглощения и набухания основы и связующего с декоративным слоем. Данный вывод можно сделать по разбросу значений максимального водопоглощения и набухания. Разброс связан с различным водопоглощением и набуханием декоративного слоя. В данном случае масса и толщина основы не сильно отличается от массы и толщины связующего с декоративным слоем, поэтому на водопоглощение и набухание плиты

покрытия на основе ДВП оказывают влияние в равной степени водопоглощение и набухание исходных материалов.

## УСЛОВИЕ ПРОЧНОСТИ ПРИ ДВУХОСНОМ СЖАТИИ БЕТОНА КЛАССА В30

Зиборов Л.А., Теличко В.Г.  
ТулГУ, г. Тула, Россия

Исследование прочности бетона в сложном напряженном состоянии необходимо для решения задач при проектировании железобетонных конструкций, а учет действительной прочности бетона может позволять снизить их материалоемкость. Приведение таких экспериментов связано с определенными трудностями постановки опытов, несмотря на многочисленные исследования, но нет здесь определенной ясности и необходимых данных.

Предельную поверхность бетона как разносопротивляющегося изотропного материала предлагается рассматривать в виде пятипараметрической поверхности второго порядка

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

где  $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$  - главные напряжения;

$R_b, R_{bt}$  - нормируемые величины для каждого класса бетона;

$R_b$  - сопротивление бетона осевому сжатию (призмная прочность)

$\sigma_1 = \sigma_2 = 0, \sigma_3 = -R_b$ ;

$R_{bt}$  - сопротивление бетона осевому растяжению  $\sigma_1 = R_{bt}, \sigma_2 = \sigma_3 = 0$ ;

$A_{12}, A_{23}, A_{31}$  - экспериментально обделяемые параметры.

При двухосном сжатии ( $\sigma_1 = 0 > \sigma_2 > \sigma_3$ ) условие (1) имеет вид

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

Экспериментальная проверка и определение параметра  $A_{23}$  при двухосном сжатии бетона В30 проведена с бетонными плитками. Двухосное сжатие осуществлялось с использованием пятитонного прессы и универсальной машины ГМС-20. На основании опытов параметр  $A_{23}$  для бетона В30 рекомендуется определять из условия

$$A_{23} = \frac{R_b R_{bt}}{R_{2b}^2} + 2 \frac{R_b - R_{bt}}{R_{2b}} - 2 \quad (3)$$

где  $R_{2b}$  - предел прочности бетона при двухосном сжатии равной интенсивности  $\sigma_3 = \sigma_2 = -R_{2b}$ .

В ряде исследований прочности при двухосном сжатии бетона

$$R_{2b} = (1 \div 1,4) \cdot R_b \quad (4)$$

Условие (1), когда  $A_{12} = A_{23} = A_{31} = -1$ , получим двух параметрическое условие Гениева Г.А., прочность бетона при двухосном сжатии определяется

$$R_{2b} = \sqrt{R_b^2 - R_b R_{bt} + R_{bt}^2 + (R_b - R_{bt})} \quad (5)$$

и составляет  $R_{2b} \approx 1,4R_b$ .

Двухосное сжатие (2) с учетом экспериментов для бетона В30 можно принять  $R_b \approx R_{2b}$ , тогда из условия (3)  $A_{23} = -\frac{R_{bt}}{R_b}$  получим

$$\sigma_3^2 + \sigma_2^2 + 0,09 \cdot \sigma_1 \sigma_2 + 24,5 \cdot (\sigma_3 + \sigma_2) = 64,6 \quad (6)$$

Условие (2) для бетона В30 (6) имеет простой аналитический вид и получено хорошее совпадение с опытами на тонких плитках при двухосном сжатии.

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ С УЛУЧШЕННЫМИ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ**

Зобкова Н.В., Пшенов А.А., Фролов М.О.  
*СГТУ, г. Саратов, Россия*

Главной и наиболее распространенной причиной ускоренного износа кирпичных стен, возникновения в них повреждений является периодическое их увлажнение и высыхание в сочетании со знакопеременными перепадами температуры.

Известно, что существующий перепад температур внутри и снаружи здания вызывает перепад парциального давления и, впоследствии, диффузию водяного пара через ограждающую конструкцию. К тому же, если в какой-нибудь зоне ограждающей конструкции температура опускается до точки росы, то происходит выпадение конденсата.

Предотвращение конденсации паров воды в конструкции достигается конструктивными решениями: соответствующим расположением слоев материалов с различной паропроницаемостью и введением при необходимости дополнительных паровых барьеров, предотвращающих или ограничивающих конденсацию.

В исследованиях были рассмотрены варианты утепления наружных кирпичных стен здания, с расположением теплоизоляции снаружи, изнутри, и в самой конструкции для г. Саратова. В качестве теплоизоляционного материала использовали экструзионный пенополистирол марки «Пеноплекс».

Полученные результаты расчетов показали, что наилучшую защиту от увлажнения стены обеспечивает та конструкция, где утеплитель находится как можно ближе к ее наружной поверхности.

На следующем этапе исследований стояла задача выявления влияния климатических условий, в частности температура наружного воздуха и влажность на влажностный режим ограждения. Чтобы проанализировать влияние этих факторов, рассчитали ограждение с применением фасадной системы наружного утепления «мокрого типа». Расчёт проводился для городов с различными климатическими условиями. Для примера взяли условия таких городов, как Москва, Воркута и Архангельск.

Из полученных результатов следует, что в условиях Москвы и Архангельска, утеплитель обеспечивает достаточную защиту от переувлажнения. А при проектировании тепловой защиты в Воркуте необходимо предусмотреть дополнительную защиту утеплителя от конденсата. Это можно объяснить наличием климата с устойчивой низкой температурой. В зимнее время в утеплителе происходит большой и резкий перепад температур. Вследствие этого из-за слабой паропроницаемости пенополистирола, парциальное давление насыщенного водяного пара может превысить значение максимального парциального давления, и это ведет к образованию конденсата.

### **ВЛИЯНИЕ МАСШТАБНОГО ФАКТОРА НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ДРЕВЕСНЫХ КОМПОЗИТОВ**

Икизли Д.С., Киселева О.А.  
*ТГТУ, г. Тамбов, Россия*

В лабораторных условиях удобнее проводить испытания на маленьких образцах (требуются установки меньшей мощности и экономится материал). В реальности изделия и конструкции имеют большие габариты. Изучение масштабного фактора позволит перейти от лабораторных испытаний к реальным конструкциям и изделиям.

В процессе эксплуатации строительные изделия находятся под действием длительных нагрузок, поэтому проследим влияние масштабного фактора на долговечность. Для этого на образцах древесностружечных и древесноволокнистых плит разной длины (12, 17, 24 и 33см) и ширины (1, 2, 3 и 4 см) при поперечном изгибе были проведены длительные испытания в режиме заданных напряжений и температуре 20 °С.

В результате можно сделать следующее заключение. Масштабный фактор сказывается не только на прочности, но и на долговечности ДСП и ДВП.

Для древесноволокнистых плит при изменении габаритов образцов прямая для долговечности смещается строго параллельно. Наиболее сильно масштабный фактор сказывается на долговечности данного композита при варьировании шириной образцов. Так с увеличением ширины долговечность материала увеличивается. Данный факт объясняется тем, что в месте действия максимальных напряжений изменение количества дефектов наиболее опасно. При увеличении длины образцов до 17 см долговечность ДВП практически не изменяется, но при последующих увеличениях параметра наблюдается ее снижение.

Для древесностружечных плит характерна другая картина. Данный материал наиболее чувствителен к изменению длины. При увеличении их длины (до 24 см) первоначально наблюдается увеличение долговечности, но при последующих изменениях параметра она резко падает. С увеличением ширины образцов долговечность ДСП также увеличивается.

## **ОЦЕНКА ОПОКОВИДНЫХ ПОРОД ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТЕНОВОЙ КЕРАМИКИ**

Котляр В.Д.

*РГСУ, г. Ростов-на-Дону, Россия*

Серьёзной проблемой для промышленности стеновой керамики юга России является сырьевая база. Запасы традиционного глинистого сырья, как правило, располагаются на пахотных землях и перевод их в земли промышленного назначения является практически невыполнимой задачей. В связи с этим остро стоит проблема поиска новых сырьевых источников. Исследования, проводимые на протяжении ряда последних лет в Ростовском государственном строительном университете, показали, что кремнистые опал-кристобалитовые породы – опоки, вполне могут служить сырьём для производства стеновой керамики и в какой-то мере снизить остроту проблемы.

Опоковидные породы являются одними из самых распространенных плотных разновидностей кремнистых опал-кристобалитовых пород, характерной особенностью которых является наличие аморфного кремнезема и повышенная микропористость. Сырьевая база их обширна и на настоящее время мало используется. Вещественный состав опоковидных пород изменяется в достаточно широких пределах. Выделяются типичные или нормальные опоки, с небольшим содержанием глинистой составляющей и карбонатов, опоки глинистые, карбонатные, глинисто-карбонатные и т.д. Одним из положительных свойств опоковидных пород, является то, что они располагаются на непахотных бросовых землях. Одним из сдерживающих факторов широкого использования опоковидных пород в качестве сырья для производства стеновой керамики, является отсутствие критериев их предварительной оценки исходя из вещественного состава и структурных особенностей. Разработка методики оценки, позволит переоценить многие существующие, разработанные для других целей месторождения.

В настоящее время не существует чётко обозначенных требований к опокам, как к сырью для производства изделий стеновой керамики. Существующие рекомендательные документы не отвечают существующим реальностям и дезориентируют геологов-поисковиков. Нами разработаны основные требования, которых надо придерживаться при оценке опоковидных пород, в качестве сырья для производства стеновой керамики. Их оценка производится по содержанию химических составляющих, показателям технологических свойств, при различной степени измельчения, и по свойствам обожжённых образцов. Проведённые исследования показали, что рекомендуемая степень измельче-

ния при испытаниях должна быть менее 2,5 мм. При этом содержание фракции менее 1 мм должно составлять не менее 70 %. Нами разработана классификация опоковидных пород, как сырья для производства стеновой керамики, основанная на особенностях вещественного состава и структуры, которая позволяет прогнозировать свойства получаемых изделий.

## **ЦЕМЕНТНЫЕ КОМПОЗИТЫ, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ АДДУКТАМИ НАНОКЛАСТЕРОВ УГЛЕРОДА**

Кочетков С.Н., Низина Т.А., Пономарев А.Н., Козеев А.А.  
МГУ, г. Саранск, Россия

*ООО «НТЦ Прикладных Нанотехнологий», г. Санкт-Петербург, Россия*

Современное строительство связано с производством и переработкой значительных объемов бетонных смесей, от которых требуется высокая удобоукладываемость, сохраняемость достигнутого уровня реологических характеристик во времени, возможность повышения прочности бетона при одновременном снижении его себестоимости, в основном, за счет уменьшения расхода цемента, пластификаторов и наиболее дорогих добавок-модификаторов. Одним из наиболее перспективных путей решения поставленной задачи является возможность использования недорогих модификаторов на основе водорастворимых аддуктов нанокластеров углерода (АНКУ), разработанных ООО «НТЦ Прикладных Нанотехнологий», позволяющих снизить расход дорогих пластификаторов, переводя их за счет модификации из «супер» в гиперпластификаторы. Предлагаемые к использованию в качестве модификаторов водорастворимые соединения углерода позволяют получать устойчивые водные растворы, что значительно упрощает технологию их введения в состав растворных и бетонных смесей.

Для оценки эффективности наномодификаторов были проведены экспериментальные исследования влияния 6 видов АНКУ на свойства цементного камня. В ходе работы использовались портландцементы ЦЕМ I 42,5Б, выпускаемые ОАО «Мордовцемент» и ОАО «ИскитимЦемент». В качестве контрольного был принят цементный раствор с В/Ц=0,27. Содержание суперпластификатора MF 1641 составляло 0,3% от массы цемента; АНКУ – 2,5% от твердой фазы пластификатора.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о положительном влиянии модификаторов АНКУ на реологические свойства смесей на основе цемента (см. табл.).

Таблица

Расплав цементного теста,  
модифицированного наночастицами АНКУ (см)

Вид цемента	контроль	контроль + 0,3% MF1641	Вид модификатора					
			АНКУ 1	АНКУ 2	АНКУ 3	АНКУ 4	АНКУ 5	АНКУ 6
Мордовцемент	0	6,40	9,75	7,75	14,50	14,50	15,00	15,25
Искитим	7,50	13,25	12,50	14,30	15,80	17,25	15,40	17,20

Увеличение подвижности смесей при введении АНКУ позволяет, кроме уменьшения расхода пластификаторов, в ряде случаев снизить и В/Ц отношение, что, как следствие, приводит к повышению прочностных показателей растворов и бетонов. В целом, введение модификаторов АНКУ в смеси на основе Мордовцемента приводит к более значительному приросту расплыва по сравнению с составами на базе Искитима.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 08-08-00151а.

### АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ БИФУРКАЦИОННЫХ НАГРУЗОК НЕЛИНЕЙНО ДЕФОРМИРУЕМЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПАНЕЛЕЙ И ПЛАСТИН, СЖАТЫХ УСИЛИЯМИ НА КОНТУРЕ

Кривошеин И.В.

СГТУ, г. Саратов, Россия

При докритических безмоментных состояниях физически нелинейных цилиндрических панелей и пластин постоянной толщины  $h = const$ , шарнирно опертых по контуру на гибкие диафрагмы и сжатых на сторонах контура  $x = 0, x = a$  равномерно распределенными погонными усилиями  $P_x$ , в сечениях, параллельных оси  $y$ , мембранные усилия равны  $N_x = -P_x$ , что справедливо и для критического значения  $P_x$ , когда  $N_x = -P_{x_{кр.}}$  и нормальные напряжения  $\sigma_x$  определяются по формуле  $\sigma_x = -P_{x_{кр.}} / h$ . Для линейно-упругого материала цилиндрической панели или пластины деформация в направлении сжатия равняется  $\varepsilon_x = \sigma_x / E$ . Используем затем аналитическое выражение зависимости напряжений от деформаций конкретного нелинейно-деформируемого материала  $\sigma = F(\varepsilon)$  и подсчитываем при известной величине  $\varepsilon_x$  конкретную величину  $\sigma_x^{неупр} = F(\varepsilon_x)$ . Далее определяем величину сжимающего усилия по формуле  $P_{x_{кр.}}^{неупр.} = -\sigma_x^{неупр.} * h$ .

Сопоставляем величины параметров  $P_{x_{кр.}}^* = P_{x_{кр.}} a^2 / (Eh^3)$  при линейно-упругой и нелинейно-упругой работе материала с  $\sigma_{i_6} = 102 \text{ (МПа)}$ ,  $\varepsilon_{i_6} = 0,03$ , отвечающие потере устойчивости квадратных в плане  $a = b$  цилиндрических панелей и пластин в случае аппроксимации функций прогиба и усилий в синусах по  $x$  и по  $y$ . Выявлено, что с ростом величины параметра  $h/b$  влияние нелинейности деформирования материала на величину  $P_{x_{кр.}}^*$  значительно возрастает: для пластин с  $h/b = 1/15$  понижение величины  $P_{x_{кр.}}^*$  по сравнению с решением линейно-упругой задачи составляет 22%, а для цилиндрической панели с  $k_\eta = k_y b^2 / h = 16$  и  $h/b = 1/20$  - 39,8%.

При значениях параметра относительной толщины  $h/b$ , превышающих указанные выше величины, материал панелей или пластин разрушается до потери ими устойчивости.

## О БИФУРКАЦИОННОЙ ПОТЕРЕ УСТОЙЧИВОСТИ ГИБКИХ НЕЛИНЕЙНО-УПРУГИХ ОБОЛОЧЕК

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

Для оболочек со значительными величинами параметров главных кривизн  $k_x = k_x(2a)^2/h$ ,  $k_y = k_y(2b)^2/h$  при габаритах в плане  $2a = 2b$  сопоставляем нагрузки бифуркации симметричного и несимметричных равновесных состояний  $P_{биф}$  и нагрузки потери устойчивости по симметричной форме  $P_g$ .

Используем разрешающую систему уравнений дважды нелинейных оболочек в смешанной форме. Для решения нелинейной краевой задачи применяем высокие приближения метода Бубнова-Галеркина (МБГ) и метод конечных разностей (МКР) с точностью аппроксимации  $O(\Delta^2)$  и сеткой  $32 \times 32$ . В таблице приведены параметры нагрузки  $P = qa^4 / (Eh^4)$  ( $P_{биф}$  и  $P_g$ ) для цилиндрических панелей с относительной толщиной  $h/(2a) = 1/66,6(6)$ , изготовленных из несжимаемого материала при  $\sigma_{ig} = 102$  (МПа),  $\varepsilon_{ig} = 0,03$  и шарнирно опертых на гибкие диафрагмы. Значение  $P_{биф}$  определялось исходя из условия обращения в ноль величины определителя решаемой СЛАУ.

$k_\eta$	48		56		64	
Метод	МБГ	МКР	МБГ	МКР	МБГ	МКР
$P_{биф}$	290,953	276,403	375,170	354,787	459,897	436,076
$P_g$	335,198	336,035	537,888	535,813	711,095	711,529

Выявлено, что с ростом параметра кривизны  $k_\eta$  отношение  $P_g / P_{биф}$  увеличивается и при  $k_\eta = 64$  составляет 1,632. При этом априорное задание в МБГ формы несимметрии ответвляющейся кривой в виде  $A \cos(\pi x / (2a)) \sin(\pi y / b)$  приводит к получению больших величин  $P_{биф}$ , чем в МКР. Установлено, что для панелей при условиях скользящей заделки на контуре для нагрузок  $P < P_g$  нет точек бифуркации решений и нормативную величину нагрузки следует назначать, ориентируясь на величину предельной нагрузки  $P_g$ .

**О ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРИТИЧЕСКИХ НАГРУЗОК  
НЕЛИНЕЙНО-ДЕФОРМИРУЕМЫХ ОБОЛОЧЕК  
ПО МЕТОДУ КОНЕЧНЫХ РАЗНОСТЕЙ**

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

Рассматриваем для пологих квадратных в плане с габаритами  $2a = 2b$  оболочек с параметрами главных кривизн  $k_\xi = k_x(2a)^2/h$ ,  $k_\eta = k_y(2b)^2/h$  дважды нелинейную краевую задачу при записи разрешающей системы уравнений в перемещениях. Для решения задачи используем метод конечных разностей (МКР) с точностью аппроксимации  $0(\Delta^2)$ . Разыскиваем нагрузки ветвления кривых симметричного и несимметричного равновесных состояний  $P_{\text{биф}}$  из условия обращения в ноль определителя решаемой СЛАУ, а также нагрузки потери устойчивости по симметричной форме  $P_\epsilon$ . В таблице приведены параметры данных нагрузок  $P = qa^4/(Eh^4)$  ( $P_{\text{биф}}$  и  $P_\epsilon$ ) для шарнирно-неподвижно опертых на контуре цилиндрических панелей с параметрами кривизн  $k_\xi = 0$ ,  $k_\eta = 24$  и относительной толщиной  $h/(2a) = 1/50$ , изготовленных из несжимаемого нелинейно-деформируемого материала при  $\sigma_{i\epsilon} = 102$  (МПа),  $\epsilon_{i\epsilon} = 0,03$ .

Сетка	24*24	20*20	16*16	12*12
$P_{\text{биф}}$	177,575	177,675	182,021	187,841
$P_\epsilon$	195,480	195,720	196,387	198,375

Выявлено, что с увеличением шага сетки МКР точность определения критических нагрузок  $P_{\text{биф}}$ , соответствующих потере устойчивости панелей, понижается существенно быстрее, чем точность подсчета величин  $P_\epsilon$  и уже для сетки 16\*16 качество решения бифуркационной задачи МКР следует признать неудовлетворительным. Выявлено также, что для оболочек, жестко заземленных по контуру, в докритической области нагружения  $P < P_\epsilon$  нет точек бифуркации решений и нормативную величину нагрузки следует назначать, ориентируясь на величину предельной нагрузки  $P_\epsilon$ .

## УСТОЙЧИВОСТЬ ГИБКИХ НЕЛИНЕЙНО-УПРУГИХ ПОЛОГИХ ОБОЛОЧЕК ПЕРЕМЕННОЙ ТОЛЩИНЫ

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

Применение оболочек переменной толщины  $h(x, y)$  позволяет увеличивать величины нагрузок потери устойчивости при идентичности объемов оболочек с постоянной и переменной толщинами. Рассмотрим пологие цилиндрические панели с толщиной, изменяющейся по закону

$$h(x) = h_0 + (h_0 / 3) \cos(4\pi x), \quad (1)$$

моделирующему ребра жесткости оболочки по направлению Y. В качестве материала оболочки рассматриваем полимербетон с предельными величинами интенсивностей напряжений и деформаций  $\sigma_{ie} = 102 \text{ (МПа)}$ ,  $\varepsilon_{ie} = 0,03$ .

Параметры кривизны оболочки равны  $k_z = 0$ ,  $k_\eta = k_y(b)^2 / h = 48$ , относительная толщина составляет  $h/a = 1/80$ . Формулировка дважды нелинейной краевой задачи включает уравнения в смешанной форме при контурных условиях шарнирного опирания на гибкие диафрагмы. Сопоставление данных расчетов по методу Бубнова-Галеркина для геометрически нелинейных оболочек с постоянной толщиной  $h = const$  и толщиной по закону (1) показало, что низшая критическая нагрузка  $P_{кр} = q_{кр} a^4 / (Eh^4)$  бифуркационной потери устойчивости равна для случая с  $h = const$  294,190, что меньше на 5% аналогичной величины, равной 309,029 для закона изменения толщины (1). При дополнительном учете физической нелинейности материала величина низшей критической нагрузки  $P_{кр}$  снизилась для случая с  $h = const$  на 8,56% и составила 270,992, а для случая с толщиной по закону (1) понизилась на 9,28% и составила величину 282,785, превышающую сравниваемое значение на 4,35%. Таким образом, существует возможность повышения величины нагрузки потери устойчивости оболочки при рациональном распределении материала по ее плану. Установлено также, что ветви несимметричных равновесных состояний, ответвляющиеся при нагрузке бифуркации  $P_{кр \min} = P_{биф}$  от кривой симметричных равновесных состояний, являются неустойчивыми, что соответствует разрушению нелинейно-упругой цилиндрической панели после потери ею устойчивости при  $P_{биф}$ .

## УСТОЙЧИВОСТЬ ГИБКИХ ФИЗИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПАНЕЛЕЙ И ПЛАСТИН ПОД ДЕЙСТВИЕМ СЖИМАЮЩИХ КОНТУРНЫХ УСИЛИЙ

*Кривошеин И.В.*  
СГТУ, г. Саратов, Россия

Для исследования устойчивости равновесных состояний цилиндрических панелей и пластин на квадратном плане, сжатых на сторонах контура  $x=0, x=a$  равномерно распределенными погонными усилиями  $P_x$ , применяем метод Бубнова-Галеркина (МБГ). Выявлено, что введение ограничения  $\varepsilon_{i \max} \leq \varepsilon_{пред.}$  при относительной толщине  $h/b=1/40$  не позволяет получить решение для гибкой нелинейно-упругой пластины при значениях, больших чем  $P_x^* = P_x b^2 / (Eh^3) = 10,52$ , и для гибкой цилиндрической панели с параметром  $k_\eta = k_y b^2 / h = 16$  при  $w(0,5;0,5) > 4,0$ . Для исследования устойчивости цилиндрических панелей и пластин используем динамический критерий, подсчитывая величины квадратов частот собственных малых колебаний  $\omega_{mn}^2$ .

Выявлено, что все закритические равновесные состояния гибких нелинейно-упругих пластин устойчивы к малым возмущениям по любой форме, а в точке бифуркации имеем  $\omega_{11}^2 = 0$ . Равновесные состояния гибких цилиндрических панелей на закритических нисходящих ветвях и в окрестности точки бифуркации неустойчивы, поэтому цилиндрическая панель при достижении нагрузки  $P_{x \text{ биф.}}^*$  перескакивает хлопком на закритическую восходящую ветвь устойчивых равновесных состояний, величины напряжений на которой превосходят предельно допустимые для данного материала. При учете поперечной нагрузки от собственного веса цилиндрических панелей бифуркационная задача заменяется определением предельной величины  $P_{x \text{ в}}^*$ . В частности, для панели с параметрами  $K_\eta = 16$  и  $h/b=1/40$  при совместном действии малой поперечной нагрузки  $p=1$  и контурных сжимающих сил величина предельного сжимающего усилия составляет  $P_{x \text{ в}}^* = 8,656$ , что на 18,2% меньше величины бифуркационной нагрузки  $P_{x \text{ биф.}}^* = 10,587$ . В этой связи необходимо введение коэффициента запаса устойчивости  $K_{уст.} > 1$ , величину которого необходимо увеличивать при уменьшении относительной толщины гибких пологих нелинейно-упругих цилиндрических панелей.

## ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ГИБКИХ НЕЛИНЕЙНО-УПРУГИХ ПОЛОГИХ ОБОЛОЧЕК

Кривошеин И.В., Петрунина Е.А., Селиванов Ф.С., Семенов П.К., Кеков А.В.  
*СГТУ, г. Саратов, Россия*

Известны различные варианты записи системы разрешающих уравнений теории пологих оболочек: с учетом геометрической нелинейности (Г.Н.), физической нелинейности (Ф.Н.), геометрической и физической нелинейностей (Г.Ф.Н.). Сопоставим расчеты по методу конечных разностей (МКР) с точностью аппроксимации  $O(\Delta^2)$  и сеткой  $32 \times 32$  по полю оболочек на квадратном плане  $2a = 2b$ , изготовленных из несжимаемого нелинейно-деформируемого материала при  $\sigma_{i_0} = 102$  (МПа),  $\varepsilon_{i_0} = 0,03$ , с учетом различных нелинейностей для уравнений в смешанной форме при граничных условиях скользящей заделки. Параметры кривизны равны  $k_x = k_x(2a)^2 / h = 32$ ,  $k_y = k_y(2b)^2 / h = 32$ , относительная толщина  $h / (2a) = 1 / 66,6(6)$ . В таблице приведены параметры верхних критических нагрузок  $P_0 = q_0 a^4 / (Eh^4)$ , изгибающих моментов  $M_\xi = M_x a^2 / (Eh^4)$ , мембранного усилия  $N_\xi(0,0) = N_x a^2 (Eh^3)$  и максимальная интенсивность деформаций  $\varepsilon_{i_{\max}}$ .

Тип нелин.	$P_0$	$\varepsilon_{i_{\max}} \cdot 100$	$M_\xi(0,0)$	$M_\xi(1,0)$	$N_\xi(0,0)$
Г.Н.	380,658	1,52585	1,00303	-3,00629	-3,42951
Ф.Н.	724,534	2,67536	0,28917	-4,26243	-3,77629
Г.Ф.Н.	373,461	1,60444	0,97042	-2,88391	-3,38025

Данные таблицы, полученные при значении параметра прогиба в центре оболочки  $w(0,0) = 1,9$ , свидетельствуют о снижении величины критической нагрузки  $P_0$  для дважды нелинейной задачи по сравнению с расчетом гибкой линейно-упругой оболочки, однако для относительной толщины оболочки  $h / (2a) = 1 / 66,6(6)$ , определяемой необходимостью получения  $P_0$  при допустимых деформациях материала, данное понижение незначительно и параметры НДС для двух обсуждаемых расчетов достаточно близки. Если же ограничиться учетом физической нелинейности задачи, то получается качественно иное решение для параметров НДС оболочки и, кроме того, становится невозможным исследование устойчивости оболочки.

## **ВЛИЯНИЕ ЖЕСТКОСТИ ОПОРНОЙ ПЛИТНО-СТЕРЖНЕВОЙ КОНСТРУКЦИИ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ**

Леденёв В.В., Струлёв В.М., Азама Нилас  
*ТГТУ, г. Тамбов, Россия*

Распорные системы передают значительные горизонтальные нагрузки. Использование традиционных массивных опорных конструкций не целесообразно из-за большого перерасхода материалов, прочностные характеристики которых недостаточно использованы. Отсюда возникает важная проблема разработки облегченных опорных плитно-стержневых конструкций для восприятия не только вертикальных, но и горизонтальных нагрузок. К числу таких конструкций относятся плитно-стержневые опорные конструкции, состоящие из плиты, стойки, подкоса и оголовка.

В данной работе были исследованы три модели опорных конструкций – М1, М2 и М3 высотой 300, 240 и 220 мм с прямоугольной подошвой (плитной частью) с поднятым участком под углом  $20^\circ$  с гладкой контактной поверхностью, со стойкой и подкосом образующие угол раствора равный  $\approx 25^\circ$ . Модели были заглублены на 45мм в грунт.

Площадь контакта плитной части была равной  $20000 \text{ мм}^2$  для модели М1,  $16200 \text{ мм}^2$  для модели М2 и  $12800 \text{ мм}^2$  для модели М3.

Для оценки жесткости моделей, использовали показатель гибкости по формуле Горбунова-Поссадова. Были получены следующие показатели гибкости:  $\gamma = 60,32$  для модели М1,  $\gamma = 43,97$  для модели М2 и  $\gamma = 30,88$  для модели М3. Такие модели считаются гибкими.

Анализ напряженно-деформированного состояния моделей был произведен с помощью ЭВМ с пакетом прикладных программ SAP2000 использующей числовую методику интеграции основанной на методе быстрого нелинейного анализа Вильсона с пространственными гибридными конечными элементами.

Приложенная сила на опорные конструкции были равна минимальной из экспериментально полученных несущих способностей основания под моделями. Она составляла 9,12 кН и была приложена под углом  $15^\circ$ .

Полученные максимальные значения изгибающих моментов под плитной частью в точках сопряжения стоек с плитой были равные: под левой стойкой – 3,09 кН.м/м для М1; 1,66 кН.м/м для М2 и 1,27 кН.м/м для М3; под правой стойкой – 3,65 кН.м/м для М1; 1,39 кН.м/м для М2 и 1,24 кН.м/м для М3. Соответствующие максимальные давления были равны: под левой стойкой – 416 кПа для М1; 503 кПа для М2 и 586 кПа для М3; под правой стойкой – 435 кПа для М1; 450 кПа для М2 и 586 кПа для М3.

Эти значения показывают, что уменьшение жесткости плитной части влечет за собой уменьшение максимальных изгибающих моментов и увеличение максимальных давления под плитой.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИИ ПЕСЧАНОГО ОСНОВАНИЯ РАМНОГО ФУНДАМЕНТА

Леденёв В.В., Струлёв В. М., До Ван Мань  
*ТГТУ, г. Тамбов, Россия*

На фундаменты распорных систем передаются значительные по величине наклонные нагрузки. Особенностью таких фундаментов является то, что они работают на совместное действие как вертикальных, так и горизонтальных нагрузок, что приводит к увеличению расхода материалов на устройство фундаментов.

Данная работа посвящена исследованию осадки песчаного основания рамных фундаментов при различных конструктивных решениях подошвы.

Были исследованы 4 модели рамного фундамента с одинаковыми площадями контакта. Модель рамного фундамента РФ-1 имеет прямоугольную подошву, передняя часть у которой поднята вверх на угол  $19^\circ$ . Модель рамного фундамента РФ-2 имеет плоскую прямоугольную подошву. Модель рамного фундамента РФ-3 имеет подошву тавровой формы. Передняя часть подошвы у этой модели поднята вверх на угол  $19^\circ$ . Модель рамного фундамента РФ-4 имеет раздельную подошву из двух прямоугольных частей. Все четыре модели выполнены из металла. База и подошва моделей выполнены из металлических пластин, а стойка и подкос – из прокатных уголков. Все элементы модели соединены между собой посредством сварки.

Модели были заглублены на 45 мм в грунт. Основанием являлся песок влажностью  $\omega = 4\%$ , послойно уплотненный до  $\rho = 1,7 \text{ г/см}^3$ . Нагрузку на модели передавали рычагом, подвешивая грузы весом по 4 кг с интервалом 20 минут, до стабилизации показателей индикаторов.

Угол наклона нагрузки к вертикали принимался равным  $0^\circ, 15^\circ, 25^\circ, 35^\circ$  и  $45^\circ$ , а угол наклона подошвы к горизонтали –  $0^\circ, 10^\circ, 20^\circ$  и  $30^\circ$ .

Результаты показали, что устройства наклонного участка в модели рамного фундамента РФ-1 имеет наибольший эффект по несущей способности –  $F_u = 14,7 \text{ кН}$  и минимальное перемещение на единицу силы –  $S_u/F_u = 0,1 \text{ мм/кН}$ . Наибольший эффект достигался при угле наклона нагрузки равным  $15^\circ$  и горизонтальном расположении плитной части модели.

При больших углах наклона нагрузки ( $25^\circ, 35^\circ$  и  $45^\circ$ ) наиболее эффект (максимальная несущая способность и минимальное перемещение на единицу силы) достигается при угле наклона подошвы более  $20^\circ$ .

Определены оптимальные области применения различных моделей плитной части фундамента в зависимости от эксплуатационных условий.

## ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ОБРАБОТКА ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ СРЕД

Леонов В.М.  
*ТулГУ, г. Тула, Россия*

Моделирование процессов формоизменения двухкомпонентных электропроводных сред с выраженной анизотропией наряду с необходимостью рас-

чета распределения основных характеристик напряженно-деформированного состояния в объеме заготовки в фиксированный момент времени подразумевает решение вопроса об установлении критериев перехода из вязкоупругого в вязкопластическое состояние, в рассматриваемом сегменте материала заготовки. Тензор деформаций может быть представлен в виде:

$$\varepsilon_{ij} = \varepsilon_{ij}^e + \varepsilon_{ij}^V + \varepsilon_{ij}^P,$$

где  $\varepsilon_{ij}^e, \varepsilon_{ij}^V, \varepsilon_{ij}^P$  - компоненты упругой, вязкой (зависящей от времени), пластической (не зависящей от времени) деформаций. Данный подход рассматривается в работах В.А. Маленкова, В.Г. Малинина [1], где и вводится понятие «пути быстрого нагружения и мгновенной поверхности текучести».

В работах упомянутых авторов делается предположение, что процессы разрушения и ползучести являются взаимно сопутствующими и связанными по ряду количественных характеристик. За основу может быть принята гипотеза, что в заданный момент времени имеется зависимость интенсивности рассеивания энергии в процессе ползучести  $W = \sigma \cdot \dot{P}$  от величины рассеянной удельной работы  $A = \int_0^t \sigma \dot{P} dP$  и действующего напряжения  $\sigma$  :

$$W = \psi(A, \sigma).$$

Дальнейшее упоминание о переносе имеющихся недостатков теории пластичности на модели ползучести приводит авторов к выводу о невозможности «в рамках единой теории описать достаточно широкий ассортимент температурно-временных эффектов, наблюдаемых при деформировании твердого тела». На мой взгляд, преодоление указанных и вполне реальных недостатков возможно при условии применения соотношений, приведенных в работах профессора, д.т.н. Трещева А.А. [2] и сочетании данного подхода с работами перечисленных авторов, по результатам ознакомления с которыми возникли следующие предположения.

Для элементарного, заранее выбранного объема материала величина энергии, необходимой для формоизменения до появления дефекта на микроуровне, с учетом истории нагружения, является конечной величиной. Исчерпание данного ресурса неизбежно ведет к нарушению взаимосвязи с близлежащими сегментами материала, а также началу необратимого процесса формирования новообразования в структуре, изначально не свойственного ей. Данное новообразование локализует в себе деформационное распределение отличное от окружающих сегментов.

В дальнейшем, формализация изложенных предположений, соотношенная с пространственно-временным распределением компонент тензора деформаций, позволит конкретизировать критерий разрушения для исследуемых материалов.

В двухкомпонентной среде в ходе обработки особое значение приобретают микропластические деформации, которые приводят к деформационной анизотропии с появлением анизотропного тензора эффективных упруго-пластических жесткостей. Одновременно с этим, наличие ориентированных микропластических зон увеличивает предел текучести. Отсюда условие предварительного расчета и последующего контроля силы электромагнитного воздействия на заданной глубине материала приобретает практическое значение.

Принципиальная схема обработки может быть реализована также за счет дополнительного применения индукционного нагревателя ТВЧ.

Воздействие полей - силовое и термическое. Проникновение поля на глубину до 4 - 6 мм. позволит сформироваться в металле более однородной структуре. Предварительный индукционный нагрев металла до температуры рекристаллизации способствует достижению более высоких характеристик, но без перехода в жидкую фазу.

Практические аспекты воздействия импульсного магнитного поля (далее ИМП) на нагретый до температуры рекристаллизации металл заключаются в следующем:

- распространение ударной волны в материале способствует уплотнению металла при температуре рекристаллизации, его дегазации, а также формированию мелкозернистой структуры. Данное обстоятельство применительно к многокомпонентным средам приведет к более низким значениям напряжений и более равномерному их распределению в окрестности армирующих включений, что позволит снизить вероятность зарождения магистральных трещин при последующей эксплуатации изделия;

- силовое воздействие ИМП обеспечит изменение дендритной структуры, а интенсивный теплообмен ускорит образование центров кристаллизации.

Характеристики НДС двухкомпонентной среды в результате обработки будут во многом predeterminedены способом нагружения опытного образца, формой импульса внешнего давления, соотношением упругопластических жесткостей компонентов и их пространственным распределением, что в сочетании с перечисленными аспектами требует дополнительного исследования.

#### Библиографический список

1. В.А. Голенков, В.Г. Малинин, Н.А. Малинина. Структурно-аналитическая мезомеханика и ее приложения. - М.: Машиностроение, 2009. 635 с.
2. Трещев А.А. Теория деформирования и прочности материалов, чувствительных к виду напряженного состояния. Определяющие соотношения: монография. М.: Тула: РААСН; ТулГУ, 2008. 264 с.

## О ДЕФОРМАЦИОННОМ РАСЧЕТЕ КАРКАСА РАМНО-БАЛОЧНОГО ТИПА С Х-ОБРАЗНЫМИ ОПОРАМИ С ГОРИЗОНТАЛЬНЫМИ СОЕДИНЕНИЯМИ В ИХ ВЕРШИНАХ

Лунёв Л.А., Нужный С.Н.  
СТИ НИТУ МИСус, г. Старый Оскол, Россия

В данной работе дан деформационный расчет каркаса рамно-балочного типа с Х-образными опорами с горизонтальными соединениями в их вершинах (рис. 1).

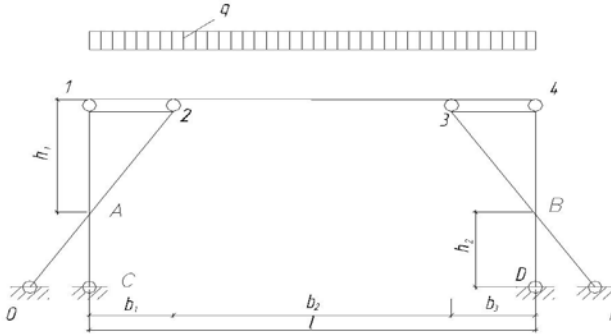


Рис.1. Схема каркаса рамно-балочного типа с Х-образными опорами с горизонтальными соединениями в их вершинах

Расчленим схему каркаса на три конечных элемента: на балочную систему с податливыми опорами и на две Х-образные опоры (рис. 2).

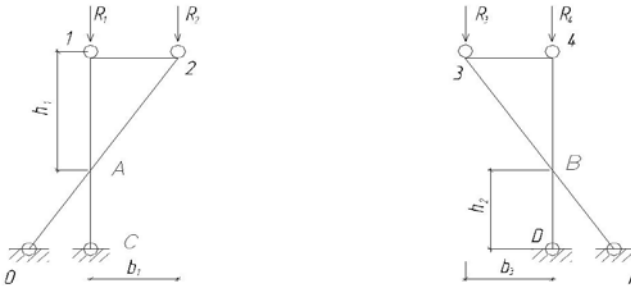


Рис.2. Правая и левая Х-образные опоры

Балочную систему с податливыми опорами разобьем на три конечных элемента 1-2, 2-3, 3-4, расчетная модель балочной системы представлена на рисунке 4.

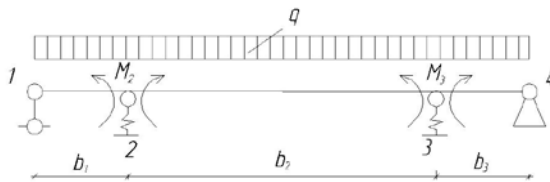


Рис. 3. Расчетная модель ригеля каркаса рамно-балочного типа

В местах сочленения конечных элементов 1-2, 2-3, 3-4, составляя условие неразрывности деформаций, получим следующие уравнение:

$$A_1 \vec{M} + \vec{W}^{(q)} = B_1 \vec{y}, \quad (1)$$

где

$$A_1 = \frac{1}{6EJ_p} \begin{vmatrix} (2b_1 + b_2) & b_2 \\ b_2 & 2(b_2 + b_3) \end{vmatrix}; \quad (2)$$

$$B_1 = \frac{1}{6EJ_p} \begin{vmatrix} (\frac{1}{b_1} + \frac{1}{b_2}) & -\frac{1}{b_2} \\ -\frac{1}{b_2} & (\frac{1}{b_2} + \frac{1}{b_3}) \end{vmatrix}; \quad (3)$$

$$\vec{y} = \begin{vmatrix} y_1 & y_2 \end{vmatrix}^T; \quad (4)$$

$$\vec{M} = \begin{vmatrix} M_2 & M_3 \end{vmatrix}^T, \quad (5)$$

здесь  $y_1, y_2$  – перемещения балочной системы в точках 2 и 3.

$$\vec{W}^{(q)} = \frac{q}{24EJ_p} \begin{vmatrix} b_1^3 + b_2^3 \\ b_2^3 + b_3^3 \end{vmatrix}; \quad (6)$$

$$\vec{y} = C \vec{M} + \vec{y}^q; \quad (7)$$

$$C = \begin{vmatrix} -\Pi_2(\frac{1}{b_1} + \frac{1}{b_2}) & -\frac{\Pi_2}{b_2} \\ -\frac{\Pi_2}{b_2} & \Pi_3(\frac{1}{b_2} + \frac{1}{b_3}) \end{vmatrix}; \quad (8)$$

$$\vec{y}^{(q)} = \begin{vmatrix} \frac{\Pi_2 q (b_1 + b_2)}{2} \\ \frac{\Pi_3 q (b_2 + b_3)}{2} \end{vmatrix}; \quad (9)$$

Здесь  $\Pi_2, \Pi_3$  – податливость опор 2 и 3:

$$\Pi_2 = \Pi_3 = \frac{(b_1 / h_1)^2 b_1}{EF_{12}} + \frac{[1 + (b_1 / h_1)^2] \sqrt{h_1^2 + b_1^2}}{EF_{2A}} + \frac{[1 + (b_1 / h_1)^2] \sqrt{h_2^2 + b_1^2}}{EF_{0A}}; \quad (10)$$

$$R_1 = \frac{qb_1}{2} + \frac{M_2}{b_1}; \quad (11)$$

$$R_2 = \frac{q(b_1 + b_2)}{2} + \frac{M_3 - M_1}{b_2} - \frac{M_1}{b_1}; \quad (12)$$

$$R_3 = \frac{q(b_2 + b_3)}{2} + \frac{M_2 - M_3}{b_2} - \frac{M_3}{b_1}; \quad (13)$$

$$R_4 = \frac{qb_3}{2} + \frac{M_3}{b_3}; \quad (14)$$

Усилие в стержнях 1А и 2А равно:

$$N_{1A} = R_1 \quad (15)$$

$$N_{2A} = R_2 \frac{1}{\sqrt{1 + b_1^2/h_1^2}}. \quad (16)$$

Из условия равновесия в узлах А и В, найдем усилия в стержнях ОА, АС, ВD, ВК:

$$N_{OA} = N_{2A}, \quad N_{AC} = N_{1A} \quad (17)$$

Из условия симметрии усилия в узле В находятся, аналогично узлу А.

Таким образом, предложенный алгоритм расчета каркаса рамно-балочного типа с Х-образными опорами позволяет определить силовые и деформационные факторы в нем.

## О ДЕФОРМАЦИОННОМ РАСЧЕТЕ 2-х ПРОЛЕТНОЙ РАМЫ С Т-ОБРАЗНОЙ ОПОРОЙ И КОНСОЛЬНЫМИ РИГЕЛЯМИ

Лунёв Л.А., Суховерков Н.В.

*СТИ НИТУ МИСиС, г. Старый Оскол, Россия*

В данной статье приводится деформационный расчет двухпролетной рамы с Т-образной опорой имеющие консольные ригеля с разгружающим фонарем.

Необходимо определить прогиб в точках в Г-образных рамах и Т-образной опоре.

Прогибы в точках определим способом Верещагина отдельно для нагрузки  $q-Yq$ , для сил  $p-Yp$  и для силы  $A-qA$  в Г-образных рамах:

$$Y_q = -\frac{C}{6EJ_p} \left[ \frac{q(c+a)^2}{2} \cdot c + q\left(\frac{c}{2} + a\right)^2 \cdot c \right] - \frac{q(c+a^2)}{2EJ_k} \cdot h \cdot c,$$

$$Y_{P1} = -\frac{C}{6EJ_p} \left[ 2P_1(c+a) \cdot c + P_1ac \right] - \frac{P_1(c+a)}{EJ_k} \cdot h \cdot c,$$

$$Y_{A1} = A_1 \left[ \frac{c^3}{3EJ_p} + \frac{c^2h}{EJ_k} \right].$$

Прогибы  $y_{k1}^T$  и  $y_{k2}^T$  в точках для Г-образной опоры при симметричном приложении нагрузки равны между собой  $y_{k1}^T = y_{k2}^T = \frac{A_1(l-c)^3}{EJ_T}$ .

Так как прогибы в ригеле Г-образной рамы от  $q$ ,  $P$  и  $A$  равны прогибам в Т-образной рамы от сил  $A$ , то получим следующее выражение, из которого можно найти силы  $A$

$$y_K^T = y_q + y_P + y_A = y_K^T,$$

$$A_1 = \frac{y_P + y_q}{\frac{c^3}{3EJ_P} + \frac{c^2h}{EJ_K} - \frac{(l-c)^3}{EJ_T}}.$$

После определения силы  $A$  взаимодействия Г-образной и Т-образных рам легко построить эпюры изгибающих моментов, перерезывающих сил и продольных сил в них и оценить напряженно деформированное состояние в двухпролетной раме.

## О РЕГУЛИРОВАНИИ УСИЛИЙ В ТРЕХПРОЛЕТНОЙ РАМЕ С ПОМОЩЬЮ ОПИРАНИЯ БАЛКИ НА КОНСОЛИ ФЕРМ

Лунёв Л.А., Хопин А.А.  
СТИ НИТУ МИСиС, г. Старый Оскол, Россия

В данной статье предлагается способ регулирования усилий в трехпролетной раме с помощью опирания балок на консоли ферм среднего пролета.

Расчетная модель такой конструкции представим в виде Г-образной рамы и однопролетной рамы с ригелем в виде двухконсольной фермы с разгружающим её усилиями  $K$ .

$R = 0,5ql_1$  – реакция в Г-образных рамах.

Расчетная модель средней части трехпролетной рамы представлена в виде однопролетной рамы с ригелем в виде двухконсольной фермы с разгружающими её усилиями  $-R$ .

Для наглядности работы предлагаемой модели воспользуемся балочной аналогией фермы.

Максимальный изгибающий момент на консоли ригеля средней части рамы от совместного воздействия  $q$  и  $R$  увеличится на величину  $Ra$ ,

$$M_A = M_B = \frac{ql^2}{2} \left( \frac{1}{4} - \frac{a^2}{c^2} \right) - Ra,$$

а в средней части пролета уменьшится на ту же самую величину  $Ra$ .

Таким образом, усилия в поясах фермы в середине пролета уменьшатся на величину

$$N = \frac{Ra}{h},$$

где  $a$  – длина консоли фермы;  $h$  – высота фермы;  $R$  – реакция балочного элемента.

## О НАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ ДВУХПРОЛЕТНОГО КАРКАСА СТОЯЧНО-БАЛОЧНОЙ КОНСТРУКЦИИ, ИМЕЮЩЕГО ГИБКИЕ ОПОРЫ

Лунёв Л.А., Шишковский А.В.  
СТИ НИТУ МИСиС, г. Старый Оскол, Россия

В данной статье приводятся методика определения силовых факторов в двухпролетном каркасе стоячно-балочной конструкции, имеющие гибкие опоры.

Исходя из расчетных схем двухпролетного каркаса с двумя гибкими опорами, по методу сил, однажды статически неопределима. Решая каноническое уравнение для данной схемы, получим:

$$x_1 = \frac{ql_1^2(l_1+l_2)}{8(l_1(l_1^2+l_2^2)+8nn(1+l_1/l_2))}. \quad (1)$$

В выражении (1)  $n = EI_6/EA_r$ ,

Где  $EI_6$  – изгибная жесткость ригеля;  $EA_r$  – жесткость гибких опор при растяжении.

Окончательные максимальные моменты в ригеле рамы равны:

$$M_{ok}^{max} = \frac{ql_1^4(l_1+l_2)}{8(l_1(l_1^2+l_2^2)+8nn(1+l_1/l_2))} + \frac{ql_1^2}{2}. \quad (2)$$

Продольное усилие в колонне равно:

$$N_{2B} = \frac{ql_1^2(l_1+l_2)}{8(l_1(l_1^2+l_2^2)+8nn(1+l_1/l_2))}. \quad (3)$$

Продольное усилие в гибкой опоре 1А равно:

$$N_{1A} = x_1. \quad (4)$$

Продольное усилие в гибкой опоре 3С равно:

$$N_{3C} = \frac{l_1}{l_2} x_1. \quad (5)$$

Полученные силовые факторы в двухпролетном каркасе стоячно-балочной конструкции, имеющем гибкие опоры, позволяет оценить напряженное состояние во всех элементах каркаса.

## ПРОВЕРКА ПРИНЦИПА БЕЙЛИ ДЛЯ ДРЕВЕСНОВОЛОКНИСТЫХ ПЛИТ

Мамонов Д.Н., Киселева О.А.  
*ТГТУ, г. Тамбов, Россия*

В процессе эксплуатации строительные материалы находятся под действием длительных нагрузок, которые приводят к их разрушению. В связи с этим возникла необходимость в изучении долговечности материалов, что возможно с позиции термофлуктуационной концепции разрушения и деформирования твердого тела. Строительные конструкции подвержены действию не только постоянных, но и временных нагрузок. Временная нагрузка действует с какой-то периодичностью, что можно учесть с помощью принципа Бейли.

Рассмотрим суть данных теорий. Для разрушения материала необходимо время, в течение которого в нагруженном теле протекают процессы, приводящие к его разделению на части за счет элементарных актов разрыва межатомных (химических) связей. При этом время само по себе роли не играет, оно лишь увеличивает количество тепловых флуктуаций, необходимых для реализации тех процессов разрыва связей, которые препятствуют критическому событию [1].

Согласно принципу Бейли (принцип аддитивности) время до разрушения (долговечность) или до заданного уровня деформации не зависит от перерывов («отдыха») при его нагружении. В течение всего времени нагружения в материале накапливаются необратимые изменения, приводящие к разделению тела на части [1].

Однако согласно термофлуктуационной концепции прочности твердого тела под действием тепловых флуктуаций разорванные связи могут рекомбинироваться, что отразится на выполнимости принципа Бейли. Кроме того, древесноволокнистые плиты состоят из двух компонентов и имеют сложную неоднородную структуру, что также отражается на процессах их разрушения.

В работе было проверено выполнение принципа Бейли для древесноволокнистых плит. Для этого при поперечном изгибе испытали по 6 образцов. Первая серия образцов испытывалась при непрерывном действии нагрузки (90 % от разрушающей), а вторая подвергалась дискретному нагружению, т.е. действие нагрузки (15 мин) чередовалось с отдыхом (15 мин). Условия испытаний (температура, влажность, величина напряжения) поддерживались идентичными для обеих серий. В ходе испытаний было установлено, что для ДВП в обоих случаях долговечность практически совпадает (1 серия –  $\lg t = 3,58$ ; 2 серия – 3,76). Следовательно, принцип Бейли справедлив и для композитных материалов: под нагрузкой накапливаются нарушения, которые не залечиваются после её снятия, и поэтому время действия нагрузки можно суммировать.

Библиографический список

1. Ратнер С. Б. Физическая механика пластмасс. Как прогнозируют работоспособность? / Ратнер С. Б., Ярцев В. П. М.: Изд-во «Химия», 1992. 320 с.

**ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ  
АРМИРОВАННОГО ПЕНОПОЛИСТИРОЛА**

Мамонтов А.А.

*ТГТУ, г. Тамбов, Россия*

В настоящее время одним из самых распространенных теплоизоляционных материалов является пенополистирол. Однако, ему присущи низкая прочность, высокая деформативность и малая долговечность. Устранить перечисленные недостатки возможно с помощью армирования пенополистирола стеклотканевой сеткой или стеклохолстом, что улучшает механические характеристики пенопласта: прочность увеличивается в 2, а твердость в 1,5 раза.

В процессе эксплуатации пенополистирол может подвергаться не только воздействию нагрузок, но и влиянию окружающей среды. Поэтому необходимо исследовать работоспособность армированного пенополистирола в условиях внешних воздействий.

С этой целью образцы пенополистирола с различным армированием подвергали длительному (300 часов) влиянию температуры 80 °С; УФ-облучению в течение 300 часов; многократному замораживанию-оттаиванию, а также замачиванию. Оценку работоспособности армированного пенополистирола в заданных условиях осуществляли по величине остаточной прочности при поперечном изгибе и твердости (По Бринеллю). Также следили за сохранностью формы образцов.

В результате проведенных испытаний установлено, что армированный пенополистирол более стойкий к длительному тепловому воздействию, чем неармированный. После 300 часов прогревания прочность и твердость его практически не изменились. У неармированного же прочность снизилась на 42%, а твердость – на 21%.

Кроме того, армирование снижает потери прочности пенополистирола при УФ-облучении. В данном случае более стойким оказался пенопласт, армированный стеклотканевой сеткой. Твердость же всех конструкций после 300 часов УФ-облучения снизилась в среднем на 30% независимо от вида армирования.

Армирование делает пенополистирол стойким и к многократному замораживанию-оттаиванию. Прочность армированных пенопластов после 75 циклов снизилась в среднем на 15%, а неармированного – на 42%.

Необходимо отметить, что после действия указанных факторов все конструкции сохранили свою целостность, не было замечено ни повреждений клеевых швов, ни отслоений армирующего материала.

Таким образом, армированный пенополистирол является более работоспособным в широком диапазоне условий эксплуатации.

## **ТЕПЛО- И ФОТОСТАРЕНИЕ ДРЕВЕСНОВОЛОКНИСТЫХ ПЛИТ**

Мамонтов С.А.  
*ТГТУ, г. Тамбов, Россия*

Старением называется необратимое изменение полезных свойств материалов, которое происходит с течением времени в результате совокупности физических и химических превращений, происходящих при переработке, хранении и эксплуатации. Более существенное влияние на старение материалов оказывают такие внешние факторы, как температура и солнечная радиация, особенно её УФ-часть. При эксплуатации древесноволокнистые плиты могут подвергаться перечисленным воздействиям. В связи с этим возникла необходимость в изучении влияния теплового старения и УФ-облучения на физико-механические свойства ДВП.

С этой целью образцы ДВП подвергались длительному (300 ч.) воздействию температуры 80<sup>0</sup>С и УФ-облучению. При этом отслеживалось изменение массы, плотности, водопоглощения, а также прочности и твердости.

По результатам испытаний установлено, что тепловое старение и УФ-облучение приводят к снижению массы и плотности ДВП вследствие испарения гигроскопической влаги из стенок клеток древесного наполнителя. При этом наибольшее влияние оказывает теплостарение, поскольку после 300ч. прогревания образцы потеряли до 4% массы, против 1% при УФ-облучении. Кроме того, в первые 10ч. теплостарения увеличивается водопоглощение материала на 16%, однако к 300ч. его величина восстанавливается. В свою очередь, фотостарение практически не влияет на водопоглощение ДВП.

Оба фактора старения оказывают влияние и на механические характеристики древесноволокнистых плит.

Испытания показали, что в первые 10 ч. теплового старения материал теряет 15% прочности, а под действием УФ-облучения только 9%. Данный факт объясняется процессами термо- и фотоокислительной деструкции. Дальнейшее старение приводит к росту прочности, что вызвано доотверждением полимерного терморективного связующего. В результате, после 300ч. действия УФ-облучения и теплового старения прочность ДВП составляет 86%.

В отличие от прочности твердость композита в первые 10ч. увеличилась на 24% при теплостарении и на 10% при УФ-облучении. Такое поведение материала объясняется доотверждением полимерного связующего. При дальнейшем старении твердость падает и к 300ч. составляет 63% от исходной.

Полученные результаты позволяют прогнозировать работоспособность ДВП с учетом факторов старения.

**ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО  
СОСТОЯНИЯ СУЩЕСТВУЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ИХ  
УСИЛЕНИИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ И ГРАЖДАНСКИХ ОБЪЕКТАХ**

Муртазин М.Р., Муртазина Г.Р.  
*СГТУ, г. Саратов, Россия*

На современном этапе развития строительной отрасли актуальной задачей становится не только возведение новых объектов, но и более рациональное использование уже существующих, что подразумевает их капитальный ремонт или полную реконструкцию, включающую в себя изменение конструктивной и функциональной схемы. Для осуществления данных задач необходимо проведение детального обследования и при необходимости разработка эффективных схем усиления существующих конструкций. Эффективность таких схем зависит от многих факторов, одним из которых, и наиболее важным, является включение в совместную работу с основным материалом усиливаемой конструкции вновь устанавливаемых элементов усиления.

В существующей справочной и технической литературе имеется описание значительного количества наиболее часто используемых, методов усиления конструкций, так называемых «типовых». Основная сущность, которых сводится, в основном, к увеличению поперечного сечения путем наложения бандажей или протезов, и передаче части нагрузки на вновь установленные конструкции. И практически нет информации о результатах исследований по оценке взаимодействия и поведения усиленных конструкций с элементами усиления под воздействием эксплуатационной нагрузки. Это тем более актуально, если учесть, что зачастую значения прочностных характеристик элементов усиления гораздо выше значений прочностных характеристик усиливаемых элементов, и не верно подобранная схема усиления может привести к обратному результату, то есть к разрушению существующих конструкций и сооружений в целом.

На кафедре Промышленное и гражданское строительство Саратовского государственного технического университета группой специалистов и студентов под руководством кандидата технических наук доцента Муртазина М.Р. была разработана комплексная программа экспериментально-теоретических исследований напряженно-деформированного состояния существующих усиливаемых конструкций при их взаимодействии с элементами усиления. Проведение исследований планируется в рамках выполнения работ по реализации реальных проектов реконструкции и капитального ремонта зданий и сооружений. Кроме того, для более широкого применения впредь компьютерного моделирования с целью оценки эффективности предлагаемых схем усиления, было запланировано также проведение численных экспериментов.

Сравнение результатов натуральных исследований и численных экспериментов позволит определить направления изысканий в области разработки эффективных схем усиления строительных конструкций.

## **КРИТИЧЕСКИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ ЦЕНТРАЛЬНО-СЖАТОГО СТЕРЖНЯ ИЗ ХОЛОДНОГНУТОЙ ТОНКОСТЕННОЙ ОЦИНКОВАННОЙ СТАЛИ**

Нехаев Г.А., Теличко Г.Н  
*ТулГУ, г. Тула, Россия*

Тонкостенные холодногнутое стержни открытого поперечного сечения имеют, по меньшей мере, три полноправных формы потери устойчивости: локальную, в виде искажения сечения и общую (изгибную, изгибно-крутильную). Эти формы потери устойчивости стержня при различных соотношениях между длиной и размерами элементов поперечного сечения могут проявляться либо индивидуально, либо во взаимодействии между собой.

В настоящее время не существует единой методики расчёта тонкостенных холодногнутое стержней на устойчивость. В мировой практике обозначились два основных направления по определению критических напряжений и сил данных стержней:

- 1) использование аналитических или численных решений для элементов поперечного сечения стержня с последующей корректировкой результатов на основании экспериментальных данных;
- 2) определение эффективной (редуцированной) площади поперечного сечения стержня на базе экспериментально-теоретических исследований тонких пластин в закритической стадии работы (Еврокод 3).

Характерный обзор различных методик первого направления представлен конкретным примером расчёта С-образного профиля стержня в приложении D «Design Examples: Concentrically Loaded Lipped Channel Column» отчёта Schafer B.W. Distortional buckling of cold-formed steel columns: Final report / The American Iron and Steel Institute. August, 2000. Проводится сравнительный анализ 11 подходов и в качестве результата выделены методики по определению критических напряжений различных, наиболее значимых, форм потери устойчивости без использования понятия «эффективной части сечения» с целью выявления *минимального* значения искомого напряжения. При этом рассматриваются критически напряжения не только трёх базовых форм потери устойчивости, но и формы, соответствующие их взаимодействию:

- с учётом влияния локальных форм потери устойчивости на общую (Эйлерову) форму;
- с учётом влияния формы в виде искажения сечения на общую форму;
- с учётом взаимовлияния локальной формы и формы в виде искажения сечения.

Используя методику, дающую минимальное значение критического напряжения, было проведено исследование влияния геометрических пара-

метров сечения на критические напряжения различных форм потери устойчивости для стержней С-образного сечения с наиболее распространёнными характеристиками:

- длина 1,5; 2 и 3 м;
- толщина 1,0; 1,5 и 2,0 мм;
- высота сечения 150, 200, 250 и 300 мм;
- ширина полки 50, 75 и 100 мм;
- высота свеса полки (отгиба) 15 и 25 мм.

Вычисления показали, что самые низкие значения критических напряжений соответствуют локальной форме потери устойчивости. Следующие по величине напряжения определяются формой потери устойчивости в виде искажения сечения. И далее – их взаимодействием.

Локальная форма потери устойчивости не определяет несущую способность стержней длиной до трёх метров. Критерием несущей способности рассматриваемых центрально сжатых стержней следует считать напряжения, соответствующие форме, при которой происходит искажения сечения. Важно отметить при этом, что эти напряжения не зависят от длины стержня.

При постоянной высоте сечения критические напряжения, связанные с искажением сечения, увеличиваются при уменьшении ширины полки, увеличении длины свеса полки и толщины профиля.

Существенную роль играет толщина профиля. Так, например, для профиля 250x75x25 мм увеличение толщины с 1 до 2 мм (т.е., при увеличении площади сечения в два раза) критическая сила потери устойчивости в форме искажения сечения возрастает в 4,23 раза.

Для такого же профиля при толщине в 1 мм критическая сила по методике Еврокода 3 на 10% превышает величину критической силы, определяемую по использованной выше методике. Это означает, что для очень тонких стержней несущая способность, определяемая Еврокодом 3, является недостаточной. Поэтому не следует увлекаться снижением толщины профиля для стержней рассмотренного выше диапазона геометрических характеристик.

Следует также отметить, что использованный подход позволяет решать задачу об оптимизации поперечных размеров сечений рассматриваемых стержней.

### **АНАЛИЗ ВОДОПОТРЕБНОСТИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ С МИНЕРАЛЬНЫМИ ДОБАВКАМИ**

Низина Т.А., Балбагин А.В., Вагапов А.А., Тишин А.В.  
*МГУ, г. Саранск, Россия*

Современная технология цементных бетонов и растворов предлагает широкое использование разнообразных добавок, в том числе и минеральных, являющихся отходом металлургической промышленности, для направленно-

го изменения свойств и экономии основных ресурсов. Использование минеральных добавок (МД) с высокой удельной поверхностью сопряжено с необходимостью применения пластификаторов для регулирования реологических свойств бетонных смесей и растворов. Наибольшей эффективностью среди таких добавок обладают пластификаторы на поликарбоксилатной основе.

В качестве объекта исследования был выбран цемент марки ЦЕМ I 42,5Б производства ОАО «Мордовский цементный завод» и минеральные наполнители – метакраолин (МК) и микрокремнезем трех видов – Братский (МК3), Новокузнецкие гранулированный (МК2) и негранулированный (МК1). Для обеспечения необходимых реологических свойств в состав вводился поликарбоксилатный пластификатор Melflux 1641 F.

Проведенный анализ результатов исследований показал, что введение в состав цементных композиций МД, обладающих достаточно высокой удельной поверхностью, приводит к значительному повышению водопотребности, что наиболее ярко проявляется для составов, содержащих МК2 и МК3. Введение пластификатора Melflux 1641 F в количестве 0,4–0,8% от массы связующего позволяет снизить водопотребность наполненных МД составов до 40%. Анализ изменения нормальной плотности цементного теста в присутствии МД показал, что введение до 10% МК1 при содержании от 0.3 до 0.7% пластификатора не приводит к повышению водопотребности. Для составов с другими видами исследуемых МД наибольший расход воды для получения равноподвижных систем зафиксирован при их максимальном содержании.

Наибольший эффект от введения пластификатора для составов с МК1 наблюдается (в зависимости от расхода добавки) в интервале от 0.25 ÷ 0.4% до 0.65 ÷ 0.75% от массы вяжущего. В случае использования МК2 добиться необходимой реологии смеси при содержании добавки более 8% возможно при введении не менее 0.5% пластификатора. Несмотря на высокие абсолютные значения водопотребности для составов с МК3, обладающим значительной удельной поверхностью, введение суперпластификатора позволяет получить хороший водоредуцирующий эффект. Введение пластификатора в системы, содержащие метакраолин, также приводит к существенному уменьшению водопотребности.

По результатам исследований проведен анализ и выявлены оптимальные комплексы «пластификатор + МД», позволяющие получать составы с требуемой подвижностью, минимальной водопотребностью и, как следствие, высокой прочностью и низкой проницаемостью.

## О ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ РАЗНОСТЕЙ ПОВЫШЕННОЙ ТОЧНОСТИ В РАСЧЕТАХ ГИБКИХ ФИЗИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНЫХ ПОЛОГИХ ОБОЛОЧЕК

Петров В.В., Кривошеин И.В.  
СГТУ, г. Саратов, Россия

Повышение точности аппроксимации производных искомым функций прогиба и усилий имеет целью получение более точного решения нелинейной краевой задачи на конкретной сетке метода конечных разностей (МКР). Рассмотрим применение вариантов МКР с погрешностями аппроксимации производных  $O(\Delta^2)$  (МКР-2) и  $O(\Delta^4)$  (МКР-4) [1] для расчета квадратных в плане гибких нелинейно-упругих пологих оболочек, имеющих на контуре скользящую заделку и изготовленных из несжимаемого материала с  $\sigma_{ie} = 102$  (МПа),  $\varepsilon_{ie} = 0,03$ . В таблице представлены результаты расчетов оболочки с параметрами  $k_\xi = k_x(2a)^2/h = 32$ ,  $k_\eta = k_y(2b)^2/h = 32$  при относительной толщине  $h/(2a) = 1/80$ , причем в числителе даны результаты по МКР-4, в знаменателе – по МКР-2. Данные таблицы соответствуют величине безразмерного прогиба в центре оболочки, равной  $w = 1,9$ .

Сетка МКР	$\bar{P}_e$	$\varepsilon_{i \max} \cdot 100$	$M_\xi(0,0)$	$M_\xi(1,0)$	$N_\xi(0,0)$
16*16	377,596	1,07890	1,01944	-2,92328	-3,41970
	377,808	1,04045	0,92101	-2,79952	-3,37707
24*24	377,326	1,07266	1,01330	-2,97372	-3,41719
	377,386	1,07265	0,96946	-2,90850	-3,39824
32*32	377,207	1,06937	1,00937	-2,99239	-3,41648
	377,224	1,08442	0,98759	-2,94881	-3,40598

Представленные в таблице результаты свидетельствуют о большей скорости сходимости МКР-4 по сравнению с МКР-2. При сравнении данных расчетов по МКР-4 и МКР-2 оболочек двоякой кривизны с иным набором входных параметров, а также пологих цилиндрических панелей получены сходные выводы, что позволяет рекомендовать для уточненного расчета гибких физически нелинейных оболочек МКР-4, для которого расходы времени счета ПК практически совпадают со временем для МКР-2.

### Библиографический список

1. Петров В.В., Кривошеин И.В., Селяев П.В. Методы расчета балок, пластин и призматических оболочек из нелинейно-деформируемого материала: учеб. пособие. Саранск, «Копир», 2009. 164 с.

**О ТОЧНОСТИ ИНТЕГРИРОВАНИЯ  
УРАВНЕНИЙ В ПЕРЕМЕЩЕНИЯХ  
ГИБКИХ ФИЗИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНЫХ ПОЛОГИХ ОБОЛОЧЕК**

Петров В.В., Кривошеин И.В.

*СГТУ, г. Саратов, Россия*

Дифференциальное уравнение равновесия в проекции на ось  $Z$ , полученное из полного вариационного уравнения дважды нелинейной задачи и записанное в перемещениях, включает по сравнению с уравнением, полученным из условия равновесия элемента оболочки, дополнительные слагаемые вида

$$(W)'_x (\sum F_x) + (W)'_y (\sum F_y), \quad (1)$$

где через  $\sum F_x$  и  $\sum F_y$  обозначены левые части дифференциальных уравнений равновесия в проекции на оси  $x$  и  $y$ . Исследуем погрешности пренебрежения слагаемыми (1) в расчетах шарнирно-неподвижно опертых оболочек методом конечных разностей (МКР) с точностью аппроксимации  $0(\Delta^2)$ .

В таблице приведены данные для гибкой оболочки на квадратном плане с параметрами кривизны  $k_\xi = k_x(2b)^2 / h = 20$ ,  $k_\eta = k_y(2b)^2 / h = 20$  и относительной толщиной  $h / (2a) = 1 / 50$  из несжимаемого нелинейно деформируемого материала с  $\sigma_{i_0} = 102$  (МПа),  $\varepsilon_{i_0} = 0,03$ . Данные в числителе получены с учетом слагаемых (1), в знаменателе – без их учета и соответствуют величине параметра прогиба в центре четверти оболочки, равной 0,69 и отвечающей критической нагрузке потери устойчивости  $P_0$ .

Сетка	$\bar{P}_0$	$w(0,0) \cdot 10$	$M_\xi(0,0) \cdot 10$	$M_{\xi_{\max}} \cdot 10$	$N_\xi(0,0)$
8*8	433,393	4,16923	-3,69013	6,79349	-2,74870
	433,580	4,17444	-3,69629	6,78221	-2,75059
16*16	421,107	3,33337	-5,28153	7,59832	-2,68316
	421,077	3,33315	-5,28519	7,59563	-2,68288
32*32	420,296	3,14615	-5,69402	7,84553	-2,69685
	420,214	3,14474	-5,69636	7,84522	-2,69616

Выявлено, что при использовании МКР в каждой точке сетки при любом ее шаге разрешающие уравнения выполняются точно. Результаты расчетов при пренебрежении слагаемыми (1) близки к данным при учете (1), что позволяет пренебрегать слагаемыми (1) при расчете по алгоритму МКР гибких оболочек из нелинейно деформируемого материала.

## ВЛИЯНИЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОПЕРЕЧНОЙ НАГРУЗКИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ГИБКИХ НЕЛИНЕЙНО-УПРУГИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПАНЕЛЕЙ

Петров В.В., Кривошеин И.В., Шаяхметов Р.Р.  
*СГТУ, г. Саратов, Россия*

При проектировании реальных оболочечных конструкций возможны различные виды поперечного нагружения. Рассмотрим нагрузки, занимающие центральную часть поверхности панелей (вариант «а») и нагрузки, при которых центральная часть панелей незагружена (вариант «в»).

Для решения системы разрешающих уравнений гибких пологих нелинейно-упругих оболочек в смешанной форме при условиях шарнирного опирания на контуре на гибкие диафрагмы используем метод конечных разностей (МКР) с точностью аппроксимации производных  $O(\Delta^2)$ . Определяем нагрузки бифуркации ветвей симметричного и несимметричного равновесных состояний  $P_{\text{биф}}$  из условия обращения в ноль величины определителя решаемой СЛАУ (при рассмотрении половины поля цилиндрической панели), а также нагрузки потери устойчивости по симметричной форме  $P_g$  с использованием в качестве ведущего параметра решения прогиба в центре четверти панели.

Для квадратной в плане панели  $a = b$  из несжимаемого нелинейно-деформируемого материала с  $\sigma_{i_0} = 102$  (МПа),  $\varepsilon_{i_0} = 0,03$  при значениях параметров кривизны  $k_x = 0$ ,  $k_y = k_z(2b)^2 / h = 64$  и относительной толщине  $h / (2a) = 1 / 80$  подсчитывались параметры нагрузки  $P^* = qa^4 / (E_0 h^4)$ .

При действии равномерно распределенной нагрузки получены величины  $P_{\text{биф}}^* = 439,3$  и  $P_g^* = 739,0$ , соответствующие снижению критической нагрузки при учете бифуркационной потери устойчивости в 1,68 раза. При действии нагрузки типа «а», занимающей 25% центральной части панели, получены величины  $P_{\text{биф}}^* = 645,4$  и  $P_g^* = 683,8$ , при этом критическая нагрузка снижается в 1,06 раза, наибольшие прогибы и изгибающие моменты наблюдаются в центре панели.

При действии нагрузки типа «в» с незагруженными центральными 25% поверхности панели получены величины  $P_{\text{биф}}^* = 937,3$  и  $P_g^* = 1642,1$ , при этом критическая нагрузка снижается в 1,75 раза, амплитудные значения прогибов и изгибающих моментов, расположенных в четвертях плана панели, возрастают с одновременным уменьшением мембранных усилий, а общий вес нагрузки на цилиндрическую панель для  $P^* = P_{\text{биф}}^*$  возрастает при уменьшении площади нагружения.

## К ПРИМЕНЕНИЮ МОДЕЛИ ПРОСТОГО ЛОКАЛЬНОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ

Петрунина Е.А., Кривошеин И.В., Семенов П.К., Селиванов Ф.С., Хашов В.М.  
*СГТУ, г. Саратов, Россия*

Оценка фактического эксплуатационного состояния несущих строительных конструкций существенно зависит от различных дефектов и повреждений, полученных конструкциями в процессе изготовления, монтажа и эксплуатации. Учёт местных повреждений и дефектов отдельного стержня осуществляется введением упругих шарниров с коэффициентами жёсткости  $c = EJ/(\omega l)$ . Такие повреждения названы простыми локальными повреждениями (ПЛП). Интегральный параметр повреждённости  $\omega (\tau_i, \sigma_i)$  определяется по данным натурного обследования конструкций и результатам специально поставленных экспериментов. Он зависит от степени деградации упруго-механических свойств материала конструкций под воздействием определённой агрессивной среды в течение времени  $\tau_i$  и уровня действующий напряжений  $\sigma_i$ .

Целью работы явилось уточнение границ применения модели ПЛП. Поврежденный стержень представляется единой стержневой системой, составленной из упругих звеньев, соединенных упругими шарнирами со специально подобранными жесткостями, имитирующими дефекты и повреждения стержня, при этом деформации поврежденных участков стянуты в сечения.

Дифференциальное уравнение, описывающее поперечный изгиб стержня с группой ПЛП

$$[EI(x)y''(x)]^2 = q(x)$$

преобразуется к разрешающему уравнению вида:

$$EI_0 y^4(x) = q(x) + \sum_{i=1}^m \omega_i M(x_i) \Gamma^{(3)}(x - x_i),$$

где  $\Gamma(x - x_i) = \{0 \text{ при } x < x_i, 1 \text{ при } x > x_i\}$  – функция Хевисайда.

Анализ результатов численных экспериментов, выполненных по различным методикам, выявил существенное влияние ПЛП на перераспределение усилий и перемещений, и установил, что «стягивание» деформаций поврежденных участков к отдельным сечениям с упругими шарнирами допустимо за пределами  $\bar{\xi} = 0,1$ .

Расширение области применения ПЛП позволяет с приемлемой точностью рассчитывать балки с непрерывными повреждениями путем введения 3-4 упругих шарниров.

## ЖИДКОСТЕКЛЬНОЕ КОМПОЗИЦИОННОЕ ВЯЖУЩЕЕ

Прудков Е.Н., Ельчина К.В.

*ТулГУ, г. Тула, Россия*

Жидкостеклянное вяжущее предназначено для изготовления строительных и технологических конструкций и изделий, подвергающихся воздействию клеевых агрессивных сред.

Разработаны составы жидкостеклянного композиционного вяжущего, состоящего (% по массе) из тонко измельченных смесей наполнителя из стеклобоя (47-49%), ускорителя твердения жидкого стекла – кремнефтористого натрия (16-18%), добавки суперпластификатора (0,4%), наноструктурного комплекса (0,03%), представляющего собой наноуглеродистую смесь высокой реакционной способности (УСВР). Вяжущим веществом в этих составах является жидкое стекло (30-38%), на водном растворе которого затворяются все вышеперечисленные составляющие.

Растворимое жидкое стекло представляет собой натриевые ( $\text{Na}_2\text{O}\cdot n\text{SiO}_2$ ) силикаты, где  $n=2,5-4$  – модуль стекла. Силикаты натрия являются основными компонентами жидкого стекла. Образующийся при этом гель кремниевой кислоты  $\text{Si}(\text{OH})_4$  обладает вяжущими свойствами. Твердение растворимого стекла существенно ускоряется при введении кремнефтористого натрия  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ .

Образующийся при этом фтористый натрий мало растворим в воде, поэтому процесс расщепления силикатов жидкого стекла и выделение геля кремниевой кислоты (клеящего вещества) ускоряется, что приводит к быстрому твердению композиционной системы.

Наноструктурный комплекс представляет собой графены, нанотрубки, ветвящиеся нанотрубки, нанокольца, нанофракталы. Введенный в состав жидкостеклянного вяжущего до 0,03% от его массы наноструктурный углеродистый комплекс армирует матрицу и повышает прочность вяжущего. Эффект повышения прочности возникает не только за счет непосредственного армирования, которое по размерам ничтожно, но и за счет направленного регулирования процессов коагуляции и уплотнения структуры матрицы. Наноструктуры ведут себя в системе вяжущего как «зародыши» коагуляционных процессов, т.к. они имеют не точечную, а вытянутую форму, то коагулянты образуются вытянутые, армирующие, что приводит к повышению прочности композиции.

Тонкомолотый стеклобой является наполнителем в композиции. Добавка суперпластификатора, в количестве 0,4%, улучшает реологические свойства композиции. Под действием добавки происходит диспергирование агрегатов наполнителя и жидкого стекла, обволакивая частицы наполнителя и геля кремниевой кислоты, препятствуют их сближению – агрегации (явление защитного действия гидрозолей), при этом ограничивается сжатие системы и

выделение воды из геля, что значительно снижает усадку. Под действием кремневой кислоты в дальнейшем происходит полимеризация добавки.

Результаты испытаний показали, что предел прочности вяжущего в возрасте 28 суток составляет: при сжатии – 30-40МПа, при растяжении при изгибе – 4-5МПа.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ И СВОЙСТВ ПОЛИМЕРСИЛИКАТНОГО БЕТОНА**

Прудков Е.Н., Кузьмина С.В.  
*ТулГУ, г. Тула, Россия*

В работе исследуется процесс структурообразования и свойства полимерсиликатного бетона на основе жидкостеклового композиционного вяжущего, мелкого заполнителя из стеклобоя, армированного дисперсным полимерным волокном. Жидкостекловое композиционное вяжущее включает натриевое жидкое стекло, наполнитель – тонкомолотый стеклобой, кремнефтористый натрий, добавку – нафталиноформальдегидный суперпластификатор, наноструктурный углеродный комплекс.

В результате исследований изучено и обосновано влияние всех компонентов полимерсиликатного бетона на процесс структурообразования и свойства.

Связующим веществом в жидкостекловом композиционном вяжущем является жидкое натриевое стекло, на водном растворе которого производится затворение.

Введенный в состав жидкостеклового композиционного вяжущего наноструктурный углеродный комплекс армирует его матрицу, ускоряет коагуляционные процессы выделения геля кремневой кислоты (клеящего вещества).

Добавка суперпластификатора, являясь диспергатором, обволакивая частицы наполнителя и геля кремневой кислоты, препятствует их сближению – агрегации, при этом ограничивается сжатие системы и выделение воды из геля, что снижает усадку.

Твердение растворимого стекла ускоряется при введении кремнефтористого натрия, ускоряющего гидролиз и выпадение геля кремневой кислоты, что приводит к быстрому твердению вяжущего.

Наполнитель из стеклобоя в щелочной среде гидратируется с образованием кремниевых кислот, которые при достижении определенных значений рН среды начинают превращаться в гель.

Гель кремневой кислоты, являясь клеящим веществом, уплотняясь, омоноличивает зерна мелкого заполнителя из стеклобоя. В итоге получается плотный, прочный и долговечный светопрозрачный силикатный конгломерат – полимерсиликатный бетон.

Введение небольшого количества дисперсного армирующего волокна способствует формированию более прочной структуры бетона, повышению прочности на сжатие и изгиб.

Прочность полимерсиликатного бетона оптимального состава на сжатие составляет 35 – 40 МПа, на растяжение при изгибе – 8 – 10 МПа.

#### Библиографический список

1. Прудков Е.Н., Кузьмина С.В. Светопрозрачные полимерсиликатные композиционные материалы, модифицированные фиброматериалами // Мир строительства и недвижимости – Санкт-Петербург: Издательский дом «Мир». 2010. №39. С. 106-108.
2. Прудков Е.Н., Кузьмина С.В. Светопрозрачные полимерсиликатные композиты, модифицированные фиброматериалами // Теория и практика повышения эффективности строительных материалов: Материалы V Всероссийской конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. 2010. Пенза: ПГУАС. С. 197-200.

### СПОСОБ СОЗДАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ РЕБРИСТЫХ ЕМКостей

Ращепкин С.В.

*ИТТУ СГТУ, г. Балаково, Россия*

Проектируют и строят емкости, выполненные из рулонных заготовок в виде полотна, с помощью которых выполняют негабаритные оболочечные металлические конструкции – силосы, вертикальные резервуары, кожухи доменных печей и др. Жесткость и устойчивость корпусов таких конструкций обеспечивается кольцевыми или вертикальными ребрами жесткости.

Одним из самых распространенных способов является спирально-навивной, когда с помощью изгиба рулонной заготовки по спирали в профилирующей установке, соединяют соприкасающиеся продольные кромки лент фальцем. В результате образуется цилиндрический корпус со спиральными ребрами жесткости. Однако толщина ленты ограничена возможностью создания фальцевых стыков, поэтому возникает необходимость в установке дополнительных вертикальных стоек.

Предлагается новый способ изготовления и монтажа емкости. В заводских условиях изготавливают плоскую заготовку в виде ленты шириной  $h_n = 1250-3000$  мм. Параллельно продольной кромке ленты на нее прикрепляют полосу шириной не более  $1/7$  ширины ленты, герметичным прочноплотным сварным швом. Плоская заготовка по длине разделена на отдельные участки, длина которых равна  $(1,1 \dots 1,2) H$ , где  $H$  – высота корпуса. Все участки плоской заготовки сворачивают в один рулон. Затем на монтажной площадке собирают временный каркас, состоящий из верхнего и нижнего колец и стоек, который устанавливают на дискретно расположенные фундаментные блоки. Стальной рулон насаживают на ось ворота, а конец плоской заготовки подают в установку.

При формировании цилиндрического корпуса изгиб производят под углом  $63^\circ$  к горизонтальной плоскости корпуса. После прохода через специаль-

ную установку рулонную заготовку перемещают от нижнего кольца каркаса до верхнего кольца и временно прикрепляют к ним. Соприкасающиеся продольные кромки смонтированных участков рулонной заготовки скрепляют сварным швом. После этого формируют полые ребра. Причем формирование концов полых ребер производят в гибких съемных элементах.

Экспериментально установлено, что при величине угла менее  $60^\circ$  начинают проявляться негативные явления процесса формирования полых ребер: дефекты корпуса и ребер. Причем, чем меньше угол наклона ребер к горизонтальной оси корпуса, тем проявление дефектов более значительно.

Предлагаемый способ позволяет упростить сооружение емкости, путем выполнения основной части сварочных работ на заводе, что повышает качество оболочек, а также получить спиральные полые ребра жесткости постоянного поперечного сечения.

## **ИННОВАЦИОННЫЕ ТОНКОСТЕННЫЕ ОБОЛОЧЕЧНЫЕ КОНСТРУКЦИИ**

Ращепкина С.А., Майоров В.С.  
*ИТТУ СГТУ, г. Балаково, Россия*

Тонкостенные конструкции применяются в строительной отрасли около 50 лет – здания промышленного и аграрного назначения: складские помещения, производственные цеха, ограждающие конструкции башен, элеваторов и другие. Для совмещения двух функций – образования продольных ребер, повышающих прочность и устойчивость, и прогрессивного метода рулонирования в процессе создания инновационной емкости – предлагаются тонкостенные конструкции, выполненные из двухслойных рулонных заготовок с образованием в процессе изготовления оболочки продольных ребер, двух модификаций:

- элементы полого сечения как отдельные несущие конструкции – мини-оболочки; в основе формообразования замкнутой стальной мини-оболочки лежит деформация предварительно сваренных между собой по продольным и поперечным кромкам двух полос требуемой ширины и длины.

Деформацию полос производят сжатым воздухом, подаваемым в пространство между полосами; за счет пластических свойств и конечной изгибной жесткостью стали полосы остаются в деформированном состоянии и после снятия избыточного давления;

- элементы полого сечения в составе емкости – цилиндрическая ребристая оболочка; компоновку оболочек в единую емкость можно осуществлять различными способами; для практического использования наиболее приемлемы емкости с рядовым и круговым расположением скрепленных между собой по продольным ребрам оболочек.

Для апробации предложенных конструкций и способа их формообразования в заводских условиях была изготовлена экспериментальная металлическая емкость объемом  $50\text{м}^3$ .

На основе конструктивного моделирования и экспериментальных исследований были разработаны и апробированы принципы конструирования инновационных тонкостенных оболочечных конструкций емкостей небольшого объема с различной конструкцией кровли и днища; предложены способы создания новых металлических мини-оболочек из плоских листов и рулонных заготовок; разработаны практические рекомендации по изготовлению конструированию небольших емкостей для сыпучих материалов.

Принцип конструирования и способ создания инновационных тонкостенных ребристых конструкций позволили разработать новый модифицированный класс металлических емкостей, которые целесообразно применять в отдаленных районах, при сокращенных сроках строительства, так как к месту строительства необходимо доставлять только пакеты листов или бухты рулонных заготовок.

### **КУПОЛЬНОЕ ПОКРЫТИЕ С РАДИАЛЬНЫМИ РЕБРАМИ**

Ращепкина С.А., Шевченко А.С.

*ИТТУ СГТУ, г. Балаково, Россия*

Использование высоких технологий индустриального метода рулонирования дает возможность сократить сроки монтажных работ, повысить транспортабельность конструкций, уменьшить стоимость сооружения в целом. При этом металл является одним из эффективных материалов в конструкциях типа оболочек, так как металлические конструкции могут воспринимать значительные усилия при относительно небольшом поперечном сечении элементов. Нами разработано новое конструктивное решение стального купола, в котором меридиональные ребра образуются путем соединения стальных лепестков по продольным сторонам внахлест.

Создание купольной оболочки и меридиональных ребер происходит следующим образом. На четные лепестки с их внутренней стороны дискретно вдоль продольных кромок и на заданном расстоянии прикрепляют ограничители. Затем собирают четные и нечетные лепестки поочередно, примыкая продольными кромками нечетных лепестков к ограничителям четных лепестков с образованием нахлеста, укладывают лепестки радиально относительно дисков с примыканием поперечными кромками четных лепестков к вырезам, выкроенным в диске, количество которых равняется количеству нечетных лепестков. При подъеме вверх лепестки одновременно изгибаются и под собственным весом заходят друг за друга с примыканием продольных кромок внахлест, при этом упираясь в ограничительные ребра четных лепестков. По мере подъема диска к лепесткам прикладывают радиальные усилия, направленные к центру оболочки, при этом их равномерно распределяют по окружности в горизонтальных плоскостях.

Горизонтальные плоскости, в которых прикладывают радиальные усилия, должны быть назначены одна от другой с шагом, достаточным для сохранения требуемой величины заведения одного лепестка за другой. После образо-

вания купола концы тросов скрепляют винтами, закрепляют на лепестках и оставляют в виде бандажей на наружной поверхности оболочки.

Меридиональные ребра полого сечения с наполнителем образуются деформированием нахлеста между четными и нечетными лепестками путем подачи в его полость под давлением наполнителя, например легкого бетона или пенополиуретана. Рассмотренное решение позволит обеспечить снижение трудоемкости и повышение качества работ при изготовлении металлической купольной оболочки с одновременным увеличением жесткости меридиональных ребер и уменьшением удельного расхода металла.

Авторами разработан эскизный проект, согласно которому можно изготовить купольное покрытие из рулонного листового металла предлагаемым способом. Новая конструкция рекомендуется к использованию при строительстве покрытий современных зданий и сооружений.

### **ДЕФОРМИРОВАНИЕ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ПЛАСТИН ИЗ НЕЛИНЕЙНЫХ АНИЗОТРОПНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ К ВИДУ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ**

Ромашин Д. А.

*ТулГУ, г. Тула, Россия*

Большинство существующих теорий деформирования разносопротивляющихся материалов имеют ряд существенных недостатков, в конечном счете, приводящих к искажению реального напряженно-деформированного состояния. Построение новой математической модели состояния конструкционных материалов, универсально работающей при любых напряженных состояниях, представляет собой одно из важнейших направлений механики деформированного твердого тела. Требуется установить взаимно-однозначные соотношения между компонентами напряженного и деформированного состояния с указанием системы экспериментов, достаточных для определения констант, входящих в уравнения состояния и характеризующие механические свойства рассматриваемого материала. Эти соотношения представляются в виде степенных полиномов относительно напряжений, конкретизированы для ортотропного и трансверсально изотропного тела, а также для общего случая анизотропии.

В представленной работе на основе предложенных ранее определяющих соотношений для анизотропных разносопротивляющихся материалов, проводится исследование напряженно-деформированного состояния тонкой прямоугольной пластины.

Будем рассматривать пластинку достаточно тонкой, такой, что применение гипотезы Киргофа-Лява не вызвало возражений.

Примем, что пластинка нагружена нормально приложенной равномерно распределенной нагрузкой  $q$ . Вертикальную ось  $X_3$  направим вниз. При решении поставленной задачи вводятся следующие технические гипотезы:

- нормальное к срединной плоскости перемещение  $w$  не зависит от координаты  $x_3$  ( $e_3 = 0$ );
- нормаль к срединной плоскости после деформации поворачивается на угол  $\psi_1$  относительно оси  $x_1$  и  $\psi_2$  относительно оси  $x_2$ ;
- при определении параметров напряженного состояния влиянием нормальных напряжений  $\sigma_3$  пренебрегаем.

Анализ полученных результатов свидетельствует о необходимости учета усложненных свойств материалов прямоугольных плит.

### **СОСТАВ ПОКРЫТИЯ СТЕКЛОВОЛОКНА ДЛЯ АРМИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ**

Рябов Г.Г.

*ТулГУ, г. Тула, Россия*

Разработка относится к области производства строительных материалов и используется при нанесении покрытия на стекловолокно, применяемое при армировании строительных изделий. Целью разработки являлось повышение долговечности изделий.

Применяемые в предполагаемом составе покрытия компоненты выпускаются промышленностью, свойства и составы их регламентируются ГОСТами. Сульфат кальция, гидратированный и выраженный формулой  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  к  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , является широко распространенным продуктом различных технологических операций, в которых из кальцийсодержащих материалов серной кислотой высаливают целевой продукт. В проведенных испытаниях используют сульфат кальция, образующий при производстве оксида ванадия феррованадиевого производства. В состав шлама гидратированного сульфата кальция содержится 79% примеси оксидов железа; ванадия и других металлов не превышает 5%, свободная серная кислота – не более 1,5%, остальное вода. В настоящее время эти шламы нигде не используют, загрязняют окружающую среду и их содержание в безопасном состоянии требует дополнительных затрат.

Применение состава основано на том, что при химическом взаимодействии силикатного стекловолокна с компонентами предлагаемого состава образуются нерастворимые соединения с хорошо развитой поверхностью, прочно соединенные с матрицей стекловолокна. Серная кислота на поверхности стекловолокна в результате сложных процессов дает соединение состава  $p\text{CaO} \cdot m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O} \cdot g\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , а  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$  – сложные гидрофториды кальция. Это соединение тесно сравнивают с гидросодержащим кремнеземом к гидроалюмосульфатами кальция.

Результаты испытаний показали, что долговечность изделий при использовании покрытия стекловолокна на цементном или гидропуццолановом вя-

жущем увеличилась за счет повышения атмосферостойкости. Этот эффект достигается при повышении экологичности промышленности в целом.

## ДЕФОРМИРОВАНИЕ СРЕДЫ В УСЛОВИЯХ СЛОЖНОГО НАГРУЖЕНИЯ И ДЕГРАДАЦИИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Селиванов Ф.С., Щербаков С.А.  
СГТУ, г. Саратов, Россия

В настоящее время в связи с увеличением этажности и более широким использованием подземного пространства при строительстве зданий получили развитие и распространение новые конструктивные решения и технологии устройства фундаментных конструкций и подземных сооружений. В связи с этим появляется необходимость построения расчетных схем и математических моделей, более полно отражающих реальные условия совместной работы систем «грунтовое основание-фундамент» и особенности их эксплуатации. В данной статье рассматривается математическая модель неоднородного многослойного основания с существенно различными показателями механических свойств в плане и по глубине.

На рис.1 представлен график, характеризующий изменение прогиба по стадийному изменению параметров воздействия на грунтовое основание.

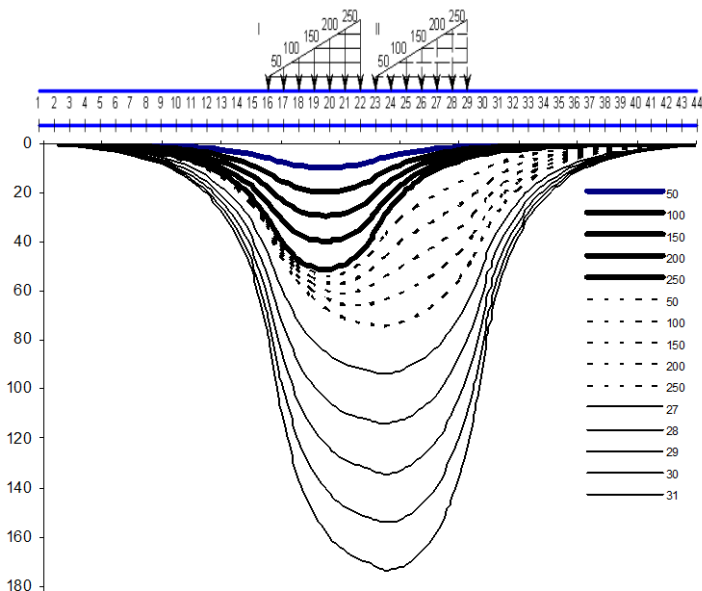


Рис. 1

## ДЕФОРМИРОВАНИЕ СРЕДЫ В УСЛОВИЯХ СОВМЕСТНОГО СЛОЖНОГО НАГРУЖЕНИЯ И ДЕГРАДАЦИИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Селиванов Ф.С., Щербаков С.А.  
*СГТУ, г. Саратов, Россия*

В настоящее время в связи с увеличением этажности и более широким использованием подземного пространства при строительстве зданий получили развитие и распространение новые конструктивные решения и технологии устройства фундаментных конструкций и подземных сооружений. В связи с этим появляется необходимость построения расчетных схем и математических моделей, более полно отражающих реальные условия совместной работы систем «грунтовое основание-фундамент» и особенности их эксплуатации. В данной статье рассматривается математическая модель неоднородного многослойного основания с существенно различными показателями механических свойств в плане и по глубине.

В реальных условиях строительства, увлажнение грунтового основания, наблюдаются в основном после окончания процесса строительства зданий или сооружений. Нелинейный характер зависимости осадок грунтового основания от уровня влажности связан с нелинейным характером изменения модуля деформации, как функции от параметра влажности.

На рис. 1 представлен график, характеризующий изменение прогиба.

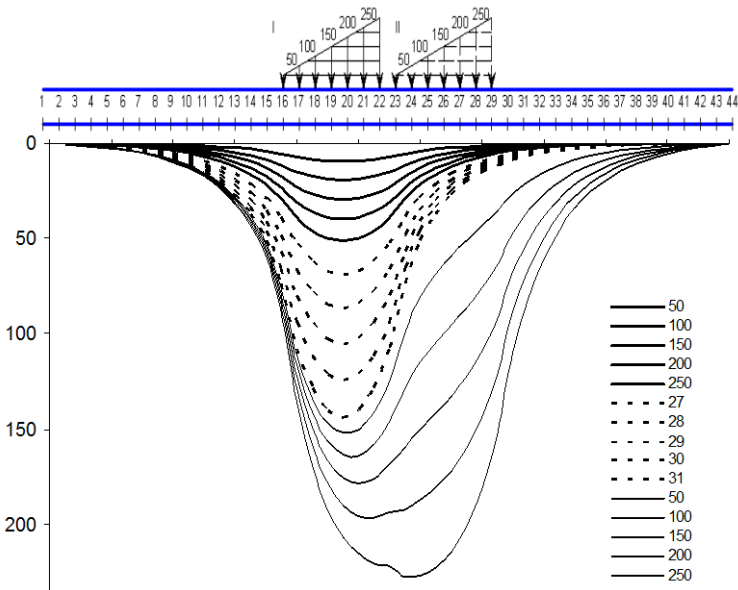


Рис. 1

## **МЕТОДИКА ЭКСПРЕСС–ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ СКЛЕРОМЕТРИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ**

Селяев В.П., Низина Т.А., Низин Д.Р.

*МГУ, г. Саранск, Россия*

Развитие современных технологий диктует активное развитие методов диагностики, позволяющих получать информацию об объекте исследования в минимально-короткие сроки. При этом несомненно, что наиболее приемлемым является проведение исследований на основе традиционных методик, изложенных в ГОСТ.

Более пятидесяти лет для оценки износостойкости материалов широко применяется метод склерометрических исследований, заключающийся в «царапании» (деформировании) твердыми инденторами поверхности исследуемых материалов. Ширину канавки согласно ГОСТ 21318-75 измеряют с помощью винтового окулярного микрометра. Выполнение подобных измерений, особенно при проведении многочисленных исследований, всегда связано с трудоемкостью и определенной субъективностью (в силу различия зрения исследователей) измерений. Учитывая структурную неоднородность большинства строительных материалов (цементные, бетонные и полимерные композиты, особенно, наполненные) исследователи вынуждены проводить дополнительные эксперименты, что еще более усложняет и удлинняет проведение склерометрических исследований.

Значительно упростить и ускорить методику обработки результатов эксперимента, особенно в разделе наиболее трудоемкой ее части – измерении ширины царапин, возможно при использовании программного комплекса «Идентификация и анализ пористости строительных материалов» [1]. В основе математической модели данного программного комплекса лежит возможность получения растрового изображения структуры материала методом прямого сканирования с последующей идентификацией и обработкой полученных результатов. Учитывая, что царапины при сканировании распознаются программным комплексом как отдельные поры, дальнейшая обработка результатов исследования не представляет затруднений. Разработанная методика апробирована на широком спектре материалов различной природы.

Предлагаемый подход к обработке результатов склерометрических испытаний с помощью программного комплекса позволяет получать обширную информацию об изучаемом материале при предельно-минимальных затратах времени, что не достижимо при использовании традиционных средств измерений, а в ряде случаев – например, при исследовании структурной неоднородности изучаемых материалов, становится практически незаменимым

### Библиографический список

1. Селяев В. П. Идентификация и анализ пористости строительных материалов / В. П. Селяев, Т. А. Низина, О. А. Фролкин [и др.] // Свидетельство

об официальной регистрации программы для ЭВМ №2006610364 от 24.01.2006 г. в Роспатенте по заявке №2005613072 от 24.11.2005 г.

## К ВОПРОСУ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ДЛЯ ПЛАСТИН ПРЯМОУГОЛЬНОГО ОЧЕРТАНИЯ

Семенов П. К.  
СГТУ, г. Саратов, Россия

Предлагается методика определения параметров температурного поля в тонкой прямоугольной пластинке при отсутствии внутренних источников тепла и теплообмена на поверхности.

В тонкой пластинке температурное поле может быть представлено в виде:

$$T(x, y, z) = T_0(x, y) + z\theta(x, y), \quad (1)$$

Положим  $\xi = x/a$ ,  $\eta = y/b$  ( $a$  и  $b$  – размеры пластинки в плане).

Функции  $T_0(\xi, \eta)$  и  $\theta(\xi, \eta)$  будут удовлетворять уравнениям:

$$\bar{\nabla}^2 T_0(\xi, \eta) = 0; \quad \bar{\nabla}^2 \theta(\xi, \eta) = 0.$$

Таким образом, функции  $T_0(\xi, \eta)$  и  $\theta(\xi, \eta)$  определяются из решения задачи Дирихле для уравнения Пуассона в единичном квадрате:

$$\bar{\nabla}^2 U(\xi, \eta) = 0; \quad 0 \leq \xi, \eta \leq 1;$$

$$U(0, \eta) = S_1(\eta), \quad U(1, \eta) = S_2(\eta), \quad U(\xi, 0) = p_1(\xi), \quad U(\xi, 1) = p_2(\xi). \quad (2)$$

Представим искомую функцию  $U(\xi, \eta)$  в виде

$$U(\xi, \eta) = U_1(\xi, \eta) + U_2(\xi, \eta) \quad (3)$$

Если  $U_1(\xi, \eta)$  она удовлетворяет условию (2):

$$U_1(\xi, \eta) = p_1(\xi)(1 - \eta) + p_2(\xi)\eta + S_1(\eta)(1 - \xi) + S_2(\eta)\xi - [p_1(0)(1 - \eta) + p_2(0)\eta](1 - \xi) - [p_1(1)(1 - \eta) + p_2(1)\eta]\xi, \quad (4)$$

то функция  $U_2(\xi, \eta)$  должна удовлетворять уравнению

$$\bar{\nabla}^2 U_2(\xi, \eta) = (\eta - 1)p_1''(\xi) - \eta p_2''(\xi) + \lambda^2(\xi - 1)S_1''(\eta) - \lambda^2 \xi S_2''(\eta) = H(\xi, \eta) \quad (5)$$

и однородным граничным условиям

$$U_2(0, \eta) = U_2(1, \xi) = U_2(\xi, 0) = U_2(\xi, 1) = 0 \quad (6)$$

Краевую задачу (5)-(6) можно решить, например, методом Бубнова-Галеркина, представляя функцию  $U_2(\xi, \eta)$  в виде

$$U_2(\xi, \eta) = \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} C_{ij} f_i(\xi) g_j(\eta) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N C_{ij} f_i(\xi) g_j(\eta) \quad (7)$$

Системы аппроксимирующих функций  $f_i(\xi)$ ,  $g_j(\eta)$  могут быть построены с помощью модифицированного статического метода Власова.

Согласно (5) функция  $U_2(\xi, \eta)$  может быть определена из

$$\frac{\partial^2 U_2(\xi, \eta_0)}{\partial \xi^2} = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \left( \xi - \frac{1}{2} \right)^n \quad (8)$$

Результаты расчета демонстрируют быструю сходимость ряда (7).

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ К РАСЧЕТУ ТЕРМОСИЛОВОГО НАГРУЖЕНИЯ НЕЛИНЕЙНО-УПРУГИХ ПЛАСТИН

Семенов П.К.

*СГТУ, г. Саратов, Россия*

Рассматриваются возможности метода последовательных возмущений параметров (МПВП) для определения уровней рабочих температур и времен для прямоугольных пластинок, взаимодействующих температурным полем, в зависимости от уровня предварительного механического нагружения распределенной нагрузкой постоянной интенсивности.

Разрешающее линеаризованное дифференциальное уравнение, полученное МПВП для нелинейно-упругой пластинки, имеет вид:

$$\nabla_A^4 [W(x, y)] = \Delta q + \nabla_T^2 \Delta T_0 + \nabla^2 \Delta \theta + \nabla_l^2 \Delta t .$$

Структура правой части уравнения (1) позволяет путем численного эксперимента исследовать различные программы нагружения и нагревания пластинки в пределах определенного интервала времени.

Учет зависимости свойств материала пластинки от температуры и времени осуществляется в компонентных соотношениях с учетом функциональной зависимости:

$$\sigma_i(\varepsilon_i, T_0, t) = E[T_0, t] \varepsilon_i - m(T_0, t) \varepsilon_i^3 .$$

Если диаграмма деформирования материала описывается соотношением (2), то аналитическому экстремуму  $\sigma_i$  соответствует значение интенсивности деформаций:  $\varepsilon_i^*(T_0, t) = \sqrt{E(T_0, t) / 3m(T_0, t)}$ .

Значение максимально возможных уровней параметров  $T_0, t$  можно определить следующим образом. Пусть  $k$ -й этап возмущения соответствующего параметра оказался последним, т.е. при достижении значения  $k$ s удовлетворилось условие:  $(\varepsilon_i)_k \geq (\varepsilon_i^*)_k$ .

Тогда используя известные соотношения линейной интерполяции, на последнем этапе возмущения ведущего параметра определяем его максимально возможный уровень. В качестве примера рассмотрена квадратная, жестко заделанная по контуру пластинка. Осуществлялись нагружения пластинки различными уровнями нагрузки  $q$  и всякий раз определялись максимально возможные уровни  $T_0, t$  из условия достижения аналитического экстремума  $\sigma_i$  при движении по диаграмме зависимости (2).

Результаты расчета для данной пластинки ( $\lambda = 1, \beta = 0,05$ ) показали, что увеличение уровня предварительного механического нагружения снижают максимально возможные уровни  $T_0, t$ . При этом значения изгибающих моментов и прогибов в предельном состоянии возрастают.

### **РАСЧЕТ НЕЛИНЕЙНО-УПРУГИХ ПЛАСТИН, ОПЕРТЫХ В УГЛАХ, НА ТЕРМОСИЛОВОЕ НАГРУЖЕНИЕ МЕТОДОМ ДВОЙНОЙ АППРОКСИМАЦИИ**

Семенов П. К.

*СГТУ, г. Саратов, Россия*

Рассматриваются вопросы расчета прямоугольных нелинейно-упругих пластин, взаимодействующих с температурным полем, вариационным методом двойной аппроксимации (МДА), возможности которого позволяют удовлетворить статическим граничным условиям по всему контуру пластинки.

Учет зависимости свойств нелинейно-упругого материала от температуры осуществляется в компонентных соотношениях, которые принимаются в форме деформационной теории пластичности.

Функциональная зависимость  $\sigma_i(\varepsilon_i, T)$  принимается в виде:

$$\sigma_i(\varepsilon_i, T) = E(T)\varepsilon_i - m(T)\varepsilon_i^3. \quad (1)$$

Исходные нелинейные соотношения линеаризуются на основе метода последовательных возмущений параметров (МПВП) Власова-Петрова. Результирующее разрешающее дифференциальное уравнение в частных производных, связывающее приращение функции прогиба срединной плоскости пластинки  $\Delta W(x, y)$  с приращением параметров термосилового нагружения  $\Delta q, \Delta T_0, \Delta \theta$  можно записать в виде:

$$\nabla_A^4 [\Delta W(x, y)] = \Delta q + \nabla_T^2 \Delta T_0 + \nabla^2 \Delta \theta. \quad (2)$$

В соответствии с МДА приращение искомой функции ищем в виде:

$$\Delta W(x, y) = Y(y)\varphi(x) + X(x)\psi(y) \quad (3)$$

Подставляя (3) в (2) и используя условия удовлетворения в смысле вариационного метода Власова, после несложных преобразований получаем систему обыкновенных интегро-дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами относительно искомых функций.

Данная система решается численно с использованием шаговой процедуры, сводящей к решению серии однотипных краевых задач для обыкновенных дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами. Последние решаются методом дискретной ортонормализации С.К. Годунова с модификацией S.D. Conte.

В соответствии с изложенной методикой был реализован расчет прямоугольных пластин, опертых в угловых точках, нагруженных поперечной нагрузкой и взаимодействующих с температурным полем. При  $a/b = 2$  ( $a, b$  –

размеры пластинки в плане) максимальный прогиб фиксируется на краю пластинки в середине длинной стороны. Отмечается существенное влияние на напряженно-деформированное состояние учета зависимости свойств материала от температуры в коэффициентах  $E(T)$ ,  $m(T)$  представления (1).

## **РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ИЗГИБА НЕЛИНЕЙНОУПРУГИХ ПЛАСТИН ВАРИАЦИОННЫМИ ИТЕРАЦИЯМИ В СОЧЕТАНИИ С МЕТОДОМ ДВОЙНОЙ АППРОКСИМАЦИИ ПРИ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОМ ТЕРМОСИЛОВОМ НАГРУЖЕНИИ**

Семенов П.К.

*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, определенные на предыдущей итерации, принимаются за аппроксимирующие функции на последующей итерации. Для решения вариационных уравнений МДА применительно к расчету нелинейно-упругих пластин предлагается – использование шаговой процедуры продолжения по линейному параметру от решения задачи МВК до решения МДА.

Анализ результатов численных расчетов показывает, что сходимость метода вариационных итераций в сочетании с МДА зависит от числа шагов по параметру продолжения. Результаты, полученные при решении нелинейных задач расчета 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 расчеты, 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 еще одну особенность использования сочетания МВИ и МДА (МВК). Расчеты показали, что при смене ведущего параметра целесообразно задавать новые аппроксимирующие функции из условий удовлетворения новому физическому содержанию задачи.

### **ЧИСЛЕННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РАЗРЕШАЮЩИХ УРАВНЕНИЙ МЕТОДА ДВОЙНОЙ АППРОКСИМАЦИИ В ЗАДАЧАХ РАСЧЕТА НЕЛИНЕЙНО-УПРУГИХ ПЛИТ**

Семенов П.К.

*СГТУ, г. Саратов, Россия*

Система разрешающих интегро-дифференциальных уравнений вариационного метода двойной аппроксимации (МДА) применительно к расчету прямоугольных пластин имеет вид:

$$\int_0^a [\nabla_A^4(Y(\varphi))] \varphi dx = G_y(y) - \int_0^a [\nabla_A^4(X\psi)] \varphi dx \quad (1)$$

$$\int_0^a [\nabla_A^4(X\psi)] \psi dy = G_x(x) - \int_0^a [\nabla_A^4(Y\varphi)] \psi dy$$

Уравнения отличаются от разрешающих уравнений классического варианта метода Власова наличием интегральных членов в правых частях, которые называются параметрами связи. Предлагаемый способ решения, на наш взгляд, эффективен и отражает физико-механический смысл МДА.

Введем в систему параметр  $\gamma \in [0,1]$ , считая, что ее решение непрерывно зависит от этого параметра:

$$\int_0^a [\nabla_A^4(Y(y,\gamma)\varphi(x))] \varphi(x) dx = G_y(y) - \gamma \int_0^a [\nabla_A^4(X(x,\gamma)\psi(y))] \varphi(x) dx \quad (2)$$

$$\int_0^a [\nabla_A^4(X(x,\gamma)\psi(y))] \psi(y) dy = G_x(x) - \gamma \int_0^a [\nabla_A^4(Y(y,\gamma)\varphi(x))] \psi(y) dy$$

Легко видеть, что при  $\gamma = 0$  уравнения системы (2) совпадают с уравнениями классического метода Власова, составленными для направлений  $x$  и  $y$ . Решение таких уравнений нетрудно осуществить с помощью известных численных процедур. При  $\gamma = 1$  система (2) совпадает с (1). Предположим далее, что существуют непрерывные производные  $\partial X / \partial \gamma, \partial Y / \partial \gamma$  и продифференцируем по  $\gamma$  вместе с соответствующими граничными условиями:

$$\int_0^a \left[ \nabla_A^4 \left( \frac{\partial Y}{\partial \gamma} \varphi \right) \right] \varphi(x) dx = - \int_0^a \left[ \nabla_A^4 \left( X + \gamma \frac{\partial X}{\partial \gamma} \psi \right) \right] \varphi(x) dx$$

$$\int_0^a \left[ \nabla_A^4 \left( \frac{\partial Y}{\partial \gamma} \psi \right) \right] \psi(y) dy = - \int_0^a \left[ \nabla_A^4 \left( Y + \gamma \frac{\partial Y}{\partial \gamma} \varphi \right) \right] \psi(y) dy$$

Сформулирована задача Коши для решения системы (2) с известными начальными значениями – решениями вариационных уравнений классического метода Власова, составленных в направлениях  $x$  и  $y$ .

В силу сделанных предположений существует непрерывная гиперкривая решений  $X(x, \gamma), Y(y, \gamma)$ , одним концом которой являются известные решения уравнения классического метода Власова, а другим – решение уравнений МДА. Обоснованность сделанных предположений относительно непрерывной зависимости решений системы от  $\gamma$  следует из физико-механического смысла параметров связи.

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСИСИММЕТРИЧНОЙ ДЕФОРМАЦИИ НЕЛИНЕЙНО-УПРУГОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ, ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩЕЙ С МНОГОСЛОЙНЫМ НЕОДНОРОДНЫМ ОСНОВАНИЕМ**

Семенов П.К., Кривошеин И.В., Гаврилов Д.Ю.  
*СГТУ, г. Саратов, Россия*

Для построения модели основания вводятся гипотезы:

1) характеристики среды основания изменяются по одной из пространственных координат и остаются постоянными по двум другим (гипотеза о плоской деформации)

2) В пределах толщины каждого слоя механические свойства среды основания постоянны по объему, но могут меняться в результате увлажнения слоя. Приращения функций перемещений  $\Delta U$  и  $\Delta W$  представим в виде следующих разложений в ряд:

$$\Delta U(x, y) = \sum_{i=0}^m \Delta U_i(x) \phi_i(y); \Delta W(x, y) = \sum_{j=0}^m \Delta W_j(x) \psi_j(y) .$$

Применяя принцип возможных перемещений для единичного столбика ( $dx=1$ ) и приравнивая нулю сумму работ внешних и внутренних сил, приложенных у этому элементу, получаем:

$$\int_F \frac{\partial \Delta \sigma_{11}}{\partial x} \varphi_i dF - \int_F \Delta \sigma_{12} \varphi_i' dF + \int_F \Delta X(x, y) \varphi_i dF = 0;$$

$$\int_F \frac{\partial \Delta \sigma_{12}}{\partial x} \psi_j dF - \int_F \Delta \sigma_{22} \psi_j' dF + \int_F \Delta Y(x, y) \psi_j dF = 0$$

При достаточно малых приращениях работы сдвигающих нагрузок можно пренебречь горизонтальными составляющими перемещения. Тогда уравнения упрощаются и принимают следующий вид:

$$Y_k = \sum_{j=0}^n \left[ E_{22}^{jk} \Delta W_j + \Gamma_{22}^{jk} W_j - S_{33}^{jk} \Delta W_j'' - Q_{33}^{jk} W_j'' \right].$$

Выделяя из (5) уравнения для поверхностного слоя основания, получаем выражение для отпора основания:

$$\Delta q_0 \psi(0) = \sum_{j=0}^n \left[ E_{22}^{jk} \Delta W_j + \Gamma_{22}^{jk} W_j - S_{33}^{jk} \Delta W_j'' - Q_{33}^{jk} W_j'' \right].$$

Уравнение осесимметричной деформации нелинейно-упругой цилиндрической оболочки в приращениях имеет вид:

$$D \Delta W^{IV} + 0,75CR^2 \Delta W = R^4 \Delta p.$$

Аппроксимируем зависимость  $\sigma_i = \sigma_i(\varepsilon_i)$  выражением:  $\sigma_i = E\varepsilon_i - m\varepsilon_i^3$ . Получаем разрешающее уравнение осесимметричной деформации нелинейно-упругой цилиндрической оболочки, взаимодействующей с многослойным нелинейным неоднородным основанием:

$$\frac{D}{R_4} \frac{d^4 \Delta W_0}{dx^4} + \frac{3C}{4R^2} \Delta W_0 = \Delta p - \sum_{j=0}^n \left[ E_{22}^{j0} \Delta W_j + \Gamma_{22}^{j0} W_j - S_{33}^{j0} \Delta W_j'' - Q_{33}^{j0} W_j'' \right].$$

### К ВОПРОСУ РАСЧЕТА НЕЛИНЕЙНО-УПРУГОЙ БАЛКИ, ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩЕЙ С МНОГОСЛОЙНЫМ НЕОДНОРОДНЫМ ОСНОВАНИЕМ

Семенов П.К., Петрунина Е.А., Тугушев Е.А.  
СГТУ, г. Саратов, Россия

1. Грунтовое основание моделируется конечным числом сжимаемых слоев, лежащих на недеформируемом массиве. Функция осадки основания, согласно вариационному методу Власова, представляется в виде:

$$w(x, z) = \sum_{k=1}^n W_k(x) \phi_k(z).$$

Для среды основания с неоднородными свойствами значение секущего модуля  $E_c = \sigma_i / \varepsilon_i$  зависит от параметров среды, например, от влажности.

Распределение влажности можно определить путем решения уравнения диффузии. Коэффициент диффузии является функцией пространственных координат  $D = D(x, z)$ . Используя принцип Лагранжа можно получить систему нелинейных дифференциальных уравнений относительно обобщенных перемещений  $W(x)$ :

$$\sum_{k=1}^n \left[ a_{kh}(W, B) W_k'' + b_{kh}(W, B) W_k' - c_{kh}(W, B) W_k \right] - \int_0^H q(x, z) \phi_n dz = 0.$$

Применяя к системе (3) известные процедуры линеаризации метода последовательных возмущений параметров, получаем линеаризованную систему обыкновенных дифференциальных уравнений в приращениях:

$$\sum_{k=1}^n [a_{kh}(x)\Delta W_k'' + b_{kh}(x)\Delta W_k' - c_{kh}(x)\Delta W_k] + \Delta q_k(x) + \Delta B_k(x) = 0$$

2. Рассмотрим нелинейно-упругую балку, взаимодействующую с описанным основанием. Для описания нелинейного характера деформирования материала балки используем известную зависимость:  $\sigma^B = E\sigma^B - m(\varepsilon^B)^3$ .

Дифференциальное уравнение изгиба нелинейно-упругой балки, применительно к зависимости имеет вид:  $\frac{d^2}{dx^2} [(EI_2 - 3mI_4(W'')^2)\Delta W''] + \Delta q(x) = 0$ .

Если данная балка лежит на описанном выше основании, то следует учесть, что:  $\Delta W = \Delta W_1$   $\Delta q_h(x) = \Delta q(x)\phi_1(0)$ , и подставить реактивный отпор основания.

Таким образом, окончательно получим:

$$\frac{d^2}{dx^2} \left[ (EI_2 - 3mI_4(W'')^2) \frac{d^2(\Delta W_1)}{dx^2} \right] = \Delta q(x) + \sum_{k=1}^n [a_{kh}(W, B)\Delta W_k'' - c_{kh}(W, B)\Delta W_k] + \sum_{k=1}^n \left[ \frac{\partial a_{hk}}{\partial B} W_k'' - \frac{\partial c_{hk}}{\partial B} W_k \right] \Delta B$$

Полученная система уравнений может быть реализована для различных программ возмущения приращений ведущих параметров  $\Delta q$  и  $\Delta B$ , моделирующих реальные условия эксплуатации.

## К РАСЧЕТУ НЕЛИНЕЙНО-УПРУГИХ ПЛИТ, ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ С НЕЛИНЕЙНЫМ НЕОДНОРОДНЫМ ОСНОВАНИЕМ

Семенов П.К., Селиванов Ф.С., Петрушенков А.А.  
СГТУ, г. Саратов, Россия

Вопросы расчета 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.

Подставляя уравнения (2), (3) в (4), после преобразования получим:

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 ее толщиной, а материал плиты несжимаемым и нелинейно-упругим

Совокупность компонентных геометрических и статических уравнений порождает вместе с граничными условиями нелинейное операторное уравнение. Для его линейризации используем метод последовательных нагружений, который сводится к построению дифференциала Фреше.

После очевидных преобразований легко получить линейризованное 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).

## РАСЧЕТ ШИХТЫ ДЛЯ СТЕКОЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Синева Н.Ф., Селиванов Ф.С., Евтюшин В.П.

*СГТУ, г. Саратов, Россия*

Расчет шихты – это важная составляющая работы химических лабораторий стекольных заводов и заводов, где для получения конечной продукции осуществляется варка шихты (например, заводов электроплавяных огнеупоров, цехов по производству фритты на металлургических и керамических предприятиях).

Ошибки, допущенные при расчете рецепта, трудно выявляются, но могут оказать существенное влияние на качество конечной продукции. Появление

массового брака конечной продукции, если он связан с ошибками расчета, нередко списывается на качество дозирования и смешивания шихты или на нарушение технологического режима печи.

Ручной расчет шихты, выполняемый лабораториями на калькуляторе, обычно дает приемлемую точность. Но в некоторых случаях возникают проблемы, приводящие к значительным ошибкам в точности рецепта. Если вычисления на калькуляторе проводились с учетом только двух цифр после запятой, то ошибка достигает 0,5 %. А если в методике не было указано на необходимость хотя бы трехкратного повторения вычислений, ошибка расчета достигает 1 %.

Разработана информационная система, позволяющая произвести расчет шихты. Разработан специальный инструментарий, позволяющий принимать эффективные решения.

После заполнения таблиц исходных данных нажатие на кнопку "Вычислить" производит вычисления и заполняется таблица результатов расчета.

№ п/п	Наименование материала	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
1	Песок	98,9	0,125	0,23	0,14				
2	Доломит	1,75	0,19	32,04	19,45				
3	Мел	3,53	0,28	52,11	1,19				
4	Полшпат	63,3	20,36	0,84	0,25	7,68	5,93		
5	Сода					58,48			100
6	Сульфат натрия					43,56			100

Вычислить

%		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
Стекло		71,55	1,6	9,1	4			96	4

	кол-во	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
Песок	0,6722	66,477	0,125	0,084	0,23	0,1546	0,14	0,0941	0
Доломит	0,1969	1,75	0,3445	0,19	0,0374	32,04	6,3079	19,45	3,8292
Мел	0,0493	3,53	0,1741	0,28	0,0138	52,11	2,5699	1,19	0,0587
Полшпат	0,0719	63,3	4,554	20,36	1,4648	0,84	0,0676	0,25	0,018
Сода	0,04	0	0	0	0	0	58,48	2,3352	0
Сульфат натрия	0,96	0	0	0	0	0	43,56	41,819	0
	1,9903	71,55	1,6	9,1	4	44,709	0,4266	96	4

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НИВЕЛИРОВАНИЯ ТРАССЫ

Синева Н.Ф., Селиванов Ф.С., Качурин А.С.

*СГТУ, г. Саратов, Россия*

Разработана информационная система, позволяющая произвести расчет профиля трассы (рис. 1). Разработан специальный инструментарий, позволяющий проектировщикам принимать эффективные решения по планировке рельефа с учетом продольного и поперечных уклонов рельефа.

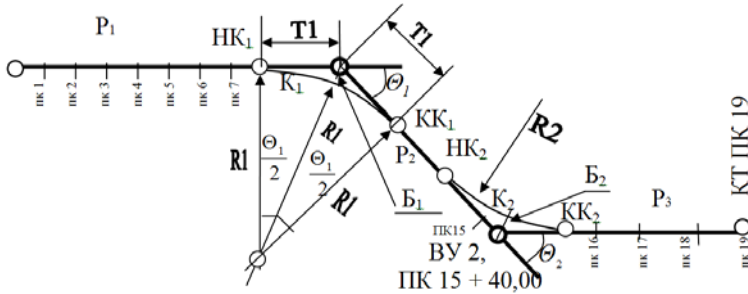


Рис.1. Профиль трассы

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
	<b>Обработка материалов нивелирования трассы автодороги</b>											
1												
2												
3			<b>1. Исходные данные:</b>				<b>Рабочие формулы:</b>					
4	1.	Румб начальной линии										
5		направление	ЮВ									
6		градусы	22									
7		минуты	11									
8												
9	2.	Углы поворота трассы										
10		tetta_1										
11		градусы	28									
12		минуты	29									
13		tetta_2										
14		градусы	33									
15		минуты	15									
16												
17	3.	Радиусы круговых кривых										
18		R1	143	м								
19		R2	151	м								
20												
21	4.	Отметки реперов										
22												
23		H_рп_10	83.656	м								
24		H_рп_11	97.521	м								
25												
26	5.	Пикетажные вершины										
27		НТ	0									
28		КТ	1900									
29		ВУ_1	1000									
30		ВУ_2	1540									
31												
32												
33												

Рис. 2. Вычисления в Excel

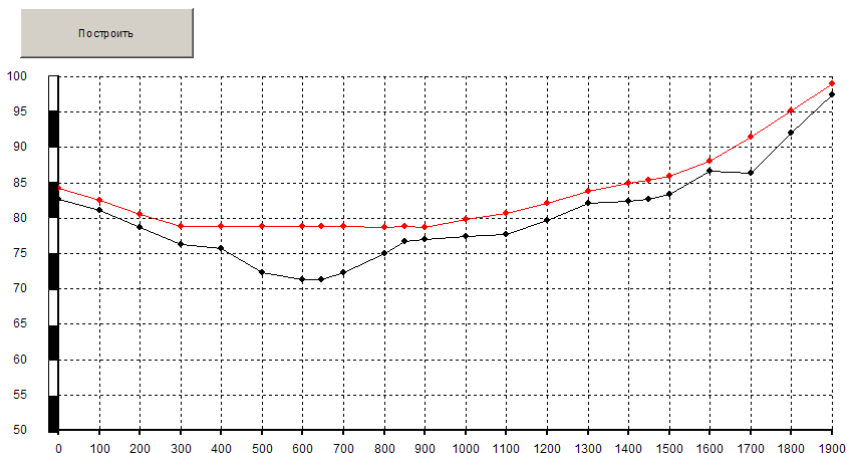


Рис. 3. Результаты расчётов

### РАСЧЕТ КОНСТРУКТИВНОГО ЭЛЕМЕНТА, ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩЕГО С ДВУХСЛОЙНЫМ НЕЛИНЕЙНЫМ НЕОДНОРОДНЫМ ОСНОВАНИЕМ

Синева Н.Ф., Селиванов Ф.С., Чекурков Н.А., Кузнецова А.В.

*СГТУ, г. Саратов, Россия*

При увеличении нагрузки и влажности грунтовой среды происходит снижение значений жесткостных параметров основания. В случае нелинейного деформирования среды нижнего слоя основания более интенсивно нарастают перемещения на линии контакта слоев по сравнению с перемещениями на линии контакта верхнего слоя и конструктивного элемента. При увеличении влажности среды основания диаграмма деформирования может стать нелинейной уже при таких давлениях, при которых она считалась вполне линейной для грунта в естественном не замоченном состоянии. Для аппроксимации закона деформирования грунтовой среды основания можно воспользоваться различными нелинейными зависимостями. В качестве закона деформирования среды основания, в дальнейших расчетах, принята экспоненциальная зависимость.

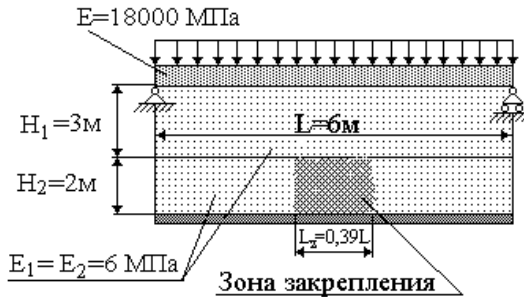


Рис. 1. Структура слоев

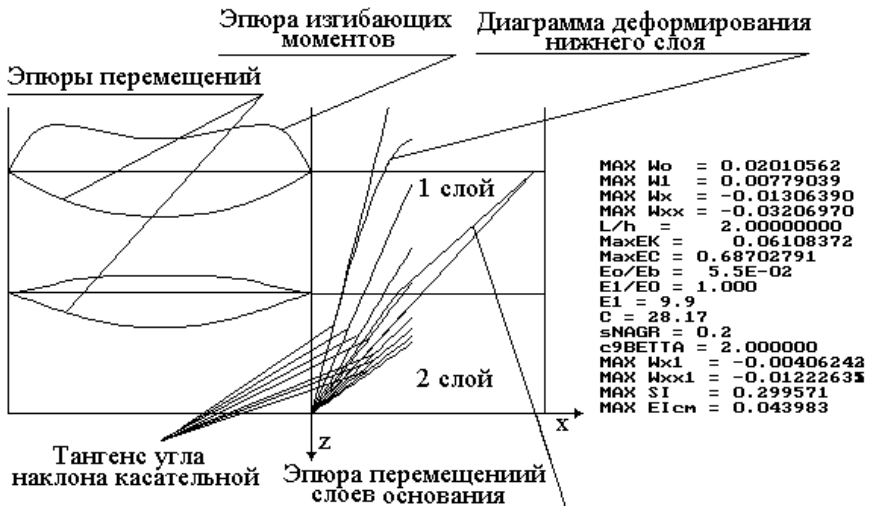


Рис. 2. Результаты расчёта

## РАСЧЕТ ОБОЛОЧКИ, ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩЕЙ С ДВУХСЛОЙНЫМ НЕЛИНЕЙНЫМ НЕОДНОРОДНЫМ ОСНОВАНИЕМ

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

Рассмотрим расчет осесимметричной цилиндрической оболочки, взаимодействующей с двухслойным нелинейным и неоднородным основанием. В качестве диаграммы деформирования примем закон кубической параболы.

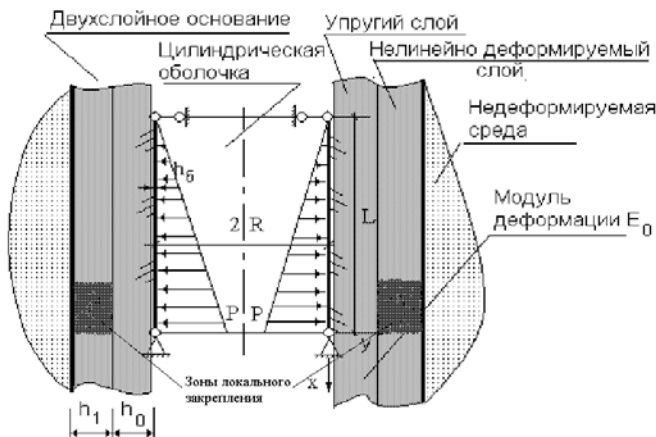


Рис. 1. Расчётная схема

Грунт основания представлен двухслойной средой, где первый слой линейно деформируемый, а второй нелинейно деформируемый. Закрепление производится в нелинейном слое в нижней части оболочки. Были рассмотрены различные варианты деградации деформационных свойств среды закрепленного слоя, такие как увлажнение перед закреплением и после него. В расчете использованы следующие данные: начальная влажность грунта – 25,8%; модули деформации – 6,9 и 8,9 МПа для первого и второго слоя соответственно. При увеличении влажности до 29,0% модуль деформации грунта второго слоя снижается до 3,14 МПа. Длина оболочки  $L=10$  м;  $L/R=2$ ; толщина стенки – 0,2 м; интенсивность нагрузки 15кН/м; модуль упругости материала оболочки  $E=15000$ МПа. Закрепленная зона расположена во втором слое основания в нижней части оболочки. Ширина закрепленной зоны –  $0,25L$ . Результаты расчетов приведены на рис 4.40–4.43 Во всех задачах значения перемещений приведены в безразмерном виде.

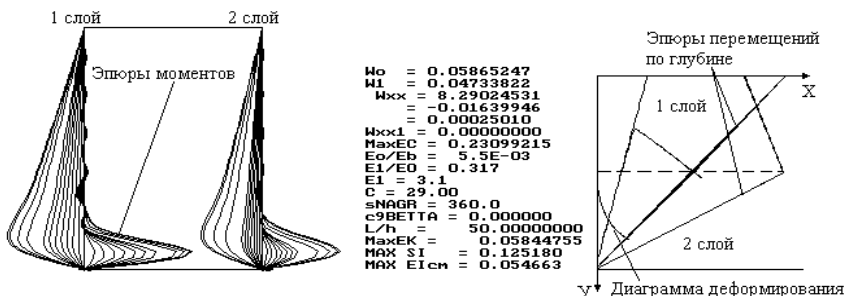


Рис. 2. Результаты расчёта

Процесс деформирования любого конструктивного элемента, взаимодействующего с грунтовым основанием, во многом зависит от физико-механических характеристик основания, и особенно, от их изменения в процессе эксплуатации. Расчетами установлено, что повышающийся уровень влажности существенно снижает деформационные свойства основания. Для уменьшения негативных последствий дополнительного увлажнения необходимо проведение инженерных мероприятий по искусственному закреплению грунтов оснований. В результате в массиве грунта формируются локальные зоны неоднородности, имеющие в отличие от основного массива грунта, более высокие деформационные показатели.

### РАСЧЕТ ПЛИТЫ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩЕЙ С НЕЛИНЕЙНЫМ НЕОДНОРОДНЫМ ОСНОВАНИЕМ

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

Рассмотрим расчет плиты на неоднородном нелинейно – деформируемом основании (неоднородность в данном случае связана с наличием в основании локальных зон закрепления). Исходные данные: размер плиты –  $L=6 \times 6 \text{ м}$ ; толщина плиты –  $b=0,5 \text{ м}$ ; материал плиты – бетон; Модуль упругости –  $E=18000 \text{ МПа}$ ; коэффициент Пуассона материала плиты –  $\nu=0,3$ ; коэффициент Пуассона грунтового основания  $\nu_0=0,35$ ; коэффициент постели грунтового основания  $k=0 \dots 20000 \text{ кН/м}^3$ ; коэффициент постели закрепленного участка  $k_3=20000 \dots 1000000 \text{ кН/м}^3$ ; интенсивность нагрузки  $p=200 \text{ кН/м}^2$ ; мощность слоя основания  $H=15 \text{ м}$ ; кубическая диаграмма деформирования материала основания.

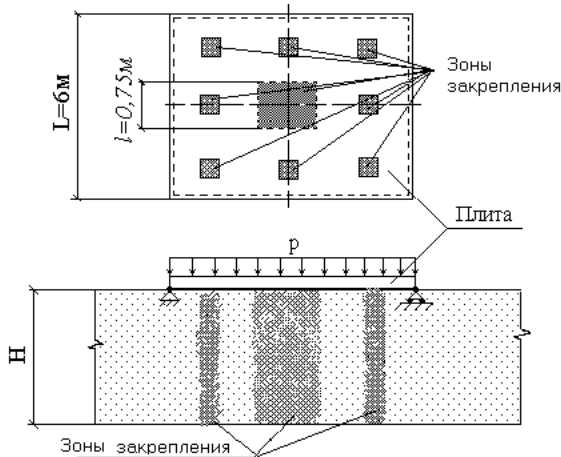


Рис. 1 Расчётная схема

Приведены наиболее значимые результаты расчета шарнирно опертой по контуру плиты при локальном закреплении основания.

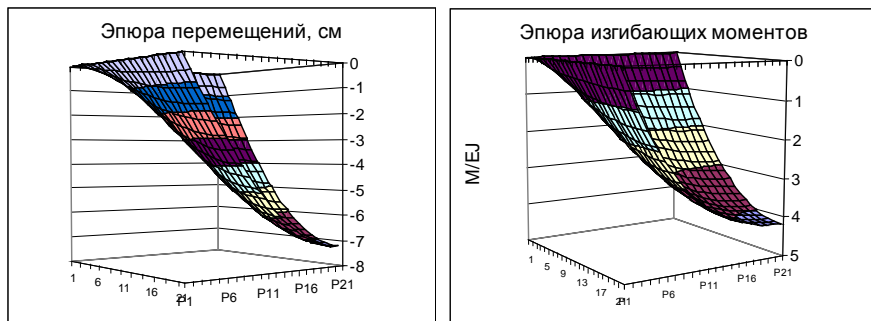


Рис. 2. Результаты расчёта

## НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ И ОСАДКА ПЕСЧАНОГО ОСНОВАНИЯ КРУГЛЫХ И КОЛЬЦЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ФУНДАМЕНТОВ С СИСТЕМОЙ РАДИАЛЬНЫХ РЕБЕР ПРИ ВНЕЦЕНТРОМ НАГРУЖЕНИИ

Струлёв В. М., Лобачев И.В.  
ТГТУ, г. Тамбов, Россия

Данная работа посвящена экспериментальным исследованиям по влиянию опорных радиальных ребер на несущую способность и осадку песчаного основания для круглых и кольцевых моделей фундаментов с одинаковой горизонтальной площадью контакта. Испытания проводились в металлическом лотке с размерами 2х2,5х1,5м. Основанием служил увлажненный ( $\omega=10\%$ ) пылеватый песок послойно уплотненный до плотности  $\rho=1,70 \text{ г/см}^3$ . Просеянный песок отсыпали слоями по 15см и уплотняли металлической трамбовкой. После каждого эксперимента песок убрали на глубину 1,5...2 диаметра модели ниже подошвы и укладывали заново. На предварительно уплотненный грунт устанавливалась модель фундамента. На модели укладывался жесткий металлический диск толщиной 10 мм для равномерной передачи нагрузки. Нагрузка на штампы передавалась с помощью гидравлического домкрата. Для измерения осадки штампа использовались индикаторы часового типа (ИЧ-10). Внецентренная нагрузка подавалась ступенями по 0,1 от максимальной нагрузки, с выдержкой по 10 минут на каждой ступени до наступления условной стабилизации перемещений. Домкрат смещался от центра тяжести на расстоянии  $D/8$ .

Для исследований были использованы 4 плоские модели плитной части фундамента с одинаковой горизонтальной площадью контакта с размерами в плане  $D=264 \text{ мм}$  (отношение  $d/D=0$ );  $d=52 \text{ мм}$ ,  $D=270 \text{ мм}$  (отношение  $d/D=0,2$ ),  $d=115 \text{ мм}$ ,  $D=288 \text{ мм}$  (отношение  $d/D=0,4$ ),  $d=198 \text{ мм}$ ,  $D=330 \text{ мм}$  (от-

ношение  $d/D=0,6$ ) и 12, выполненных из дерева, с радиальными опорными ребрами с размерами в плане  $D=373$  мм (отношение  $d/D=0$ );  $d=52$  мм,  $D=377$  мм (отношение  $d/D=0,138$ ),  $d=115$  мм,  $D=391$  мм (отношение  $d/D=0,294$ ),  $d=198$  мм,  $D=423$  мм (отношение  $d/D=0,468$ ), где  $d$ - внутренний и  $D$ - наружный диаметры кольцевой модели. Модели с радиальными ребрами были выполнены с шестью, восемью и десятью ребрами.

Проведенные эксперименты показали, что применение радиальных опорных ребер приводит к увеличению несущей способности песчаного основания в 1,33...2,2 раза по сравнению с плоскими штампами при внецентренном действии нагрузки, а также к уменьшению текущих осадок штампов при одинаковой нагрузке во всем диапазоне рассматриваемых отношении внутреннего диаметра штампа к наружному. Оптимальными штампами по несущей способности песчаного основания являются штампы с шестью и восьмью опорными радиальными ребрами. По сравнению с базовыми штампами при одинаковой величине нагрузки наименьшие осадки были зафиксированы у штампа с восьмью радиальными ребрами.

### **ВЛИЯНИЕ МАЛОЦИКЛОВОГО НАГРУЖЕНИЯ НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ И ОСАДКУ ПЕСЧАНОГО ОСНОВАНИЯ КОЛЬЦЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ФУНДАМЕНТА**

Струлёв В.М., Поздняков А.С.  
*ГГТУ, г. Тамбов, Россия*

Данная работа посвящена экспериментальным исследованиям по влиянию малоциклового нагружения на несущую способность и осадку песчаного основания плоских штампов, штампов с наклонными консольными свесами и опорными радиальными ребрами. Основанием служил пылеватый песок из карьера Красненькое г.Тамбова. Просеянный песок отсыпали слоями по 15 см и уплотняли металлической трамбовкой. Требуемая плотность основания достигалась определенным числом ударов трамбовки по одному следу и равнялась  $\rho = 1,7$  г/см<sup>3</sup>. На предварительно уплотненный грунт устанавливалась деревянная или железобетонная модель. На модели укладывался металлический диск для равномерного восприятия нагрузки. Нагрузка прикладывалась циклически, с количеством циклов – 10. Величина нагрузки принималась 90% от несущей способности песчаного основания. На каждой ступени нагружения осуществлялась выдержка в течение 10 минут до условной стабилизации. Разгружение происходило до уровня 25% от несущей способности песчаного основания. После циклического испытания проводилось статическое испытание моделей до разрушения основания.

Для исследований были использованы 2 железобетонные модели плитной части фундамента с одинаковой горизонтальной площадью контакта: плоский с соотношением внутреннего и наружного диаметров равном  $d/D=0,2$  и с наклонными консольными свесами с отношением  $d/D=0,2$  и  $a/D=0,2$  с углом наклона консолей к горизонтальной плоскости 30° и одна, выполненная из

дерева, с восемью радиальными ребрами с соотношением  $d/D=0,138$ , где  $d$ - внутренний и  $D$ - наружный диаметры кольцевой модели;- «а» – “вылет” наклонных консольных свесов.

Проведенные эксперименты показали, что при одинаковом уровне нагружения (0,9-0,25 от несущей способности) суммарная циклическая осадка штампа с наклонными консолями больше, чем у плоского штампа в 1,45 раз при центральном нагружении, за счет режущей кромки на конце консоли. Суммарная циклическая осадка штампа с радиальными ребрами при внецентренном нагружении практически одинакова, а при центральном действии нагрузки в 1,5 раза меньше.

Следует отметить существенное влияние конструкции плитной части на суммарную циклическую осадку и осадку при стационарном испытании, а также последующую несущую способность основания. Анализируя работу, можно сказать, что наиболее эффективным является штамп с радиальными ребрами жесткости.

### **НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ И ОСАДКА ПЕСЧАНОГО ОСНОВАНИЯ КРУГЛЫХ И КОЛЬЦЕВЫХ ФУНДАМЕНТОВ С ПЕРИФЕРИЙНЫМИ КОНСОЛЬНЫМИ ВЫСТУПАМИ**

Струлёв В. М., Черкашин А.Б., Бао Н.К.  
*ТГТУ, г. Тамбов, Россия*

Данная работа посвящена экспериментальным исследованиям по влиянию периферийных консольных выступов на несущую способность и осадку песчаного основания при центральном и внецентренном нагружении круглых и кольцевых штампов. Испытания проводились в металлическом лотке с размерами 2х2,5х1,5м. Основанием служил пылеватый песок из карьера Красненькое г.Тамбова.Просеянный песок отсыпали слоями по 15 см и уплотняли металлической трамбовкой. Требуемая плотность основания достигалась определенным числом ударов трамбовки по одному следу и равнялась  $\rho = 1,7 \text{ г/см}^3$ . После каждого эксперимента песок убирали на глубину 2...3 диаметра модели ниже подошвы и укладывали заново. На предварительно уплотненный грунт устанавливалась деревянная модель. На модели укладывался металлический диск для равномерного восприятия нагрузки. Нагрузка на модель передавалась с помощью домкрата ступенями, с выдержкой по 15 минут до наступления условной стабилизации перемещений на каждой. В ходе испытаний определялась осадка ( $s$ ) во всем диапазоне нагрузок с помощью двух индикаторов часового типа ИЧ-10.

Для проведения испытаний были изготовлены 20 моделей фундаментов с одинаковой горизонтальной площадью контакта и с различным отношением внутреннего диаметра кольца  $d$  к внешнему диаметру кольца  $D$  (0; 0,2; 0,4; 0,6) и различным количеством периферийных консольных выступов  $n$  (0, 4, 8 10).Они имеют размеры в плане: для штампов без консоли: $D=264\text{мм}$  и

$d=0$ мм(при отношении  $d/D=0$ ); $D=270$ мм и  $d=52$ мм(при отношении  $d/D=0,2$ ); $D=288$ мм и  $d=115$ мм(при отношении  $d/D=0,4$ ); $D=330$ мм и  $d=198$ мм(при отношении  $d/D=0,6$ ); для штампов с применением консолей: $D=332$ мм и  $d=0$ мм(при отношении  $d/D=0$ ); $D=324$ мм и  $d=52$ мм(при отношении  $d/D=0,2$ ); $D=335$ мм и  $d=115$ мм(при отношении  $d/D=0,4$ ); $D=364$ мм и  $d=198$ мм(при отношении  $d/D=0,6$ ).

Проведенные эксперименты показали, что применение в конструкции периферийных консольных выступов позволяет уменьшить осадку, и увеличить несущую способность основания до 16,7% при внецентренной нагрузке и 38% при центральной нагрузке. При наличии консольных выступов большей эффективностью обладает штамп с более частым шагом, т.е модель с десятью консольными выступами является наиболее эффективным. При и центральной и внецентренной нагрузке штампы с консольными выступами и отношением  $d/D=0...0,4$  целесообразны. А эффективность штампов с отношением  $d/D=0,6$  не выявлена. Влияние конфигурации консолей на работу основания незначительно. Эксцентриситет силы снижает эффективность работы песчаного основания.

## ТЕРМИЧЕСКОЕ РАСШИРЕНИЕ ПЕНОПЛАСТОВ

Суспицына К.Ю., Киселева О.А.

*ТГТУ, г. Тамбов, Россия*

В процессе эксплуатации строительные материалы подвергаются воздействию повышенных температур. При этом происходит изменение их размеров, вызывающее в них значительные термические напряжения. В связи с этим возникает необходимость изучения поведения материала в свободном состоянии при нагревании с заданной скоростью.

Исследования пенополистирола и пенополиуретана проводили в линейном dilatометре при двух скоростях нагрева 2,78 и 4 °С/мин. Проследим влияние скорости нагрева на термическое расширение пенопластов, которые по сравнению с другими строительными материалами чувствительны к действию температуры.

Первоначально для обоих пенопластов при нагреве до температуры 40 °С, наблюдается резкое увеличение размеров образцов. Затем в интервале температур от 40 до 60 процесс замедляется, после чего снова ускоряется. Однако пенополистирол чувствителен не только к действию температуры, но и к скорости ее роста. Так при скорости нагрева 4 °С/мин его расширение в 1,5 раза больше чем при скорости 2,78°С/ми. А на пенополиуретан до 60°С скорость нагрева практически не сказывается, и только потом проявляется зависимость величины удлинения пенопласта от скорости нагрева.

При сравнении двух пенопластов можно сделать вывод, что для пенополиуретана характерно наибольшее термическое расширение.

Необходимо отметить, что при охлаждении образцы пенопластов начинают сужаться. Однако образцы пенополистирола больше исходных на  $2 \times 10^{-5}$

мм, а пенополиуретана – меньше исходных на  $11 \times 10^{-5}$  мм. Такое поведение свидетельствует об изменении структуры материалов.

По полученным данным был определен коэффициент линейного термического расширения ( $\alpha$ ), который для пенополистирола составил при скорости нагрева  $2,78 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$   $34 \times 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$ , а пенополиуретана –  $60 \times 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$ . При увеличении скорости нагрева величина  $\alpha$  для обоих пенопластов увеличивается в 1,3 раза.

## **ОБ ИССЛЕДОВАНИИ ВЛИЯНИЯ СПОСОБА СОЕДИНЕНИЯ СТЕНОК ТОНКОСТЕННЫХ ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ НА УСТОЙЧИВОСТЬ СОСТАВНЫХ СТЕРЖНЕЙ**

Теличко Г.Н., Нехаев Г.А.  
*ТулГУ, г. Тула, Россия*

Практика применения стержней из тонкостенных холодногнутых оцинкованных профилей позволяет сделать вывод о том, что основным способом их использования являются стержни одиночных профилей достаточно малой длины. Использование этих стержней ориентировано на малоэтажные строения гражданского назначения, где трудоёмкость монтажа несущей конструкции из гнутых профилей, связанная с малой длиной конструктивных элементов, не имеет решающего значения.

Тем не менее, в последние годы отмечается тенденция к усложнению формы сечения, что объясняется желанием увеличить несущую способность тонкостенных гнутых профилей с целью расширения номенклатуры сооружений, в которых эти профили могли бы быть использованы.

Именно по этой причине стали изготавливаться профили, которые имеют повышенную изгибную жёсткость за счёт появления на полках, стенках и даже отгибах рёбер жёсткости. Эти элементы появляются как результат деформирования плоскостей соответствующих плоских элементов поперечного сечения.

Попытки применения стержней с одиночными профилями даже увеличенной изгибной жёсткости для проектов промышленного назначения наталкиваются на серьёзные трудности в виде требования увеличения длины таких стержней. И здесь изменения формы поперечного сечения оказывается неэффективным, поэтому в качестве альтернативы можно предложить применение *составных* сечений из тонкостенных профилей, работающих совместно за счёт соединения, например, стенок С-образных профилей.

Такое предложение требует решения двух задач:

1) определения способа обеспечения совместной работы стенок, в частности, частоты расположения крепёжных элементов вдоль длины составного стержня;

2) методики расчёта составного стержня на устойчивость с учётом не только способа соединения стенок, но и факта тонкостенности поперечного сечения.

Решение первой задачи можно предложить, исходя из того, что при локальной форме потери устойчивости отдельного профиля, рёбра, образуемые полками и стенкой, а также полками и отгибами, остаются параллельными оси стержня. А значит, такую форму потери устойчивости можно допустить в отдельном профиле составного сечения. Другое дело – форма в виде искажения сечения, при которой рёбра, образованные полками и отгибом «уходят» из плоскости полки, поворачивая при этом вокруг своей оси рёбра, образованные полками и стенкой. Чтобы предотвратить этот поворот, можно предложить в качестве расстояния между элементами крепления полок друг к другу брать длину полуволны потери устойчивости в форме искажения сечения для одиночного сечения при соответствующей нагрузке.

Вторая задача может быть решена численно, например, методом конечных элементов. Однако здесь возникают трудности в обеспечении производительности расчётов: дело в том, что моделирование крепёжных элементов стенок профилей, требует управления размерами сетки конечных элементов на стенке с целью выявления оптимального точек соединения полок. Автоматизация такого процесса представляется довольно трудоёмким процессом.

Поэтому предлагается решение этой задачи несколько другим путём, а именно, использованием программы конечно-полосного моделирования устойчивости тонкостенных профилей CUFSM (Schafer B.W., Ádány S. Buckling analysis of cold-formed steel members using CUFSM: conventional and constrained finite strip methods / 18<sup>th</sup> International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures. October 26-27, 2006, Orlando, Florida. October 26-27, 2006, Orlando, Florida). Важным достоинством этой программы является то, что её результаты выделяют базовые формы потери устойчивости в качестве локальных экстремумов значений критических напряжений. Получить такое выделение в пакетах конечно-элементного проектирования представляется достаточно проблематичным.

В программе имеется возможность проектирования расчётной схемы составного сечения на базе объединения стенок тонкостенных профилей вдоль линии, параллельной оси стержня и принадлежащей стенкам соединяемых профилей. Естественно, что решение полученной модели даёт завышенную критическую нагрузку. Однако вопрос о том, насколько она завышена, может быть решён в конечном числе численных экспериментов на конечно-элементной модели. В случае значимого расхождения полученные численные результаты конечно-элементного и конечно-полосного моделирования могут быть откорректированы введением коэффициентов или функций.

Таким образом, появляется практическая возможность решения вопроса о целесообразности использования составных сечений из тонкостенных про-

филей с целью увеличения длины конструктивных элементов и повышения их несущей способности.

## **РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ОБОЛОЧКИ ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ ГАУССОВОЙ КРИВИЗНЫ С УЧЕТОМ НЕЛИНЕЙНЫХ СВОЙСТВ БЕТОНА И ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ**

Теличко В.Г., Чигинский Д.С.  
*ТулГУ, г. Тула, Россия*

В представленной работе рассмотрено решение задачи деформирования железобетонной оболочки положительной гауссовой кривизны, опертой на типовые фермы ФКБ-24, с учетом усложненных свойств: поперечного сдвига, нелинейной сопротивляемости основного материала, с учетом разрушения материала в форме трещинообразования.

Решение поставленной задачи осуществлялось с использованием конечно-элементной модели предложенной авторами в работе [1], основанной на исследованиях Кука-Пиана-Тонга [2]. Использовался конечный элемент треугольной формы с 5-ю степенями свободы в узле.

Для упрощения модели использовались следующие дополнительные технические гипотезы: 1) в качестве модели для стальной арматуры принималось идеально упругопластическое тело; 2) предполагалось, что арматура воспринимает только нормальные напряжения в поперечных сечениях; 3) напряжения в пределах армированных слоев 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 учетом разбиения по толщине на ряд фиктивных слоев; 5) жесткостные характеристики распространялись на все точки фиктивного слоя; 6) в зависимости от конкретных условий напряженно деформированного состояния фиктивных слоев выделялись следующие группы слоев: а) бетонные слои, б) армированные слои, в) бетонные слои с трещинами, г) бетонные слои с пересекающимися трещинами, д) армированные слои с трещинами, е) армированные слои с пересекающимися трещинами.

Численное решение задачи осуществлялось методом пошаговых нагружений в сочетании с методом «переменных параметров упругости» – вариантом метода последовательных приближений.

### **Библиографический список**

1. Теличко, В.Г. Гибридный конечный элемент для расчета плит и оболочек с усложненными свойствами [Текст] / В.Г. Теличко, А.А. Трещев // Известия вузов. Строительство. 2003. № 5. С. 17-23. – Библиогр.: с. 23.
2. Cook, R.D. Two hybrid elements for analysis of thick thin and sandwich plates [Text] / R.D. Cook // Int. J. num. Meth. Engng. 1972. Vol. 5. P. 277-288.

## ЭКОЛОГИЧНОСТЬ СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ – ПОКАЗАТЕЛЬ КАЧЕСТВА КИРПИЧА КЕРАМИЧЕСКОГО

Терёхина Ю.В.

*РГСУ, г. Ростов-на-Дону, Россия*

В керамической промышленности Юга России в настоящее время возникают проблемы, связанные с сырьевой базой, что сказывается на качестве готовой продукции. Вырабатываются действующие месторождения, привлекается привозное сырьё, вводятся дополнительные компоненты, что сказывается на стоимости готовой продукции. В тоже время расширяется ассортимент кирпича керамического, ужесточаются требования к качеству готовой продукции по прочности, морозостойкости. Потребителю интересен «красивый» кирпич для лицевой отделки (цвет, форма, геометрические параметры) и прочный кирпич для забутовочных работ. Крупным строительным компаниям интересны производители, которые имеют сертификаты соответствия ИСО 9001 и ИСО 14000. Данные стандарты устанавливают положения на систему менеджмента качества и на экологический менеджмент предприятий (выбросы, отходы, вредность продукции). Для соответствия кирпичных заводов данным нормативным документам необходимы современные технологии производства и качественное сырьё.

В качестве альтернативы традиционной сырьевой базы для производства кирпича керамического по технологии полусухого прессования (глины, суглинки) на одном из заводов было решено использовать опоковидные породы. Использование данных пород позволяет получать лицевой кирпич желтого цвета без использования дополнительных компонентов, соответствующий действующим нормативным документам. Химический состав данных пород представлен в таблице.

Влага гигро- скопич- пич- ная	Поте- ри при про- кал.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> общ.	CaO	MgO	SO <sub>3</sub> общ.	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub> амор	Сумма
4,55	12,24	60,83	6,35	3,36	12,72	2,08	0,35	0,43	0,06	1,07	0,84	44,83	99,33

Особенность структуры и химического состава опоковидных пород по сравнению с глинами и суглинками в процессе технологии получения продукции позволяют снижать % пыли в цехе, вредные выбросы в атмосферу (сернистые соединения) и делают продукт экологически чистым и дышащим. Совокупность данных факторов позволяет предприятию внедрять систему экологического менеджмента и выпускать качественную продукцию.

## УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ ТОНКОЙ ПОЛОГОЙ ОБОЛОЧКИ ИЗ ДИЛАТИРУЮЩЕГО МАТЕРИАЛА ПРИ КОНЕЧНЫХ ПРОГИБАХ

Трещев А.А., Забелин А.Н.

*ТулГУ, г. Тула, Россия*

В настоящее время среди множества конструкционных материалов выделяется достаточно обширный класс материалов, чьи механические характеристики зависят от вида напряженного состояния. К таким материалам относятся большинство композиционных и полимерных материалов.

Учет зависимости деформационных характеристик от вида напряженного состояния в основном приобретает актуальность при достаточно высоком уровне напряжений в области пластических деформаций. При учете свойств разносопротивляемости при пластическом деформировании дает наиболее точное описание работы конструкций из таких материалов.

Для описания напряженно-деформированного состояния разносопротивляющихся дилатирующих материалов условие пластичности, придерживаясь работ Трещева А.А., сформулировано в общем виде:

$$\tau \cdot f(\xi) = k_{\tau}$$

Решение задачи изгиба пластин проводится на основе теории малых упруго - пластических деформаций.

При исследовании пластического изгиба оболочек из указанных материалов получены разрешающие нелинейные дифференциальные уравнения, описывающие работу конструкций при конечных прогибах как в упругой, так и в пластической стадии работы.

Линеаризация системы не линейных дифференциальных уравнений выполнялась двухшаговым методом последовательного возмущения параметров В.В. Петрова.

Решение системы линеаризованных уравнений проводилось численным методом конечных разностей.

Загружение рассмотрено равномерно распределенной поперечной нагрузкой при шарнирном опирании по контуру и при жестком защемлении. Рассчитаны переменные границы пластических зон, как в плане, так и по толщине, получены зависимости максимальных прогибов оболочки от интенсивности поперечной нагрузки, изменение продольных сил и изгибающих моментов как по длине оболочки, так и для конкретной точки.

Полученные результаты, очевидно, подтверждают тот факт, что описание пластического изгиба пластин из дилатирующих материалов не укладывается в рамки классической теории механики пластин.

Библиографический список

1. Трещев А. А., Божанов П. В., Забелин А. Н., Определение напряженно-деформированного состояния тонкой полой оболочки с учетом пластической дилатансии // Вестник ЧГПУ им. И.Я. Яковлева. Серия Механика предельного состояния. 2008. №2. С. 56-58.
2. Трещев А. А., Божанов П. В., Забелин А. Н., Исследование упругопластических состояний тонкой полой оболочки положительной гауссовой кривизны из дилатирующего материала // Сборник статей VII Международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию Пензенского государственного университета архитектуры и строительства. Эффективные строительные конструкции: теория и практика. 2008. С. 23 -27.
3. Трещев А. А., Божанов П. В., Забелин А. Н., Исследование упругопластических состояний тонкой полой оболочки положительной гауссовой кривизны из дилатирующего материала // Научно-технические проблемы прогнозирования и долговечности конструкций и методы их решения: Труды Международной конференции RELMAS' 2008. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского политехнического университета. 2008. С. 339-343.

**ПОПЕРЕЧНЫЙ ИЗГИБ КРУГЛОЙ ПЛАСТИНКИ ИЗ МАТЕРИАЛОВ,  
СВОЙСТВА КОТОРЫХ ЗАВИСЯТ ОТ ВИДА НАПРЯЖЕННОГО  
СОСТОЯНИЯ ПРИ ПОЛЗУЧЕСТИ**

Трещев А.А., Захарова И.А.  
*ТулГУ, г. Тула, Россия*

В современной технике получили широкое распространение пластины, изготовленные из материалов, реологические свойства которых не соответствуют классическим представлениям о механике твердых тел. В общепринятых теориях ползучести изначально постулируется реологическая несжимаемость реономных материалов и принимается за основу гипотеза единой кривой деформирования. Однако, как показали эксперименты, проведенные на полимерных и композитных материалах, величина давления может существенно изменить характер и механизмы деформационных процессов, вызывая чувствительность параметров ползучести к виду напряженного состояния. 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 напряженного состояния. Влияние гидростатического давления на деформацию сдвига не может быть учтено классическими теориями ползучести.

В представленном докладе рассматривается задача осесимметричного изгиба тонкой круглой пластинки Кирхгофа, базирующаяся на потенциале ползучести для изотропных дилатирующих разносопротивляющихся материа-

лов. 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.

Используя методику ассоциированного закона течения на основе потенциала (1) можно установить 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 круглой пластинки при осесимметричном изгибе. Здесь  $\dot{\epsilon}_{ij}$  – компоненты тензора скоростей деформаций.

Рассмотрен изгиб жестко защемленных круглых пластин при малых прогибах и в результате решения конкретных задач обнаружен ряд количественных эффектов, связанных с разноползучестью материала пластины.

## МОДЕЛЬ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ПЛАСТИНЫ В ПРОЦЕССЕ НАСЫЩЕНИЯ ВОДОРОДОМ

Трещев А.А., Корнеев А.В.

*ТулГУ, г. Тула, Россия*

В представленной работе на базе известных экспериментальных сведений и определяющих соотношений, принятых в работе [1], исследовано влияние наводороживания на деформирование тонкой гибкой прямоугольной пластины. Рассмотрено упруго-пластическое равновесие пластины, находящейся под действием поперечной равномерно-распределенной нагрузки интенсивностью  $q$  и водородосодержащей среды с концентрацией  $\lambda$ . Деформированное состояние пластины определено компонентами перемещений точек срединной поверхности  $u_1$ ,  $u_2$ ,  $u_3 = w$ . Геометрические и физические соотношения приняты нелинейными согласно [1]. В результате была получена система трех нелинейных дифференциальных уравнений относительно функций перемещений, дополненная граничными условиями в виде одного кинематического и трех статических соотношений на границе закрепления пластины для случая свободного опирания. В дальнейшем, полученная система трех уравнений была заменена системой двух уравнений в смешанной форме и линеаризована. Входящие в полученные разрешающие уравнения констан-

ты квазилинейной и нелинейной частей потенциала деформаций, а так же показатель степени нелинейности представлены в виде функций от уровня наводороживания  $\lambda$ , где  $\lambda$  – концентрация водородосодержащей среды в теле материала, измеряемая в процентах. Функциональные зависимости констант материала введены на этапе обработки экспериментальных диаграмм деформирования. Вид этих функций установлен в работе [2]

Для решения линеаризованных уравнений использован двухшаговый метод последовательных возмущений параметров В.В.Петрова. При этом для каждого этапа нагружения, приращения искоемых функций уточняются методом упругих решений А.А.Ильюшина [1], на каждом шаге которого решается методом Навье линейная задача определения прогиба прямоугольной пластины, свободно опертой по контуру.

Полученные результаты показывают снижение сопротивления деформированию с повышением содержания водорода.

#### Библиографический список

1. Трещев А.А. Теория деформирования и прочности материалов, чувствительных к виду напряженного состояния. Определяющие соотношения / А.А. Трещев. М.; Тула: РААСН; ТулГУ, 2008. 264 с.
2. Корнеев А.В. Учет влияния водородосодержащей среды на напряженно-деформированное состояние материалов на основе титановых сплавов / А.В. Корнеев, А.А.Трещев // Известия высших учебных заведений. Строительство. №3-4. Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2009. С. 23-29.

### **ТРЕЩИНЫ НОРМАЛЬНОГО РАЗРЫВА В ОРТОТРОПНЫХ МАТЕРИАЛАХ С НЕЛИНЕЙНО МЕНЯЮЩИМИСЯ СВОЙСТВАМИ, НАХОДЯЩИХСЯ В УСЛОВИЯХ ПЛОСКОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ**

Трещев А.А., Неделин А.В.  
*ТулГУ, г. Тула, Россия*

Зависимость деформационных характеристик от вида напряженного 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 напряженного состояния меняется существенным образом, поэтому представляется важным исследование напряженно-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 нормального отрыва в упругих ортотропных нелинейных материалах, для которых не выполняются

соотношения классической теории упругости, обычно принимаемые в линейной механике разрушения. Рассматривается случай плоского напряженного состояния. 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 разнородного 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 усложненных свойств материалов на критические значения напряжений, определяющих начало роста макротрещины. Установлено, что учет нелинейной чувствительности механических свойств материала к изменению вида напряженного состояния приводит к существенному снижению величин критических напряжений, при которых происходит рост трещин.

### **СВЯЗАННЫЕ ЗАДАЧИ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОГО ИЗГИБА ТОНКИХ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ПЛАСТИН ИЗ ИЗОТРОПНЫХ МАТЕРИАЛОВ С УСЛОЖНЁННЫМИ СВОЙСТВАМИ**

Трещев А. А., Чигинский Д. С.  
*ТулГУ, г. Тула, Россия*

Предложена математическая модель расчета термомеханического изгиба тонких прямоугольных пластин, выполненных из изотропных материалов с усложнёнными свойствами, которые зависят от напряжённо-деформированного состояния и изменения температуры. Модель учитывает связанность задачи и имеет возможность прослеживания процессов изгиба тонких прямоугольных пластин, находящихся в условиях термомеханического нагружения. В задачах рассмотрены шарнирно закреплённые и жестко защемлённые пластины, находящиеся под действием равномерно распределенной нагрузки и полей температуры.

Для вывода основных дифференциальных уравнений поставленных задач термоупругости используется методика, предложенная Н. М. Матченко и А. А. Трещевым [1]. Влияние вида напряжённого состояния на деформационные характеристики материала учитываются на базе методик нормированных пространств напряжений и определяется из термодинамического потенциал Гиббса [2].

В работе получены системы разрешающих дифференциальных уравнений в общем виде с помощью пакета Maple (Waterloo Maple Inc.). Решение нелинейных дифференциальных уравнений производится методом упругих решений А. А. Ильюшина, с помощью разработанной программы в пакете MATLAB (The MathWorks, Inc.), причём в рамках итераций решение линей-

ных дифференциальных уравнений производится методом конечных разностей. При этом прослеживается процесс влияния температуры на механические характеристики материалов и напряженного состояния на распределение температуры по толщине пластинки.

Получено численное решение и новые качественные эффекты, в частности выявлено, что при термомеханическом деформировании пластин наличествует наведённая и меняющаяся во времени чувствительность коэффициентов линейного температурного расширения к виду напряженного состояния.

Анализ полученных результатов и оценка сходимости решения позволяет сделать вывод об адекватности разработанной математической модели и подчеркивает необходимость решения задач термоупругости в связанной постановке с учётом явления разнсопротивляемости.

#### Библиографический список

1. Матченко Н. М. Теория деформирования разнсопротивляющихся материалов. Определяющие соотношения. / Н. М. Матченко, А. А. Трещев. Тула: ТулГУ, 2000. 149 с.

2. Теличко В.Г., Чигинский Д.С., Петров А.А. Решение задачи об изгибе тонкой прямоугольной пластины из разнсопротивляющихся материалов в условиях термомеханического нагружения // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 1. В 2 ч. Ч. 2. Тула: Изд-во ТулГУ, 2009. с. 114-120.

### **ПОТЕНЦИАЛ НАПРЯЖЕНИЙ ДЛЯ ИЗОТРОПНЫХ ДИЛАТИРУЮЩИХ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**

Трещев А.А., Шахов В.С., Щербаков А.С.  
*ТулГУ, г. Тула, Россия*

Сопротивление многих конструкционных материалов деформированию зависит от вида напряженного или деформированного состояния. Разнсопротивляющиеся материалы, такие как чугун, графиты, полимерные материалы и другие, при пластическом деформировании проявляют дилатационные свойства. Большинство известных моделей, описывающих поведение таких материалов под нагрузкой, имеют существенные недостатки, детальный анализ которых проведен в работах Матченко Н.М. и Трещева А.А. В этих же работах представлены потенциалы деформаций, построенные в нормированном пространстве главных или октаэдрических напряжений. При этом напряженное состояние в точке изотропного деформируемого тела в пространстве, связанном с октаэдрической площадкой, определялось модулем вектора полного напряжения на этой площадке  $S_0 = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2}$ , фазой напряжений  $\varphi$  и углом  $\psi$ , который образует вектор  $S_0$  с нормалью к этой площадке. Здесь  $\sigma = \sigma_{ij}\delta_{ij}/3$ ,  $\tau = \sqrt{S_{ij}S_{ij}}/3$ ,  $S_{ij} = \sigma_{ij} - \delta_{ij}\sigma$ ,  $\delta_{ij}$  – символ Кро-

некера. При построении потенциала деформаций угол  $\psi$  заменялся тригонометрическими функциями  $\xi = \cos\psi = \sigma/S_0$ ,  $\eta = \sin\psi = \tau/S_0$ , а фаза напряжений –  $Cos3\varphi$ .

В представленной работе в аналогичном ключе и нелинейной форме проведено построение потенциала напряжений для изотропного разносопротивляющегося дилатирующего материала.

Введя по аналогии с нормированными напряжениями, параметры нормированного пространства октаэдрических деформаций, после несложных преобразований можно получить потенциал напряжений для нелинейного разносопротивляющегося дилатирующего материала в форме:

$$U = A\theta^2 + B\gamma^2 + [(C + D\alpha + E\beta Cos3\chi)\gamma^2]^n, \quad (1)$$

где  $A, B, C, D, E$  – константы потенциала напряжений, определяемые в результате обработки опытов на одноосное растяжение, сжатие и чистый сдвиг при простом нагружении (при этом обработку экспериментальных данных рекомендуется проводить по способу наименьших квадратов);  $\alpha = \cos\vartheta = \theta/3\lambda_0$ ,  $\beta = \sin\vartheta = \gamma/2\lambda_0$  – нормированные октаэдрические деформации;  $\lambda_0 = (\theta^2/9 + \gamma^2/4)^{0,5}$  – норма пространства деформаций;  $\theta = e_{ij}\delta_{ij}$ ,  $\gamma = 2\sqrt{\varepsilon_{ij}\varepsilon_{ij}}/3$ ,  $\varepsilon_{ij} = e_{ij} - \theta\delta_{ij}/3$ ;  $Cos3\chi = \sqrt{2} \det \varepsilon_{ij} / (\gamma/2)^3$  – фазовый инвариант;  $n$  – степень нелинейности диаграмм деформирования материалов.

Соответствующие потенциалу  $U$  (1) зависимости между напряжениями и деформациями можно получить, используя формулы Грина:

$$\sigma_{ij} = \partial U / \partial e_{ij}, \quad (i, j = 1, 2, 3). \quad (2)$$

### **ПОПЕРЕЧНЫЙ УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКИЙ ИЗГИБ КРУГЛЫХ ПЛАСТИН ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ В УСЛОВИЯХ АКТИВНОГО НАВОДОРОЖИВАНИЯ ПРИ БОЛЬШИХ ПРОГИБАХ**

Трещев А.А., Шахов В.С., Щербачев А.С.  
ТулГУ, г. Тула, 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 прослеживания процессов поперечного пластического изгиба тонких круглых пластин при больших прогибах. Загружение рассмотрено равномерно распределенной нагрузкой при шарнирном опирании по контуру и при жестком защемлении.

Механизм воздействия наводороживания имеет характер, результатом которого является наведенная и меняющаяся во времени чувствительность пределов текучести сплавов к виду напряженного 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 путем 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 осесимметричного поперечного изгиба тонких 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.

### **УПРУГИЙ ИЗГИБ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ В ПЛАНЕ ПОЛОГИХ ОБОЛОЧЕК ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ ГАУССОВОЙ КРИВИЗНЫ ИЗ РАЗНОСОПРОТИВЛЯЮЩИХСЯ МАТЕРИАЛОВ С УЧЕТОМ БОЛЬШИХ ПРОГИБОВ**

Трещев А.А., Шерешевский М.Б.

*ТулГУ, г. Тула, Россия*

Благодаря учету эффектов разносопротивляемости конструкции из современных материалов становятся безопасными и экономичными. Значимость работы заключается в том, что в настоящее время известен достаточно широкий круг материалов, особенностью которых является чувствительность механических характеристик к виду напряженного состояния. К этим материалам относятся полимеры, графиты, стеклопластики, чугуны, бетоны и другие. Многие из этих материалов являются анизотропными. Цель работы – адаптировать определяющие соотношения теории анизотропных разносопротивляющихся материалов А.А. Трещева для расчета пологих оболочек положительной гауссовой кривизны и получить разрешающую систему уравнений,

что позволит учитывать разносопротивляемость и анизотропию для данного типа конструкций.

Для конкретизации структурной анизотропии материала оболочек примем ортотропное тело. Тогда в качестве физических зависимостей будем использовать соотношения, предложенные в своей монографии А.А. Трещевым с учетом гипотез Кирхгофа и при совпадении осей декартовой системы координат с главными осями анизотропии. Выразим напряжения через деформации и преобразуем систему таким образом, чтобы отделить нелинейную часть.

Далее воспользуемся уравнениями равновесия дифференциального элемента оболочки, выраженными через усилия, при условии отсутствия внешних тангенциальных сил. Интегрируя выражения для напряжений по толщине оболочки, а также пользуясь уравнениями для деформаций на поверхности, отстоящей от срединной, получаем зависимости для внутренних усилий в срединной плоскости.

Далее, подставляя в них геометрические соотношения, представленные в рамках уровня точности теории Т. Кармана, а затем получившиеся выражения в уравнения равновесия, получаем систему из трех дифференциальных уравнений с тремя неизвестными перемещениями.

Полученные уравнения линеаризовываются модифицированным методом последовательных нагружений под названием «Двухшаговый метод последовательных возмущений параметров» В.В. Петрова и будут решены методом конечных разностей.

#### Библиографический список

1. Трещев А.А. Теория деформирования и прочности разносопротивляющихся материалов. Определяющие соотношения / А.А. Трещев. М., Тула: РААСН; ТулГУ, 2008. 246 с.

### **СПОСОБЫ АКТИВАЦИИ СЫРЬЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ АРБОЛИТА**

Удербает С.С.

*КГУг. Кызылорда, Казахстан*

К актуальным проблемам промышленности строительных материалов относится разработка местных эффективных строительных материалов изготовленных на основе местных сырьевых ресурсов и их широкое применение в малоэтажном строительстве. В связи с дефицитностью древесины в Южном Казахстане в качестве органического заполнителя для производства арболита и арболитоподобных материалов, пригодны отходы сельского хозяйства, запасы которых неограничены.

Прежде всего, к ним относятся рисовая лузга и солома запасы которой неисчерпаемы. Как известно арболит можно применять с различной номенклатурой, например в полах, перекрытиях в качестве теплоизоляционного материала, а также в простенках как конструкционно-теплоизоляционный материал. Арболит изготовленный по традиционным технологическим схе-

мам обладает незначительной прочностью и ухудшенными физическими свойствами. Поэтому для решения проблемы была поставлена цель разработать технологию арболита, основанной на электромеханохимических способах подготовки сырьевых компонентов из отходов промышленности и сельского хозяйства Республики Казахстан.

Для снижения отрицательного водорастворимых веществ органического заполнителя были рассмотрены все известные способы удаления и локализации «цементных ядов». В этой связи органический заполнитель подвергалось различным видам воздействий и обработки, а также различных их комбинаций.

В настоящее учеными Кызылординского Государственного университета проведены исследования по активации каждого сырья – вяжущего и заполнителя. В частности вяжущее активировали электромеханохимическим способом, органический заполнитель растительного происхождения обрабатывали в электрохимической активированной водной среде.

Техническая новизна способов активации сырья подтверждены многочисленными инновационными патентами Республики Казахстан. Путем применения разработанного способа удалось повысить прочность арболита на один класс.

Эффект активации предложенными способами активации сырья доказаны результатами физико-химического анализа.

В результате конструкторских и технологических проработок была получена арболит морозостойкостью в 35 циклов, плотностью (объемная масса) – 620-850 кг/м<sup>3</sup>, и прочностью на сжатие 4,2 МПа. Коэффициент теплопроводности арболита в сухом состоянии  $\sim 0,126 \div 0,147$  Вт/м<sup>2</sup>, во влажном  $\sim 0,157 \div 0,177$  Вт/м<sup>2</sup>.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА С ВВЕДЕНИЕМ АКТИВИРОВАННОГО МИКРОНАПОЛНИТЕЛЯ**

Уруев В.М., Королев В.В., Петрова Н.В.  
*ТулГУ, г. Тула, Россия*

Применение бетонов на основе композиционных вяжущих веществ является задачей актуальной. Эффективность применения данного вида бетонов, в первую очередь, связана с возможностью широкого применения отходов промышленных производств, например, отходов переработки карбонатных пород. В ряде регионов с развитой промышленностью имеется большое количество отходов переработки минеральных материалов. Однако, широкое применение этих отходов из-за отсутствия, в достаточной мере, исследований по структуре и свойствам материалов, полученных на их основе композитов данного рода. А так же, следует отметить, что требуется и научно-технические разработки в области производства изделий на основе новых научных исследований.

Решение проблемы изготовления более дешевых строительных изделий возможно с применением отходов, получаемых при переработке карбонатных пород. Но решение этой проблемы не однозначно с точки зрения их эффективности. На основе изучения вопроса применения карбонатных пород при производстве строительных материалов выявлено, что существующие технологические приемы не в достаточной мере используются все потенциальные возможности карбонатных пород (известняков) с точки зрения их физико-химических свойств. Поэтому применение карбонатных отходов для изготовления мелкозернистых бетонов связано с целесообразностью их модификации и активации в технологическом процессе, направленном на использование потенциальных возможностей этих отходов, что приводит к снижению трудовых, материальных и энергетических затрат.

В данной работе рассматриваются вопросы применения механо-химической активации карбонатного микронаполнителя в комплексе с ПАВ. При механо-химической обработке в результате мощных механических воздействий материал претерпевает изменения на уровне кристаллической решетки и в результате данных процессов становится энергетически активным и реакционноспособным.

Исследованиями установлено, что изменяя соотношение компонентов мелкозернистого бетона при введении активированного карбонатного микронаполнителя можно обеспечить физико-механическую прочность в пределах 5- 50 МПа.

Следует отметить, что при увеличении содержания активированного микронаполнителя в мелкозернистом бетоне наблюдается снижение водопотребности до некоторого оптимального значения. Это объясняется структурообразующим действием активированного микронаполнителя. Положительное влияние карбонатных наполнителей объясняется тем, что при твердении ведет к образованию плотного контакта между ними и срастанию продуктов гидротации цемента с наполнителем. Важной особенностью карбонатных пород является то, что они не инертны, а вступают в активное физико-химическое взаимодействие с алюминатной составляющей цементного клинкера с образованием гидрокарбоалюминатов кальция.

В результате исследований кинетики нарастания прочности мелкозернистого бетона с активированным карбонатным микронаполнителем в зависимости от условий твердения установлено, что наибольший эффект достигается при применении гидротермальной обработки.

На основе выполненных исследований разработаны составы мелкозернистых бетонов для изготовления мелкоштучных изделий для дорожного строительства.

## **КОМПОЗИЦИОННОЕ ВЯЖУЩЕЕ ВЕЩЕСТВО НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ, В КАЧЕСТВЕ МОДИФИКАТОРА, ГРАНУЛИРОВАННОГО ДОМЕННОГО ШЛАКА**

Уруев В.М., Петрова Н.В., Титов А.Д.  
*ТулГУ, г. Тула, Россия*

Эффективное использование гранулированного доменного шлака возможно на основе исследования его фазового, химического и минералогического состава, экологической безопасности и других его свойств, а также материалов с его применением. На основе проведенного анализа отечественных и зарубежных научных работ можно сделать вывод о том, что применение гранулированного доменного шлака при изготовлении вяжущих веществ является эффективным. Известно производство ряда цементов где применяются гранулированные доменные шлаки. Однако, следует отметить, что все они в основном базируются на принципе использования гранулированного доменного шлака в качестве активной минеральной добавки, что на наш взгляд является не достаточно эффективным. Поэтому данная работа посвящена поиску наиболее эффективного способа использования гранулированного доменного шлака как активной минеральной добавки для производства композиционных вяжущих веществ.

Получение композиционного вяжущего вещества, как известно, может осуществляться с помощью различных технологических приемов. В настоящей работе рассматривались различные технологические приемы изготовления композиционного вяжущего вещества: помол (домол) портландцемента совместно с гранулированным доменным шлаком; помол (домол) портландцемента с предварительно измельченным гранулированным доменным шлаком совместно с поверхностно – активным веществом (ПАВ) в виде суперпластификатора; помол (домол) совместно трех компонентов: портландцемента, гранулированного доменного шлака и ПАВ.

На основе полученных композитов были получены их основные свойства на основе стандартных методик в соответствии с ГОСТ 310.1-4. Установлено, что при всех способах получения механохимической активации вяжущего водопотребность его изменяется не однозначно, а зависит от соотношения компонентов.

Изучение физико-механических характеристик полученных композиционных вяжущих также показало не однозначность, т.е. прямолинейность зависимости от количественного соотношения компонентов в их составе. Установлено, что физико-механические характеристики вяжущих веществ являются функцией ряда технологических факторов: соотношения и свойств компонентов, их физико-химической сущности по влиянию на физико-химические процессы происходящие в начальный период структурообразования цементных систем, процессы консолидации.

На основе выполненных исследований установлено, что возможно получение композиционных вяжущих веществ с применением гранулированного доменного шлака и ПАВ с прочностными характеристиками от 40 до 50 МПа, при этом содержание клинкерной составляющей может снижаться до 20-40% (в зависимости от способа изготовления и композиции вяжущего вещества).

## **КЕРАМИЧЕСКИЙ КИРПИЧ НА ОСНОВЕ ОПОКОВИДНЫХ ПОРОД И ОТХОДОВ ЭЛЕКТРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Устинов А.В.

*РГСУ г. Ростов-на-Дону, Россия*

Актуальными задачами в области производства стеновой керамики в настоящее время являются: снижение энерго- и материалоемкости изготовления изделий, улучшение их теплотехнических свойств, ускорение технологического процесса, снижение производственных затрат, улучшение внешнего вида, расширение ассортимента выпускаемой продукции. Выполнение этих задач возможно лишь в случае комплексного нетрадиционного подхода к их решению. Во многих регионах России, запасы традиционного качественного глинистого сырья весьма ограничены. Следствием этого является усложнение технологии, ввод нескольких добавочных материалов в состав сырьевой смеси, выпуск кирпича, не удовлетворяющего требованиям ГОСТ 530-2007. Работы, проводимые в Ростовском государственном строительном университете, совместно с региональными геологическими организациями показали, что кремнистые опал-кristобалитовые породы - опоки и их разновидности (опоковидные породы), могут стать серьезной сырьевой базой промышленности стеновой керамики.

Лабораторные исследования и полужаводские испытания, показали, что для большинства опок более приемлемым является полусухой способ прессования изделий и сухая (полусухая) подготовка пресс-порошка. В зависимости от свойств сырья измельчение должно производиться до зернового состава 0 – 1-2,5 мм. Наиболее значимыми технологическими факторами для получения максимальной прочности в процессе производства являются степень уплотнения прессовки, степень измельчения сырья и температура обжига.

Как показали результаты исследований, комплексной модифицирующей добавкой для опок может служить пыль газоочистки электрометаллургического производства, являющейся тонкодисперсным материалом с размерами частиц менее 3-1 мкм. Основными оксидами химического состава пыли являются:  $Fe_2O_3$  – около 50 %,  $CaO + MgO$  около 20 %,  $SiO_2$  – 5-7%,  $Na_2O + K_2O$  – 3,5-4,5 %. Фазовый состав представлен стекловидной и кристаллической фазами. Основные кристаллические фазы – гематит, магнетит, магнезиоферрит, железистые пироксены типа форстерита и авгита.

Ввод пыли улучшает прессуемость сырца. Повышается прочность прессовок. За счёт наличия элементов плавней улучшается спекаемость. Прочность обожжённых образцов при этом увеличивается почти в 2 раза. Закономерно с

увеличением содержания пыли газоочистки уменьшается водопоглощение образцов и увеличивается морозостойкость. Важным обстоятельством для лицевого кирпича является то, что пыль газоочистки придаёт керамическому кирпичу коричневый цвет. Экспериментально установлено, что оптимальное содержание пыли, в зависимости от вещественного состава опок, требуемой прочности и окраски черепка может составлять 8-18 %.

### **ВЛИЯНИЕ ЦИКЛИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ ФАНЕРЫ**

Ходаев А.А., Киселева О.А.  
*ТГТУ, г. Тамбов, Россия*

В процессе эксплуатации строительные материалы находятся под действием длительных нагрузок, которые приводят к их разрушению. Нагрузка может действовать как постоянно, так и циклически с определенной периодичностью.

В нагруженном теле за счет элементарных актов разрыва межатомных (химических) связей возникают дефекты, размер и количество которых с течением времени увеличивается. После снятия нагрузки дефекты не исчезают и при повторном нагружении продолжают увеличиваться.

Рассмотрим, как сказывается многократное нагружение на прочности фанеры. В процессе испытаний после определенного количества циклов нагружения (2, 5, 7, 10) для фанеры определялось разрушающее напряжение. Один цикл включает два этапа: нагружение в течении 30 мин и отдых в течении 15 (2,5) мин.

В ходе испытаний было установлено, что после воздействия многократной нагрузки (составляющей 75 % от разрушающего напряжения) в течении 2...10 циклов разрушающее напряжение фанеры остается постоянным – 57,5 МПа. Не зависит оно и от длительности отдыха:  $\sigma$  меняется только на 2 %. Следовательно, в данных условиях в фанере не образуются опасные дефекты, способствующие ускорению процесса разрушения. Такое поведение материала объясняется его слоистым строением. Разрушение фанеры происходит скачками за счет послойного разрушения шпона.

### **РАСЧЕТ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ, СОСТОЯЩЕЙ ИЗ ДВУХ СОЧЛЕНЕННЫХ ЗАМКНУТЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК, ОДНА ИЗ КОТОРЫХ ЗАГРУЖЕНА ВНУТРЕННИМ ГИДРОСТАТИЧЕСКИМ ДАВЛЕНИЕМ**

Шагивалеев К.Ф., Буров С.Н.  
*СГТУ, г. Саратов, Россия*

Одной из важнейших задач в настоящее время является снижение материалоемкости и повышение надежности и эффективности сооружений и кон-

струкций. К числу наиболее распространенных конструкций отвечающим этим требованиям, относятся тонкостенные оболочечные конструкции.

В научной литературе имеется небольшое число работ, посвященных расчету сопряженных замкнутых цилиндрических оболочек, отмечается, что в настоящее время нет ни расчетных схем, возможно более точно отражающих работу таких пространственных систем, ни методов их расчета.

В настоящей работе рассмотрена тонкостенная пространственная система, состоящая из двух одинаковых сочлененных замкнутых цилиндрических оболочек, одна из которых загружена внутренним давлением, распределённым вдоль образующей на всю высоту по закону  $q(\alpha) = q_0(\alpha - \alpha_0)/\alpha_0$ . Параметры оболочек:  $L=30$  м,  $R=3$  м,  $h=0,16$  м,  $\alpha_0=L/R=10$ .

Для расчета пространственной системы применен метод сил, сущность которого применительно к подобным системам рассмотрена в работе [1]

Найдя перемещения стенок оболочек по линии контакта от реактивного давления и от внутреннего давления [2], распределённого вдоль образующей на всю высоту по закону  $q(\alpha) = q_0(\alpha - \alpha_0)/\alpha_0$ , составим систему канонических уравнений. После решения системы канонических уравнений были найдены значения неизвестных реактивных сил  $F_n$ , что дало возможность построить графики распределения реактивного давления вдоль линии контакта оболочек

Имея значения реактивного давления по линии контакта оболочек, можно определить напряженно-деформированное состояние обеих оболочек.

#### Библиографический список

1. Шагивалеев К.Ф., Буров С.Н. Расчет тонкостенных пространственных систем, состоящих из связанных между собой замкнутых цилиндрических оболочек, методом сил // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2011. № 1. С. 8-13.

2. Шагивалеев К.Ф. Расчет на прочность замкнутой цилиндрической оболочки / К. Ф. Шагивалеев. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1991. 208 с.

#### К РАСЧЕТУ СОЧЛЕНЕННЫХ ОБОЛОЧЕК

Шагивалеев К.Ф., Сурнина Е.К.

*СГТУ, г. Саратов, Россия*

Расчет сочлененных оболочек представляет собой сложную научную проблему [1]. Процесс определения усилий в месте контакта оболочек является наиболее трудным. В работе [2] предложена методика расчета сочлененных оболочек и приведены примеры расчета подобных систем.

Настоящая работа ставит своей целью продолжить начатые в этом направлении исследования [2-4].

На основе операционного исчисления, связанного с преобразованием Лапласа, получены новые аналитические решения для расчета замкнутой цилиндрической оболочки при действии радиальных нагрузок:

$$q(\alpha) = q_0 \frac{\alpha^{13}}{\alpha_0^{13}}; \quad q(\alpha) = q_0 \frac{\alpha^{14}}{\alpha_0^{14}}; \quad q(\alpha, \beta) = q_0 \frac{\alpha^{13}}{\alpha_0^{13}} \cos n \beta; \quad q(\alpha, \beta) = q_0 \frac{\alpha^{14}}{\alpha_0^{14}} \cos n \beta.$$

Эти решения позволяют уточнить характер распределения реактивного давления, возникающего в местах контакта оболочек, и величину максимального реактивного давления.

Предназначается для инженеров-проектировщиков, научных работников, аспирантов и студентов

#### Библиографический список

1. Григолюк Э. И. Контактные задачи теории пластин и оболочек / Э. И. Григолюк, В. М. Толкачев. М.: Машиностроение, 1980. 416 с.
2. Крысько В. А. Расчет пространственной системы, состоящей из двух замкнутых цилиндрических оболочек / В. А. Крысько, К. Ф. Шагивалеев // Труды ХХI Междунар. науч.-техн. конф. по теории оболочек и пластин. Саратов, 2005. С. 136-145.
3. Шагивалеев К. Ф. Исследование напряженно-деформированного состояния пространственной системы, состоящей из трех замкнутых цилиндрических оболочек, расположенных по одной линии / К. Ф. Шагивалеев // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2006. № 1, вып. 2. С. 32-40.
4. Шагивалеев К. Ф. К расчету тонкостенных пространственных систем / К. Ф. Шагивалеев // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2007. № 1, вып. 2. С. 21-31

### **ИССЛЕДОВАНИЕ РЕБРИСТОЙ ЗАМКНУТОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ**

Шагивалеев К.Ф., Тюрин М.А.

*СГТУ, ОАО «ВНИПИгаздобыча», г. Саратов, Россия*

Предметом исследований является замкнутая цилиндрическая оболочка, подкрепленная 1-м продольным ребром. Целью исследований является определение реактивного давления по линии контакта ребра и цилиндрической оболочки

Особую актуальность эта задача приобретает при проектировании строительных конструкций (колонны сложного сечения, резервуары, силосы, конструкции оболочечного типа и т.д.), авио и машиностроении.

Разрешить поставленную задачу можно при тщательном анализе напряженно-деформированного состояния ц.о. и ребра. Практика показывает, что современные программные комплексы идеально справляются с решением сложных математических операций при расчете оболочек. Однако не в пол-

ной мере учитывается специфика работы ребристых ц.о., точность расчета зависит от громоздкости расчетных схем. Именно по этому поставленная задача требует дополнительного анализа на основе теории ребристых оболочек.

Для определения напряженно-деформированного состояния оболочки был применен «метод сил». Суть метода заключается в том, что ребристая ц.о. рассматривается в виде системы, состоящей из ц.о. и ребра. Связь между оболочкой и ребром осуществляется при помощи абсолютно жестких стержней. Расчёт пространственной системы, состоящей из цилиндрической оболочки и ребра, сводится к отдельному расчету замкнутой цилиндрической оболочки под действием сосредоточенных сил, и отдельному расчету ребра от тех же нагрузок. Для нахождения неизвестных реактивных сил  $F_n$  (соответствующих реактивному давлению) составляется система канонических уравнений обычного вида.

Найденные в процессе выполнения научной работы решения позволят определить реактивное давление по линии контакта ребра и ц.о. с большой точностью, а также облегчить работу инженера при определении напряженно-деформированного состояния ребристых ц.о. без применения сложных и громоздких расчетных схем.

### **РАСЧЁТ ЗАМКНУТОГО КРУГОВОГО КОЛЬЦА НА РАВНОМЕРНО РАСПРЕДЕЛЕННУЮ КАСАТЕЛЬНУЮ НАГРУЗКУ, ДЕЙСТВУЮЩУЮ В ПЛОСКОСТИ КРИВИЗНЫ КОЛЬЦА**

Шагивалеев К.Ф., Васильцов С.В.  
*СГТУ, г. Саратов, Россия*

Замкнутые круговые кольца находят широкое применение в различных областях современной техники: в промышленном и гражданском строительстве, машиностроении, судостроении, самолетостроении и т.д.

При создании современных конструкций важным этапом является расчет на прочность. В настоящее время в научной литературе имеется ряд работ, посвященных расчету круговых колец. Однако, приведенные в них формулы для определения усилий и перемещений, позволяют рассчитать круговое кольцо только при простейших нагрузках. Современное развитие техники требует от инженеров и конструкторов умения рассчитывать круговые кольца при действии различных нагрузок, поэтому совершенствование методов расчета круговых колец представляет для строительной механики значительный практический интерес.

В работе рассмотрен изгиб замкнутого кругового кольца при действии на участке равномерно распределенной касательной нагрузки в плоскости кривизны кольца. Обозначения, положительные направления перемещений, усилий, моментов, допущения, дифференциальные зависимости приняты в соответствии с работой [1].

При решении дифференциальных уравнений на основе операционного исчисления, связанного с преобразованием Лапласа [2], получены аналитиче-

ские выражения для расчета замкнутого кругового кольца при действии на участке равномерно распределенной касательной нагрузки в плоскости кривизны кольца. Из общих аналитических выражений получены частные выражения, в том числе и при действии сосредоточенной касательной нагрузки.

Результаты работы могут быть использованы инженерами-проектировщиками, научными работниками, аспирантами и студентами.

#### Библиографический список

1. Прочность, устойчивость, колебания: справочник в 3 т. М.: Машиностроение, 1968. Т.1. 831 с.
2. Араманович И.Г. Функции комплексного переменного. Операционное исчисление. Теория устойчивости / И.Г. Араманович, Г.Л. Лунц, Л.Э. Эльсгольц. М.: Наука, 1968. 416 с.

### **РАСЧЕТ ЗАМКНУТОГО КРУГОВОГО КОЛЬЦА, НАГРУЖЕННОГО РАВНОМЕРНО РАСПРЕДЕЛЕННЫМ КРУТЯЩИМ МОМЕНТОМ**

Шагивалеев К.Ф., Голик С.С.  
*СГТУ, г. Саратов, Россия*

Замкнутые круговые кольца находят широкое применение в различных областях современной техники: в промышленном и гражданском строительстве, машиностроении, судостроении, самолетостроении и т.д.

При создании современных конструкций важным этапом является расчет на прочность. В настоящее время в научной литературе имеется ряд работ, посвященных расчету круговых колец. Однако, приведенные в них формулы для определения усилий и перемещений, позволяют рассчитать круговое кольцо только при простейших нагрузках. Современное развитие техники требует от инженеров и конструкторов умения рассчитывать круговые кольца при действии различных нагрузок, поэтому совершенствование методов расчета круговых колец представляет для строительной механики значительный практический интерес.

В работе рассмотрен изгиб замкнутого кругового кольца при действии на участке равномерно распределенного крутящего момента. Обозначения, положительные направления перемещений, усилий, моментов, допущения, дифференциальные зависимости приняты в соответствии с работой [1].

При решении дифференциальных уравнений на основе операционного исчисления, связанного с преобразованием Лапласа [2], получены аналитические выражения для расчета замкнутого кругового кольца при действии на участке равномерного распределенного крутящего момента. Из общих аналитических выражений получены частные выражения, в том числе и при действии сосредоточенного крутящего момента.

Результаты работы могут быть использованы инженерами-проектировщиками, научными работниками, аспирантами и студентами.

Библиографический список

1. Прочность, устойчивость, колебания: справочник в 3 т. М.: Машиностроение, 1968. Т.1. 831 с.
2. Араманович И.Г. Функции комплексного переменного. Операционное исчисление. Теория устойчивости / И.Г. Араманович, Г.Л. Лунц, Л.Э. Эльсгольц. М.: Наука, 1968. 416 с.

**ВЛИЯНИЕ ЦИКЛОВ ТЕПЛООВОГО СТАРЕНИЯ  
НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
ДЕКОРАТИВНО-ЗАЩИТНЫХ ПЛИТ ПОКРЫТИЯ  
НА ОСНОВЕ ФАНЕРЫ**

Ярцев В.П., Ерофеев А.В.  
*ТГТУ, г. Тамбов, Россия*

Большинство строительных материалов эксплуатируются в неблагоприятных условиях. Декоративно-защитные плиты покрытия также не являются исключением. Они в основном подвержены атмосферным воздействиям. Повышенные температуры в летний период моделировали циклами теплового старения. Для декоративно-защитной плиты покрытия на основе фанеры и полиэфирной смолой в качестве связующего были выполнены 30 циклов теплового старения. Время цикла колебалось в диапазоне от 6 часов до 12 часов. Образцы подвергались тепловому старению в печи при температуре +80°C.

После каждого ангармонического цикла определяли твердость по Бринеллю по формуле:  $HB = P / \pi d n^*$ , где  $P$  – нагрузка, приложенная к шарик, кг;  $d$  – диаметр шарика, мм;  $n^*$  – величина погружения шарика в материал, мм. Нагрузку, приложенную к шарик, находили по формуле:  $P = LP_1/l$ , где  $P_1$  – нагрузка, приложенная к рычагу, кг;  $L$  – длина рычага, м;  $l$  – расстояние от опоры до шарика, м. Погружение шарика диаметром 6 мм. фиксировали с помощью индикатора часового типа с ценой деления 0,01 мм..

Твердость декоративного слоя и основы падает в 1,5 – 2,5 раза. Падение твердости после циклов теплового старения объясняется с позиции термофлуктуационной концепции. Атомы, молекулы или другие кинетические единицы любого строительного материала находятся в так называемой потенциальной яме. Кинетическая единица колеблется около положения равновесия, но существует вероятность того, что в определенный момент времени данная единица начнет колебаться сильнее и сможет преодолеть энергетический барьер. В данном случае кинетическая единица потеряет свое местоположения, тем самым образовав дефект. Таким образом, приход тепловой флуктуации, а значит и процесс образования дефекта, является вероятностным процессом. При повышении температуры вероятность образования дефектов возрастает. Образование большого числа дефектов приводит к падению твердости. При повышенных температурах также наблюдается процесс

медленного разложения материала, т.е. наблюдается процесс термоокислительной деструкции полиэфирной смолы (радикально-цепная реакция окисления).

Изменение твердости декоративного слоя из керамзита описывается уравнением  $HV=67,376e^{-0,0296n}$ , из опилок -  $HV=0,0177n^2-1,2373n+47,915$ , из песка –  $HV=0,1132n^2-5,0371n+87,064$ . Изменение твердости основы описывается уравнением  $HV=0,0569n^2-2,6641n+53,454$ .

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Белов В.В., Образцов И.В.</i> Моделирование дисперсных структур, образованных в результате капиллярного сцепления частиц.....	3
<i>Белякова Д.С., Киселева О.А.</i> Влияние многократного замораживания-оттаивания на прочность древесноволокнистых плит .....	4
<i>Васильев Н.В.</i> К расчету гибких слоистых пластин из анизотропных, разносопротивляющихся материалов .....	5
<i>Володин В.П., Надиров Э.Р.</i> Определение перемещений и деформаций при расчете пологих цилиндрических панелей и сводов вариационными методами.....	6
<i>Гоглидзе Л.В., Диулгарови А.С.</i> Применение инновационных технологий при строительстве тоннельных объектов в г. Сочи .....	7
<i>Гриднев С.Ю.</i> Особенности применения метода Бубнова-Галеркина при решении уравнений колебаний упруго опёртого стержня при подвижной нагрузке.....	8
<i>Гриднев С.Ю., Будковой А.Н.</i> Анализ особенностей динамического воздействия автоцистерн на автодорожные мосты при гидроударе с использованием механической модели жидкости.....	10
<i>Груздева Е.А., Киселева О.А.</i> Влияние воды на механические свойства ламинированных древесноволокнистых плит .....	13
<i>Делягин М.Ю., Трещев А.А.</i> Математическая модель связанной задачи термомеханического изгиба сферических оболочек из материалов с усложненными свойствами .....	14
<i>Ермолович Е.А.</i> Испытания отходов обогащения железистых кварцитов Коробковского месторождения КМА в составе бетонной смеси .....	15
<i>Еропов Л.А.</i> Эксплуатационные качества кровель из рулонных материалов .....	16
<i>Ерофеев А.В., Овчаренко Е.А.</i> Влияние циклов ультрафиолетового старения на физико-механические характеристики декоративно-защитных плит покрытия на основе ДСП .....	19

<i>Ерофеев А.В., Солопов Д.Ю.</i> Исследование водопоглощения и набухания декоративно-защитных плит покрытия на основе ДВП.....	<b>20</b>
<i>Зиборов Л.А., Теличко В.Г.</i> Условие прочности при двусосном сжатии бетона класса В30 .....	<b>21</b>
<i>Зобкова Н.В., Пишенов А.А., Фролов М.О.</i> Проектирование многослойных ограждающих конструкций с улучшенными теплотехническими свойствами .....	<b>22</b>
<i>Икизли Д.С., Киселева О.А.</i> Влияние масштабного фактора на долговечность древесных композитов .....	<b>23</b>
<i>Котляр В.Д.</i> Оценка опоквидных пород для производства стеновой керамики .....	<b>24</b>
<i>Кочетков С.Н., Низина Т.А., Пономарев А.Н., Козеев А.А.</i> Цементные композиты, модифицированные аддуктами нанокластеров углерода.....	<b>25</b>
<i>Кривошеин И.В.</i> Алгоритм определения бифуркационных нагрузок нелинейно деформируемых цилиндрических панелей и пластин, сжатых усилиями на контуре.....	<b>26</b>
<i>Кривошеин И.В.</i> О бифуркационной потере устойчивости гибких нелинейно-упругих оболочек .....	<b>27</b>
<i>Кривошеин И.В.</i> О точности определения критических нагрузок нелинейно-деформируемых оболочек по методу конечных разностей.....	<b>28</b>
<i>Кривошеин И.В.</i> Устойчивость гибких нелинейно-упругих пологих оболочек переменной толщины .....	<b>29</b>
<i>Кривошеин И.В.</i> Устойчивость гибких физически нелинейных цилиндрических панелей и пластин под действием сжимающих контурных усилий.....	<b>30</b>
<i>Кривошеин И.В., Петрунина Е.А., Селиванов Ф.С., Семенов П.К., Кеков А.В.</i> Исследование устойчивости гибких нелинейно-упругих пологих оболочек.....	<b>31</b>
<i>Леденёв В.В., Струлёв В.М., Азама Нилас</i> Влияние жесткости опорной плитно-стержневой конструкции на напряженно-деформированное состояние .....	<b>32</b>
<i>Леденёв В.В., Струлёв В.М., До Ван Мань</i> Исследование деформации песчаного основания рамного фундамента.....	<b>33</b>

<i>Леонов В.М.</i> Электромагнитная обработка двухкомпонентных сред .....	<b>33</b>
<i>Лунёв Л.А., Нужный С.Н.</i> О деформационном расчете каркаса рамно-балочного типа с X-образными опорами с горизонтальными соединениями в их вершинах .....	<b>36</b>
<i>Лунёв Л.А., Суховерков Н.В.</i> О деформационном расчете 2-х пролетной рамы с T-образной опорой и консольными ригелями .....	<b>38</b>
<i>Лунёв Л.А., Хопин А.А.</i> О регулировании усилий в трехпролетной раме с помощью опирания балки на консоли ферм .....	<b>39</b>
<i>Лунёв Л.А., Шишковский А.В.</i> О напряженном состоянии двухпролетного каркаса стоячно-балочной конструкции, имеющего гибкие опоры .....	<b>40</b>
<i>Мамонов Д.Н., Киселева О.А.</i> Проверка принципа Бейли для древесноволокнистых плит .....	<b>41</b>
<i>Мамонтов А.А.</i> Влияние внешних воздействий на работоспособность армированного пенополистирола .....	<b>42</b>
<i>Мамонтов С.А.</i> Тепло- и фотостарение древесноволокнистых плит .....	<b>43</b>
<i>Муртазин М.Р., Муртазина Г.Р.</i> Исследование напряженно-деформированного состояния существующих конструкций при их усилении на промышленных и гражданских объектах .....	<b>44</b>
<i>Нехаев Г.А., Теличко Г.Н.</i> Критические напряжения потери устойчивости центрально-сжатого стержня из холодногнутой тонкостенной оцинкованной стали .....	<b>45</b>
<i>Низина Т.А., Балбалин А.В., Ваганов А.А., Тишин А.В.</i> Анализ водопотребности модифицированных цементных композитов с минеральными добавками .....	<b>46</b>
<i>Петров В.В., Кривошеин И.В.</i> О применении метода конечных разностей повышенной точности в расчетах гибких физически нелинейных пологих оболочек .....	<b>48</b>
<i>Петров В.В., Кривошеин И.В.</i> О точности интегрирования уравнений в перемещениях гибких физически нелинейных пологих оболочек .....	<b>49</b>
<i>Петров В.В., Кривошеин И.В., Шаяхметов Р.Р.</i> Влияние расположения поперечной нагрузки на устойчивость гибких нелинейно-упругих цилиндрических панелей .....	<b>50</b>

<i>Петрунина Е.А., Кривошеин И.В., Семенов П.К., Селиванов Ф.С., Хашов В.М.</i> К применению модели простого локального повреждения.....	<b>51</b>
<i>Прудков Е.Н., Ельчина К.В.</i> Жидкостекольное композиционное вяжущие .....	<b>52</b>
<i>Прудков Е.Н., Кузьмина С.В.</i> Исследование процесса структурообразования и свойств полимерсиликатного бетона .....	<b>53</b>
<i>Ращепкин С.В.</i> Способ создания металлических ребристых емкостей.....	<b>54</b>
<i>Ращепкина С.А., Майоров В.С.</i> Иновационные тонкостенные оболочечные конструкции.....	<b>55</b>
<i>Ращепкина С.А., Шевченко А.С.</i> Купольное покрытие с радиальными ребрами .....	<b>56</b>
<i>Ромашин Д. А.</i> Деформирование прямоугольных пластин из нелинейных анизотропных материалов, чувствительных к виду напряженного состояния.....	<b>57</b>
<i>Рябов Г.Г.</i> Состав покрытия стекловолокна для армирования изделий.....	<b>58</b>
<i>Селиванов Ф.С., Щербаков С.А.</i> Деформирование среды в условиях сложного нагружения и деградации физико-механических свойств.....	<b>59</b>
<i>Селиванов Ф.С., Щербаков С.А.</i> Деформирование среды в условиях совместного сложного нагружения и деградации физико-механических свойств.....	<b>60</b>
<i>Селяев В.П., Низина Т.А., Низин Д.Р.</i> Методика экспресс-обработки результатов склерометрических испытаний .....	<b>61</b>
<i>Семенов П.К.</i> К вопросу решения задачи теплопроводности для пластин прямоугольного очертания.....	<b>62</b>
<i>Семенов П.К.</i> Применение метода последовательных возмущений параметров к расчету термосилового нагружения нелинейно-упругих пластин.....	<b>63</b>
<i>Семенов П.К.</i> Расчет нелинейно-упругих пластин, опертых в углах, на термосиловое нагружение методом двойной аппроксимации .....	<b>64</b>
<i>Семенов П.К.</i> Решение задач изгиба нелинейно упругих пластин вариационными итерациями в сочетании с методом двойной аппроксимации при многопараметрическом термосиловом нагружении .....	<b>65</b>

<i>Семенов П.К.</i> Численная реализация разрешающих уравнений метода двойной аппроксимации в задачах расчета нелинейно-упругих плит .....	<b>66</b>
<i>Семенов П.К., Кривошеин И.В., Гаврилов Д.Ю.</i> Моделирование осесимметричной деформации нелинейно-упругой цилиндрической оболочки, взаимодействующей с многослойным неоднородным основанием .....	<b>67</b>
<i>Семенов П.К., Петрунина Е.А., Тузушев Е.А.</i> К вопросу расчета нелинейно-упругой балки, взаимодействующей с многослойным неоднородным основанием .....	<b>68</b>
<i>Семенов П.К., Селиванов Ф.С., Петрушенков А.А.</i> К расчету нелинейно-упругих плит, взаимодействующих с нелинейным неоднородным основанием .....	<b>69</b>
<i>Синева Н.Ф., Селиванов Ф.С., Евтюшин В.П.</i> Расчет шихты для стекольного производства.....	<b>70</b>
<i>Синева Н.Ф., Селиванов Ф.С., Качурин А.С.</i> Компьютерное моделирование нивелирования трассы .....	<b>71</b>
<i>Синева Н.Ф., Селиванов Ф.С., Чекурков Н.А., Кузнецова А.В.</i> Расчет конструктивного элемента, взаимодействующего с двухслойным нелинейным неоднородным основанием.....	<b>73</b>
<i>Синева Н.Ф., Селиванов Ф.С., Чекурков Н.А., Кузнецова А.В.</i> Расчет оболочки, взаимодействующей с двухслойным нелинейным неоднородным основанием .....	<b>74</b>
<i>Синева Н.Ф., Селиванов Ф.С., Чекурков Н.А., Кузнецова А.В.</i> Расчет плиты взаимодействующей с нелинейным неоднородным основанием .....	<b>75</b>
<i>Струлёв В.М., Лобачев И.В.</i> Несущая способность и осадка песчаного основания круглых и кольцевых моделей фундаментов с системой радиальных ребер при внецентренном нагружении.....	<b>77</b>
<i>Струлёв В.М., Поздняков А.С.</i> Влияние малоциклового нагружения на несущую способность и осадку песчаного основания кольцевых моделей фундамента .....	<b>78</b>
<i>Струлёв В.М., Черкашин А.Б., Бао Н.К.</i> Песчаного основания круглых и кольцевых фундаментов с периферийными консольными выступами .....	<b>79</b>
<i>Суспицына К.Ю., Киселева О.А.</i> Термическое расширение пенопластов .....	<b>80</b>

<i>Теличко Г.Н., Нехаев Г.А.</i> Об исследовании влияния способа соединения стенок тонкостенных гнутых профилей на устойчивость составных стержней.....	<b>81</b>
<i>Теличко В.Г., Чигинский Д.С.</i> Расчет железобетонной оболочки положительной гауссовой кривизны с учетом нелинейных свойств бетона и трещинообразования.....	<b>83</b>
<i>Терёхина Ю.В.</i> Экологичность сырьевых материалов – показатель качества кирпича керамического .....	<b>84</b>
<i>Трещев А.А., Забелин А.Н.</i> Упруго-пластическая деформация тонкой пологой оболочки из дилатирующего материала при конечных прогибах.....	<b>85</b>
<i>Трещев А.А., Захарова И.А.</i> Поперечный изгиб круглой пластинки из материалов, свойства которых зависят от вида напряженного состояния при ползучести.....	<b>86</b>
<i>Трещев А.А., Корнеев А.В.</i> Модель деформирования прямоугольной пластины в процессе насыщения водородом .....	<b>87</b>
<i>Трещев А.А., Неделин А.В.</i> Трещины нормального разрыва в ортотропных материалах с нелинейно меняющимися свойствами, находящихся в условиях плоского напряженного состояния.....	<b>88</b>
<i>Трещев А.А., Чигинский Д.С.</i> Связанные задачи термомеханического изгиба тонких прямоугольных пластин из изотропных материалов с усложнёнными свойствами .....	<b>89</b>
<i>Трещев А.А., Шахов В.С., Щербаков А.С.</i> Потенциал напряжений для изотропных дилатирующих упругопластических материалов .....	<b>90</b>
<i>Трещев А.А., Шахов В.С., Щербаков А.С.</i> Поперечный упруго-пластический изгиб круглых пластин из титановых сплавов, эксплуатируемых в условиях активного наводороживания при больших прогибах .....	<b>91</b>
<i>Трещев А.А., Шерешевский М.Б.</i> Упругий изгиб прямоугольных в плане пологих оболочек положительной гауссовой кривизны из разносопротивляющихся материалов с учетом больших прогибов .....	<b>92</b>
<i>Удербает С.С.</i> Способы активации сырья в производстве арболита.....	<b>93</b>

<i>Уруев В.М., Королев В.В., Петрова Н.В.</i> Исследование мелкозернистого бетона с введением активированного микронаполнителя.....	<b>94</b>
<i>Уруев В.М., Петрова Н.В., Титов А.Д.</i> Композиционное вяжущее вещество на основе применения, в качестве модификатора, гранулированного доменного шлака .....	<b>95</b>
<i>Устинов А.В.</i> Керамический кирпич на основе опоковидных пород и отходов электрометаллургического производства .....	<b>97</b>
<i>Ходаев А.А., Киселева О.А.</i> Влияние циклического нагружения на прочность фанеры .....	<b>98</b>
<i>Шагивалеев К.Ф., Буров С.Н.</i> Расчет пространственной системы, состоящей из двух сочлененных замкнутых цилиндрических оболочек, одна из которых загружена внутренним гидростатическим давлением.....	<b>98</b>
<i>Шагивалеев К.Ф., Сурнина Е.К.</i> К расчету сочлененных оболочек.....	<b>99</b>
<i>Шагивалеев К.Ф., Тюрин М.А.</i> Исследование ребристой замкнутой цилиндрической оболочки.....	<b>100</b>
<i>Шагивалеев К.Ф., Васильцов С.В.</i> Расчёт замкнутого кругового кольца на равномерно распределенную касательную нагрузку, действующую в плоскости кривизны кольца.....	<b>101</b>
<i>Шагивалеев К.Ф., Голик С.С.</i> Расчет замкнутого кругового кольца, нагруженного равномерно распределенным крутящим моментом.....	<b>102</b>
<i>Ярцев В.П., Ерофеев А.В.</i> Влияние циклов теплового старения на физико-механические характеристики декоративно-защитных плит покрытия на основе фанеры .....	<b>103</b>

Научное издание

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ

ХII Международной научно-технической  
конференции «Актуальные проблемы  
строительства и строительной индустрии»

Авторское редактирование

Изд. лиц. ЛР № 020300 от 12.02.97. Подписано в печать  
Формат бумаги 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная  
Усл. печ. л. Уч.-изд. л.  
Тираж 100 экз. Заказ №

Тульский государственный университет  
300600, г. Тула, просп. Ленина, 92

Отпечатано в Издательстве ТулГУ  
300600, г. Тула, ул. Болдина, 151