



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Российская академия архитектуры и строительных наук

ООО «Строительное проектирование»

Тул'sкий государственный университет

Кафедра «Строительство, строительные материалы

и конструкции»

## **СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ**

**XVII Международной  
научно-технической конференции  
«Актуальные проблемы строительства,  
строительной индустрии и промышленности»  
(28-30 июня 2016 г.)**



**ТУЛА  
2016**

В настоящем сборнике опубликованы материалы, представленные участниками XVII Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы строительства, строительной индустрии и промышленности» (Тульский государственный университет, 28-30 июня 2016 года, г. Тула).

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

#### ТЕМАТИЧЕСКИЕ СЕКЦИИ КОНФЕРЕНЦИИ

Механика материалов и строительных конструкций, проектирование зданий и сооружений.

Технология и экологические проблемы строительных материалов.  
Эксплуатация, обследование и усиление строительных конструкций.  
Промышленная безопасность зданий, сооружений и оборудования.

#### ОРГКОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

##### Председатель:

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

##### Зам. председателя:

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

##### Члены оргкомитета:

Моисеев В.А. – президент НП СРО ОПТО,

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

Теличко В.Г. – к.т.н., доц. ТулГУ,

Теличко Г.Н. – к.т.н., проф. ТулГУ

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

#### ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

##### Сопредседатели:

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

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

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

##### Члены программного комитета:

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

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

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

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

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

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



Ministry of Education and Science of the Russian Federation  
Russian Academy of Architecture and Construction Sciences  
ООО "Stroitelnoe proektirovanie"  
Tula State University  
Department of engineering, engineering materials  
and constructions

## **INFORMATION PACKAGE**

**XVII International  
scientific and technical conference  
«Contemporary issues of engineering  
and building industry»  
(June 28-30, 2016)**



**TULA  
2016**

This package consists of articles submitted by participants of XVII International scientific and technical conference «Contemporary issues of engineering and building industry» (Tula State University, June 28-30, 2016, Tula).

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

#### CONFERENCE SESSIONS

Mechanics of materials and engineering structures, structural design.

Technology and ecological issues of constructional materials.

Operation, structural survey and reinforcement of engineering structures.

Industrial safety of buildings, structures and equipment

#### ORGANIZING COMMITTEE

##### Convener:

Gryazev M.V. – Corresponding Member of Russian Academy of Missile and Artillery Sciences, Doctor of Engineering, professor, president of Tula State University;

##### Deputy convener:

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

##### Members of the committee:

Moiseev V.A. – president of NP SRO OPTO (Tula);

Zaharova I.A. – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, docent, Tula State University;

Telichko V.G. – Candidate in Engineering Sciences, docent, Tula State University;

Telichko G.N. – Candidate in Engineering Sciences, professor, Tula State University;

Secretary – Fomicheva A.A., senior departmental assistant, Tula State University.

#### PROGRAM COMMITTEE

##### Co-conveners:

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

Petrov V.V. – active member of RAACS, Doctor of Engineering, professor,

Saratov State Technical University;

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

##### Members of program committee:

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

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

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

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

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

Treschev A.A. – advisor of RAACS, Doctor of Engineering, professor, Tula State University.

## МОДИФИЦИРОВАНИЕ БЕТОНОВ ОТХОДАМИ ДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ

Агальцов Н.С., Рябов Г.Г., Рябов Р.Г.  
*ТулГУ, г. Тула, Россия*

В настоящее время довольно остро стоит вопрос об утилизации отходов промышленности. Одним из приоритетных способов утилизации является вторичное использование отходов в составе строительных материалов. Немаловажно, чтобы при использовании отходов производств, физические, прочностные и эксплуатационные характеристики материалов не ухудшались, а напротив, имели динамику роста.

Данное исследование посвящено способу утилизации отработанного асфальтобетона в составе мелкозернистых бетонов. Рассматривается способ приготовления модифицирующей добавки из отработанного асфальтобетона и керосина. Керосин отделяет минеральную фазу от битума в асфальтобетоне. После того как битум растворился в керосине, получаем модифицирующую добавку.

Отмечено, что при использовании добавки, повысилась пластичность бетонной смеси, что свидетельствует о том, что добавка обладает пластифицирующим действием, т.е. гидрофобизирует бетонную смесь. Это позволяет сделать выводы о том, что модификатор понижает жесткость бетонной смеси за счет пластифицирующего действия добавки. Так же, было замечено понижение пористости модифицированных образцов с 5,85% (без добавки) до 5,35% (оптимальный состав), что обуславливает пониженное водопоглощение бетона по массе – с 3,5% (без добавки) до 2,8% (оптимальный состав). Проведенный анализ модифицированной бетонной смеси позволяет сделать выводы о том, что наблюдается повышение циклов попеременного замораживания-оттаивания за счет пониженной пористости и водопоглощения образцов. Положительное действие модифицирующей добавки на бетон обуславливается получением "наномодификатора" на основе битумного вяжущего и керосина: под действием растворителя (керосина), углеводородные молекулы битума  $\text{C}_n\text{H}_2 = \text{C}_n\text{H}_2 = \text{C}_n\text{H}_2$  распадаются на молекулы, более меньшего размера  $-\text{C}_n\text{H}_2$  вплоть до ионов углерода (C). Последний же имеет положительное влияние на пластичность бетонов.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ САМОУПЛОТНЯЮЩЕГОСЯ БЕТОНА

Адылов А.М.

*СГТУ, г. Саратов, Россия*

Развитие технологий, увеличение численности населения в городской местности приводят к необходимости создания материалов, отвечающих множеству требований современного строительства. К таким критериям относятся: прочность, долговечность, эстетичность, удобство осуществления строительных работ. Последнее требование реализовано в изобретении самоуплотняющегося бетона.

Основные свойства данного вида материала: высокая подвижность при низком водоцементном отношении, вязкость, удаление воздуха, высокая устойчивость к расслаиванию. Данные характеристики обеспечиваются за счет тщательного подбора состава и применением особых добавок.

Внедрение в состав бетона микронаполнителей в виде микрокремнезёма и отходов производства – золы-уноса, являющихся пуццоланово активными компонентами, позволяет увеличивать срок службы и долговечность бетона.

Испытания на многократно повторяющуюся нагрузку цилиндрических образцов показывают, что усталостная прочность самоуплотняющегося бетона ниже, чем у обычного бетона. При одинаковой прочности самоуплотняющегося бетона и традиционного бетона морозостойкость первого также оказалась ниже.

Однако, самоуплотняющийся бетон, благодаря хорошей подвижности и сцеплению между частицами, обладает повышенной адгезией к поверхности арматуры. Отсутствие необходимости виброуплотнения повышает однородность массива бетона и устойчивость к прониканию агрессивных сред. Также одним из преимуществ самоуплотняющегося бетона является то, что поверхность данного материала полностью, до мельчайших подробностей, повторяет поверхность опалубки.

Кроме того, высокая подвижность и удобоукладываемость смеси позволяет использовать его в густоармированных элементах и в элементах высотных сооружений, в том числе и в пилонах мостов.

Также отказ от использования виброуплотнения уменьшает энергозатраты и приводит к сокращению сроков строительства. Одним из достоинств самоуплотняющегося бетона является снижение общего

уровня шумового воздействия на человека и окружающую среду, что позволяет размещать заводы в городских условиях.

Реологические свойства самоуплотняющегося бетона довольно чувствительны к незначительному изменению состава смеси, что доказывает необходимость тщательного подбора компонентов для каждого строительного проекта в отдельности.

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА НЕРАЗРЕЗНЫХ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ПЛАСТИНОК ИЗ НЕЛИНЕЙНО ДЕФОРМИРУЕМОГО МАТЕРИАЛА

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

Изложим методику расчета гибких физически нелинейных неразрезных пластинок, предусматривающую задание при решении нелинейной краевой задачи (НКЗ) в приращениях функций прогиба и усилий дополнительно к условиям на внешнем контуре условий на промежуточных линейно протяженных опорах (ПЛПО), которые могут быть записаны в виде

$$x = x_k, \quad W(x_k, y) = f_k(y), \quad y = y_m, \quad W(x, y_m) = f_m(x). \quad (1)$$

Используем для решения НКЗ метод конечных разностей (МКР) и алгоритм инкрементального метода с итерационным пересчетом жесткостей и выполнением корректировки решения (ИИВК) [1]. Принимаем для пластинок нелинейно деформируемый материал с предельными величинами  $\varepsilon_i^e = 0,03$ ,  $\sigma_i^e = 102$  (МПа) и начальным модулем  $E_0 = 5088,13$  (МПа) [1]. Расчет пластинки с граничными условиями шарнирного опирания на диафрагмы и наличием на средней линии пластинки  $x = 0$  ПЛПО, находящейся на одном уровне с опорами на внешнем контуре пластинки, показал, что модуль экстремального момента  $|M_{\xi \min}|$  в 1,76 раза больше величины  $M_{\xi \max}$ . В этой связи ставим задачу поиска рационального функционального выражения  $f_k(\eta)$  (1), соответствующего равенству  $|M_{\xi \min}| = M_{\xi \max}$ .

В случае принятия выражения  $f_k(\eta) = \cos(\xi\pi / 2)$  на сетке МКР  $32 \times 32$  для квадратной в плане пластинки с относительной толщиной  $h / 2a = 1 / 50$  при взятии за ведущий параметр решения НКЗ прогиба

$\bar{w}_{1/4}$  в центре четверти пластинки получены результаты, представленные в таблице.

$\bar{w}_{1/4}$	P	$\bar{w}(0,0)$	$\bar{w}_{\max}$	$M_{\xi \max}$	$ M_{\xi \min} $	$\varepsilon_{i \max} \cdot 10^3$
0,10	5,26840	0,190108	0,190108	0,071514	0	0,70921
0,90	216,948	1,0	1,190419	0,899610	0,832579	8,51954
0,95	243,508	1,0	1,241356	0,979487	0,980997	9,28886

Таким образом, методика расчета гибких физически нелинейных неразрезных пластинок, основанная на использовании методов МКР и ИИВК, позволяет выявить оптимальные очертания верхней поверхности ПЛПО.

### Библиографический список

1. Кривошеин И.В. Инкрементальные методы расчета гибких физически нелинейных пологих оболочек и пластинок / И.В. Кривошеин. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2015. – 256 с.

## ВОПРОСЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ПРИГОДНОСТИ ПРИСТРОЕННОЙ ЧАСТИ ЖИЛОГО ДОМА

Айгумов М.М., Байрамкулов Т.Э.

*СГТУ, г. Саратов, Россия*

Рассматриваются вопросы восстановления эксплуатационной пригодности жилого дома, который расположен в центральной исторической части г. Саратова. Жилой дом был поврежден в результате локального замачивания просадочных грунтов основания пристроенной части здания. После увлажнения грунтов основания поверхностными водами произошли неравномерные осадки фундаментов жилого дома, несущие конструкции получили аварийные повреждения, в наружных кирпичных стенах здания отмечены сквозные трещины. Восстановительные работы ведутся в стесненных условиях существующей городской застройки без отселения жильцов [1].

Несущим слоем для фундаментов пристроенной части жилого дома являются серо-коричневые суглинки твердой консистенции с включениями гравия опоки и карбонатов, которые имеют следующие физико-механические свойства:

$\omega = 20,0\%$ ;  $\omega_L = 34,0\%$ ;  $\omega_p = 21,0\%$ ;  $I_p = 13\%$ ;  $I_L < 0$ ;  $\rho_d = 1,52 \text{ г/см}^3$ ;  
 $\rho_n = 1,82 \text{ г/см}^3$ ;  $\rho_{II} = 1,75 \text{ г/см}^3$ ;  $\rho_s = 2,65 \text{ г/см}^3$ ;  $e = 0,75$ ;  $S_r = 0,70$ ;  
 $\varphi_n = 21 \text{ град}$ ;  $\varphi_{II} = 20 \text{ град}$ ;  $C_n = 28 \text{ кПа}$ ;  $C_{II} = 21 \text{ кПа}$ ;  
 $E_s = 6000 \text{ кПа}$ ;  $p_{sl} = 0,18 \text{ МПа}$ .

Ниже расположены коричневые и зеленовато-коричневые суглинки мягко- и тугопластичной консистенции (ИГЭ № 3), которые уже реализовали свои просадочные свойства и момент обследования относятся непросадочным грунтам. По условиям геологического формирования суглинки несущего и подстилающего слоев имеют одинаковое происхождение и отличаются разной природной влажностью и консистенцией.

Существующее по момент обследования здание жилого дома – четырехэтажное, сложной формы в плане, с подвалом под частью здания. Наибольшие размеры здания в плане по наружным обмерам составляют 43,86×18,21 м, высота здания 13,900 м, высота надземных этажей – 3,3 м, высота подвальных помещений переменная и изменяется от 2,4 до 2,8 м.

Историческая двухэтажная часть жилого дома построена в конце 19-го века, как купеческий особняк с подвальным этажом и скатной крышей. Позднее в советское время существующее здание надстроено двумя жилыми этажами и пристроен второй четырехэтажный подъезд на новых фундаментах.

#### Библиографический список

1. Айгунов, М.М. Опыт усиления фундаментов аварийного жилого дома по улице Котовского в г. Саратове / М.М. Айгунов, Ю.Г. Иващенко // Журнал «Научное обозрение». – № 11. – 2015. – С. 69-74.

### **ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА**

Алексеева К.Н., Уруев В.М.  
*ТулГУ, г. Тула, Россия*

Роль пластифицирующих добавок для бетонов могут выполнять органические добавки, имеющие щелочную среду, например, поливиниловый спирт [1], жидкие отходы от производства стирола, и другие органические жидкие добавки ГЖК-10 и другие.

Применение отходов производства в составе композиционных смесей способствует охране окружающей среды, и, соответственно, снижает их себестоимость. В исследованиях [1] было указано, что при использовании поливинилового спирта в качестве пластифицирующей органической добавки, повышается прочность бетона, но поливинило-

вый спирт является дорогостоящей добавкой. Поэтому задача исследования – увеличить прочность при сжатии 28 суток нормального твердения с предусмотрением утилизации отходов.

Для реализации задачи берут в качестве органической добавки «маточный раствор» – отход производства вспененного полистирола, на сухое содержимое включает масс. %: стирол растворенный – 0,011; поливиниловый спирт в виде взвешенных частиц и растворенном состоянии – 25,9; химический органический потребитель кислорода (ХПК) – 74,089. В растворе содержится 13,515% твердого вещества, остальное – вода.

Повышению прочности способствует «ХПК» – химический органический потребитель (поглотитель) кислорода, типа пылевидного угля, а уголь (углерод), как известно, является модификатором бетона, повышающий прочность бетона.

«Маточный раствор», содержащий кроме «ХПК» стирол и поливиниловый спирт, способствует пластификации бетонной смеси. Данный фактор обеспечивает повышение прочности бетона в исследованиях [1].

Экономическая целесообразность и снижению себестоимости композиционных смесей заключается в утилизации отходов производства вспененного полистирола.

#### Библиографический список

1. Патент РФ №2302398 МКЛ С04В, опубл. 10.07.2007 «Сухая строительная смесь».

### **СРАВНЕНИЕ РАСЧЕТОВ СТАЛЬНОЙ И КОМПОЗИТНОЙ ТРУБ, ЗАПОЛНЕННЫХ БЕТОНОМ**

Андрущенко А.И. Сидорова А.Ю.  
*СГТУ, г. Саратов, Россия*

В настоящее время в отечественном мостостроении начинают применять трубобетонные конструкции. Однако применение композитных материалов пока еще ограничено, в связи с чем не предоставляется возможным сравнить на существующих примерах инженерных сооружений варианты трубобетонных конструкций: с оболочкой из углепластика и стали.

В данной статье приведены результаты теоретического сравнения несущей способности и коэффициентов запаса прочности трубобетонных свай со стальной и композитной оболочками, а также их плотности, модуля упругости и расчетного сопротивления.

Конструкции рассчитывались с использованием методики приведения бетона к стали и углеродному волокну. Существуют разные методики, но, к сожалению, в России до сих пор отсутствуют нормы расчетов подобных конструкций. В расчетах были приняты стальная и углепластиковая оболочки с внешним диаметром 530 мм и стенкой толщиной 8 мм, заполненные бетоном класса В30. На колонны действуют следующие нагрузки: продольная сжимающая сила  $N = 4257,1$  кН; изгибающие моменты  $M_y = 16,6$  кНм [1,2].

Сравнение показателей стали и углеродного волокна:

Показатели	Стали	Углеродного волокна
Расчетное сопротивление, $R_s$ (Мпа)	235	3357
Плотность, $\rho$ (кг/м <sup>3</sup> )	7900	1850
Модуль упругости, $E$ (Мпа)	200000	230000
Несущая способность оболочки, кН	5639,1	14244,23
Коэффициент запаса прочности, $k$	1,33	3,35

Сравнительный анализ показывает, что несущая способность и коэффициент запаса прочности оболочки из углеволокна значительно выше, чем у оболочки из стали.

#### Библиографический список:

1. Овчинников, И.И. О проблеме расчета трубобетонных конструкций с оболочкой из разных материалов. Часть 2. Расчет трубобетонных конструкций с металлической оболочкой / И.И. Овчинников, И.Г. Овчинников, Г.В. Чесноков, Е.С. Михалдыкин // Наукоедение. – Том 7. – № 4. – 2015. – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/112TVN415.pdf>.
2. СНиП П23 81\* Стальные конструкции. – М. – Стройиздат. 1981.

### ОДИН ИЗ СПОСОБОВ АКТИВАЦИИ МИКРОНАПОЛНИТЕЛЯ

Анисимова Е.Ю., Закуражнов М.С.

*ТулГУ, г. Тула, Россия*

Микрокремнезем – наиболее эффективная минеральная добавка для цементных матриц и бетонов на их основе. Причиной повышения активности микрокремнезема является его ультрадисперсное состояние с большим количеством свободных химических связей, что приводит к

ускорению гидратации цемента и микромодификации структуры цементного камня [1].

Известно, что активация микрокремнезема – это изменение энергетического состояния вещества, т.е. повышение потенциальной энергии и химической активности вследствие увеличения поверхностной энергии и энергии внутреннего строения. Существует множество способов активации: домол, виброактивация, турбулентная, химическая, акустическая, электромагнитная, термическая, азотермическая, электротермическая и другие. Одним из наиболее эффективных является способ химической активации, при котором не требуются затраты на оборудование и энергию.

Химический способ активации заключается в обработке наполнителя (микрокремнезема) растворами кислот (например, HCl), образующих в воде кислую среду.

При изучении способа химической активации было установлено следующее: при добавлении раствора соляной кислоты к микрокремнезему происходит химическая диспергация частиц материала, так как происходит процесс разрушения агломератов частиц микрокремнезема [2]. В результате происходит увеличение степени разорванных химических связей.

Для стабилизации ультрадисперсных частиц активированного микро-кремнезема может использоваться гиперпластификатор, который адсорбируется на границе фаз раздела «микрокремнезем-вода» и образует устойчивые частицы золя, которые разделены в воде затворения, за счет стерического эффекта отталкивания между молекулами адсорбированного гиперпластификатора.

#### Библиографический список

1. Чернышов, Е.М. Модифицирование структуры цементного камня и микро- и наноразмерными частицами кремнезема (вопросы теории и приложений) / Чернышов Е.М., Коротких Д.Н. // Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века. – 2008. – № 5. – С.30-32.

2. Закуражнов М.С. Эффективное модифицирование систем твердения цементного камня с использованием активированного микрокремнезема / М.С. Закуражнов, О.В. Артамонова, Е.И. Шмицько // Вестник гражданских инженеров. – 2015. – № 5 (52). – С. 126-132.

## О РЕЗЕРВЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ НЕЛИНЕЙНО ДЕФОРМИРУЕМЫХ ПОЛОГИХ ОБОЛОЧЕК, ПОВРЕЖДЕННЫХ ДЕЙСТВИЕМ АГРЕССИВНОЙ СРЕДЫ

Аннин О.Г.

*СГТУ, г. Саратов, Россия*

Считаем, что в результате техногенной аварии гибкая физически нелинейная полая оболочка на определенное время подверглась воздействию внешней агрессивной среды, но не исчерпала свою несущую способность. Для подсчета резерва несущей способности полой оболочки после устранения агрессивной среды догружаем ее поперечной нагрузкой и фиксируем величину ее несущей способности  $P^*$ , которая соответствует или достижению верхней критической нагрузки, или равенству максимальной интенсивности напряжений  $\sigma_{i \max}$  в оболочке величине временного сопротивления ее материала. Решаем сформулированную нелинейную краевую задачу с использованием модифицированного метода Бицено-Коха [1] и инкрементального метода ИИВК [1]. На рисунке приведены данные численного эксперимента для полой оболочки на квадратном плане с параметрами кривизны  $k_\xi = k_\eta = 24$  при относительной толщине  $h/(2a) = 1/30$  и граничных условиях шарнирного опирания на идеальные диафрагмы.

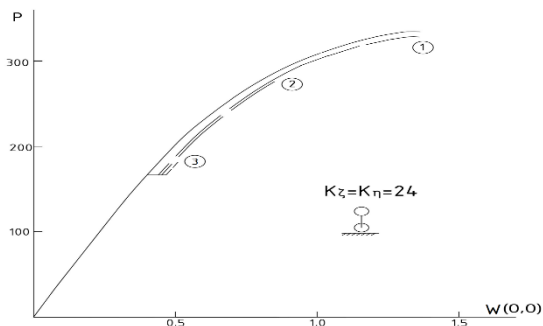


Рис. 1

Проникновение внешней агрессивной среды происходило при значении параметра нагрузки  $P=168,101$ , кривая 1 соответствует глубине пораженного слоя в 20/256, кривая 2 – в 30/256, а кривая 3 – в 40/256 от толщины полой оболочки  $h$  с каждой из ее поверхностей.

Полученные данные показывают, что резерв несущей способности дважды нелинейной полой оболочкой  $R^*$  существенно убывает с ростом глубины проникновения внешней агрессивной среды в глубь материала оболочки.

#### Библиографический список

1. Кривошеин, И.В. Долговечность гибких физически нелинейных пологих оболочек и пластинок / И.В. Кривошеин. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т. – 2016. – 267 с.

### **ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ С ВВЕДЕНИЕМ МИНЕРАЛЬНО-ОРГАНИЧЕСКИХ ДОБАВОК**

Афанасьева К.А.

*ТулГУ, г. Тула, Россия*

Большинство бетонов являются поликомпонентными композиционными материалами, т.е. и матрица (непрерывная связка по структуре), и армирующий материал (прерывный по структуре) состоят не менее из двух фаз. Например, матрица, включающая: цемент, микронаполнитель и пластификатор, является поликомпонентной (3 компонента), а армирующий материал также является поликомпонентным, если включает щебень и песок (2 фазы).

Производить цементы (матрица для бетонов) с микронаполнителем начали еще в 90-х годах девятнадцатого столетия. Установлено, что при замене цемента до 15% карбонатным микронаполнителем с размерами частиц до 60 мкм к концу срока (28 суток) прочность цемента не снижается.

Как установлено исследователями, при нормальной температуре возникают карбоалюминаты  $3Ca \cdot Al_2O_3 \cdot CaCO_3 \cdot 11H_2O$  и  $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot MgCO_3 \cdot 11H_2O$ , которые и способствуют частичной замене цемента карбонатным наполнителем, без снижения прочности.

Особый интерес представляют научные работы, направленные на активацию микронаполнителей химическим методом, т.е. путем обработки микронаполнителей (кварцевого песка, карбонатного микронаполнителя, золы ТЭС и др.) слабокислыми растворами минеральных и органических кислот.

Благодаря увеличению удельной поверхности карбонатного микронаполнителя до удельной поверхности цемента и выше  $300-700 \text{ м}^2/\text{кг}$ , уче-

ным удалось получить цементы низкой водопотребности «ЦНВ», причем с заменого цемента до 50% и выше. Такие матрицы (вяжущие) не требуют пластифицирующих добавок или их заменяют органические жидкости.

Роль пластифицирующих добавок для бетонов могут выполнять и органические добавки, имеющие щелочную среду, например, поливиниловый спирт, жидкие отходы от производства стирола, и другие органические жидкие добавки ГЖК-10 и другие.

Природа и химизм действия таких добавок пока изучена недостаточно.

Применение отходов производства в составе композиционных смесей способствует охране окружающей среды и снижению себестоимости.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ КАРБОНАТНЫХ МИКРОНАПОЛНИТЕЛЕЙ**

Афанасьева К.А.  
*ТулГУ, г. Тула, Россия*

Применение бетонов в современном строительстве на основе минеральных вяжущих является основным решением проблемы обеспечения строительными материалами возведения зданий и сооружений различного назначения.

Мелкозернистый бетон, который представляется к исследованию в данной работе, является наиболее приемлемым для решения проблем масштабного строительства, так как не требует применения крупного заполнителя. Известно, что получение и применение крупного заполнителя для изготовления бетонов требует довольно больших капитальных затрат, включающих в себя горно-изыскательные работы, разработку карьеров, устройство дробильно-сортировочных цехов, транспортные расходы. В то время как мелкозернистый бетон может быть изготовлен на основе материалов местного происхождения, и кроме того с применением минеральных и органических отходов промышленности предприятий, расположенных в данном регионе.

Проблему изготовления мелкозернистого бетона на основе менее дорогостоящих материалов предлагается решить с помощью применения отходов переработки карбонатных пород. На основе изучения опыта, практики и исследований по данной тематике отечественного и зарубежного опыта было выявлено, что существующие технологиче-

ские приёмы не в достаточной мере используют все потенциальные возможности карбонатных пород (известняков) с точки зрения их физико-технических свойств. Применение отходов в переработке известняков при производстве строительных изделий на основе определённых технологических приёмов, направленных на использование потенциальных возможностей данных отходов, приводит к получению определенного технико-экономического эффекта и в ряде случаев к решению экологических проблем.

Влияние известняка на свойства цементных растворов является частично физическим, а частично – химическим. Тонкодисперсный наполнитель заполняет пустоты между частичками клинкерных минералов и способствует формированию более плотного цементного камня. В присутствии известняка наблюдается увеличение скорости гидратации трёхкальциевого силиката. Это подтверждается данными оптической и сканирующей электронной микроскопии и результатами количественного рентгенофазового анализа содержания гидроксида кальция.

Введение в цемент до 25% карбонатного наполнителя не оказывает заметного влияния на удобоукладываемость цементных растворных смесей, однако в тонко измельчённых клинкерах может наблюдаться ускорение схватывания, вероятно вследствие образования гидрокарбоната алюмината кальция –  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{CaCO}_3\cdot 11\text{H}_2\text{O}$ .

Качество цементов с добавками тонкомолотых карбонатных пород в основном зависит от количественного соотношения клинкера и добавок, тонкости помола компонентов, соотношения дисперсности частиц и равномерного их распределения в порошке. Добавка должна быть представлена крупными частицами, а портландцементный клинкер – мелкими и мельчайшими.

В присутствии карбонатов кальция наблюдается ускорение процесса гидратации клинкерных частиц смешанного цемента, так как при этом увеличивается водно-клинкерное отношение в системе и осуществляется отвод продуктов растворения из зоны реакции к поверхности частиц микронаполнителя. Прочность сцепления карбонатных частиц с матрицей цементного камня возрастает при их механохимической обработке в активных механических измельчителях.

На основе выполненных исследовательских работ установлено, что применение карбонатных добавок в виде микронаполнителей способствует модификации их физико-механических свойств и, что немало важно, придаёт цементному камню и бетону более светлый цвет.

Эффективнее применять микронаполнитель в составе комплексных добавок.

Для стабилизации полученных тонкодисперсных форм микрокремнезема можно использовать суперпластификаторы: «Реламикс ПК» на основе полиоксиэтиленовых производных полиметакриловой кислоты и «Суперпластификатор С-3» на основе натриевых солей продукта конденсации нафталин-сульфокислоты и формальдегида с добавлением лингосульфатов и сульфата натрия, производимых компанией ООО «Полипласт Новомосковск» и др.

## **РАЗРАБОТКА КОМПОЗИЦИОННОГО ВЯЖУЩЕГО ВЕЩЕСТВА НА ОСНОВЕ СТРОИТЕЛЬНОГО ГИПСА**

Афанасьева К.А.  
*ТулГУ, г. Тула, Россия*

Строительный гипс, как известно, обладает рядом положительных и отрицательных свойств. Так, строительный гипс является достаточно дешевым вяжущим веществом, температура его термической обработки составляет 100-160°C, а портландцементный клинкер получают путем обжига сырьевой смеси при температуре 1450°C, что является весьма существенным показателем. Однако, строительный гипс, обладает рядом существенных недостатков, одним из которых является относительно низкая водостойкость.

Существует ряд способов и направлений по модификации свойств строительного гипса.

Нами было выбрано направление по разработке композиционного вяжущего вещества на основе строительного гипса с применением минеральных добавок местного происхождения, в частности, буроугольных зол Подмосковского бассейна.

Основным фактором, отражающим качество минеральной добавки, является ее способность поглощать из известкового раствора окись кальция. Минеральная добавка считается тем активнее, чем больше она поглощает извести из ее водного раствора за определенный промежуток времени.

Определение интенсивности связывания гидрата окиси кальция с минеральной добавкой, в композициях гипс-цемент-активная минеральная добавка-вода, основано на определении концентрации гидрата кальция в жидкой фазе при гидратации данного композиционного вяжущего вещества по методике ОСТ-21-29-77.

С целью обеспечения оптимального соотношения между портланд-цементом и золой уноса, при котором обеспечивается концентрация оксида кальция в специально приготовленной водной суспензии гипса с комплексной добавкой, концентрация оксида кальция контролируется и поддерживается в пределах не выше 0,85 г/л.

Изучались системы различных комбинаций указанных вяжущих веществ.

На основе выполненных исследований установлено, что активная минеральная добавка, в результате химических реакций, способна связывать окись кальция в жидкой фазе при гидратации композиционного вяжущего вещества.

В качестве кислой активной минеральной добавки применяем бурого угольные золы ТЭС Подмоскoвнoгo бассейна.

В результате комплекса исследований было предложено композиционное вяжущее вещество в виде гипсозолопуццоланового цемента.

## **ВЛИЯНИЕ НА СВОЙСТВА КЕРАМИКИ КОМПЛЕКСНОЙ ДОБАВКИ**

Ашихмин А.А., Рябов Г.Г., Рябов Р.Г.

*ТулГУ, г. Тула, Россия*

Одной из основных задач в строительстве является улучшение физических свойств строительных материалов, однако, немаловажно, что при улучшении одних свойств материала, не ухудшались другие характеристики.

В данном исследовании производилось введение в состав керамической массы, включающей в себя суглинки и керамзитовую глину, железосодержащей и выгорающей добавки. Железосодержащая добавка представляет собой отработанный катализатор производства аммиака, а в качестве выгорающей добавки – «маточный раствор» – отход производства вспененного полистирола. Данная комплексная добавка способствует улучшению ряда свойств керамики, которые очень востребованы в производственной сфере, к ним относятся: прочность, как после сушки, так и после обжига, усадка, водопоглощение и морозостойкость, также стоит отметить, что сохраняется архитектурный вид керамики, который очень важен, особенно для лицевого кирпича. Кроме того, при всех улучшениях, себестоимость данного материала не увеличивается, а даже наоборот, уменьшается, этому способствует, тот факт, что компоненты комплексной добавки являются отходами, а

также снижается теплоэнергетические затраты, т.к. не требуется сушка выгорающей добавки и снижается температура обжига.

Улучшения осуществляются за счёт химических реакция, проходящих в процессе изготовления материала как например, в процессе сушки, сформованной керамики, из её состава испаряется не только формовочная влага, введённая в массу вместе с маточным раствором, но и вода из маточного раствора и твёрдый остаток маточного раствора превращается в адгезионную плёнку, которая заполняет поры в материале и препятствует проникновению влаги, что приводит к уменьшению водопоглощения и в следствии улучшению морозостойкости, этому способствует поливиниловый спирт, входящий в состав маточного раствора. Кроме того, эти плёнки адсорбирует между собой микрочастицы глины и железосодержащие добавки, в результате чего прочность заметно увеличивается.

### **ВЛИЯНИЕ ЭКСЦЕНТРИЧНОСТИ РАСПОЛОЖЕНИЯ КОЛЕСНОЙ НАГРУЗКИ И НЕРАВНОМЕРНОСТИ ЕЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПО ПЛОЩАДИ КОНТАКТА НА НДС ПЛИТЫ**

Барченкова Н.А, Ильиных И.А.  
*ВГАСУ, г. Воронеж, Россия*

Исследовалось НДС прямоугольной плиты  $24 \times 2,4 \text{ м}^2$  с заземлением по длинным сторонам и цилиндрическими шарнирами – по коротким на действие собственного веса и колесной нагрузки 10 т, соответствующей 1 колесу от НК-80, распределенной по площади  $0,6 \times 0,8 \text{ м}^2$ . Анализировались изгибающие моменты  $M_x$ ,  $M_y$  и прогибы  $W$  в зависимости от эксцентрисности расположения колесной нагрузки в направлении осей симметрии плиты  $x$ ,  $y$ .

При оценке адекватности расчетной схемы, составленной применительно к ПК ЛИРА (41 КЭ – универсальный прямоугольный КЭ оболочки, с размерами  $0,1 \times 0,1 \text{ м}^2$ ) выявлено, что результаты расчетов на действие колесной нагрузки в центре не выходят за пределы максимальных и минимальных значений, найденных с использованием известных источников, а также ПК SAP2000.

Установлено, что анализ эксцентрисности можно выполнять для укороченной плиты размером  $9,6 \times 2,4 \text{ м}^2$ .

Численные исследования показывают, что при смещении нагрузки вдоль оси  $x$  в продольных сечениях экстремальные значения изгибающих моментов  $M_x$ ,  $M_y$  и прогибов  $W$  наблюдаются в зоне нагрузки. Причем на эпюрах  $M_x$  в смежных участках имеют место отрицательные значения, величины которых незначительны. Для эпюр моментов  $M_x$ ,  $M_y$ , имеющих место в поперечных сечениях, максимумы наблюдаются в центре плиты.

И наоборот, когда нагрузка смещается вдоль оси  $y$ , то в продольных сечениях экстремальные значения сосредоточены в центре плиты, а в поперечных – располагаются под нагрузкой.

При исследовании неравномерности распределения колесной нагрузки по площади контакта к расчету были приняты несколько характерных законов, начиная с сосредоточенной силы и заканчивая параболическим очертанием с использованием криволинейных поверхностей. Проведенные численные исследования для значений нагрузки в зонах неравномерности 1/10; 1/5 от полной показывают незначительность влияния неравномерности при расчете исходной плиты на указанную нагрузку.

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ НОРМАТИВНОЙ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА УСИЛИЙ В ПЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ НА ДЕЙСТВИЕ КОЛЕСНОЙ НАГРУЗКИ**

Барченкова Н.А., Ильиных И.А.  
*ВГАСУ, г. Воронеж, Россия*

Для оценки точности нормативной методики исследовалось напряженно-деформированное состояние (НДС) прямоугольной плиты  $24 \times 2,4$  м<sup>2</sup> с защемлением по длинным сторонам и цилиндрическими шарнирами – по коротким, находящейся под действием собственного веса (с учетом дорожного покрытия) и одиночной колесной нагрузки. Принималось, что колесная нагрузка соответствует 1 колесу от НК-80, т.е. 10 т, приложена в центре плиты и распределена по площади  $0,6 \times 0,8$  м<sup>2</sup>.

Расчеты выполнялись на основе МКЭ (метод конечных элементов), реализованного в ПК ЛИРА, где принимался 41 КЭ – универсальный прямоугольный КЭ оболочки размером  $0,2 \times 0,2$  м<sup>2</sup>. Адекватность принятой расчетной модели обосновывалась путем сравнения характерных показателей НДС, полученных разными авторами на основе методов Бубнова-Галеркина, Леви, МКР (метод конечных разностей) при рав-

номерном нагружении плиты собственным весом. При этом было установлено, что полученные авторами результаты расчетов не выходят за пределы наибольших и наименьших значений, найденных с использованием известных источников. В связи с этим МКЭ был выбран как наиболее информативный и универсальный при оценке и анализе НДС.

Было установлено, что результаты расчета НДС для исходной длиной  $24 \times 2,4 \text{ м}^2$  и укороченной  $4,8 \times 2,4 \text{ м}^2$  плиты практически не отличаются как при расчете на собственный вес, так и на действие колесной нагрузки в центре.

Исследование точности нормативной методики [1] было выполнено путем сравнительных расчетов для двух случаев:

- укороченной плиты с шарнирным опиранием по контуру как от действия собственного веса, так и от колесной нагрузки в центре;
- плиты с защемлением по длинным сторонам и цилиндрическими шарнирами – по коротким.

Численные исследования показали, что при соотношении длин сторон плиты от 1 до 1,6 для рассматриваемых выше случаев:

- различия с [1] характерных наибольших значений изгибающих моментов в центре плиты составили 10,2% и менее;
- оценки экстремальных величин изгибающих моментов по направлениям разных координатных осей неоднозначны: от 5 до 70%.

#### Библиографический список

1. ВСН 32-89. Инструкция по определению грузоподъемности железобетонных балочных пролетных строений эксплуатируемых автодорожных мостов. – М.: Транспорт, 1991. – 166 с.

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗКИ НА ТРУБОПРОВОД ПРИ ТЕКТОНИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ**

Баширзаде С.Р.  
*СГТУ, г. Саратов, Россия*

Как известно, обобщенная модель трубопровода, прокладываемого в сложных инженерно-геологических условиях, включает ряд моделей, описывающих различные стороны процесса деформирования трубопровода: модель трубопровода, как конструктивного элемента; модель материала трубопровода; модель взаимодействия трубопровода с грун-

том; модель нагружения трубопровода; модель воздействия агрессивной рабочей среды; модель наступления предельного состояния трубопровода.

В данной работе рассматривается задача построения модели нагружения трубопровода, проложенного в зоне активных тектонических разломов. Учитывается, что в этих зонах трубопровод, перемещаясь вместе с массой грунта, одновременно сопротивляется его перемещению, что приводит к смещению трубопровода и грунта относительно друг друга и возникновению дополнительных динамических нагрузок, действующих на трубопровод. Рассматривается только деформация трубопровода в вертикальной плоскости.

Для учета влияния тектонического воздействия в уравнениях деформирования трубопровода вида  $L(\omega) = \Phi(u, t)$ , правая часть, характеризующая нагрузку, представляется в виде:

$$\Phi(u, t) = \Phi_1(u) + \Phi_2(\dot{u}) + \Phi_3(\ddot{u}) + \Phi_4(\dot{\omega}),$$

где  $u, \dot{u}, \ddot{u}$  – соответственно перемещение, скорость и ускорение грунта.

Здесь обозначено:

$$\Phi_1(u) = k \cdot (u -$$

$\omega)$  – статическая нагрузка, приходящаяся на трубу при движении грунта;  
 $k$  – сопротивление грунта вертикальным перемещениям трубопровода при статических нагрузках;

$\omega$  – смещение оси трубопровода;

$\Phi_2(\dot{u}) = s \cdot \tau \cdot (\dot{u} - \dot{\omega})$  – нагрузка, приходящаяся на трубу за счет вязких свойств грунта, пропорциональна скорости относительного движения, где  $s$  – сопротивление грунта вертикальным перемещениям трубопровода при динамических нагрузках;

$\tau$  – время релаксации грунта;

$\dot{\omega}$  – скорость смещения оси трубопровода;

$$\Phi_3(\ddot{u}) = \rho_{2p} \cdot$$

$\ddot{u}$  – динамическая нагрузка присоединенной массы грунта на трубопровод;  
 $\rho_{2p}$  – погонная масса грунта;

$\Phi_4(\dot{\omega})$  – нагрузка на трубопровод, зависящая от давления, приходящегося на грунт.

В работе рассматриваются способы нахождения величин, входящих в функции  $\Phi_1(u)$ ,  $\Phi_2(\dot{u})$ ,  $\Phi_3(\ddot{u})$ ,  $\Phi_4(\dot{\omega})$ .

## **О ПОСТРОЕНИИ ОБОБЩЕННОЙ МОДЕЛИ ТРУБОПРОВОДА С УЧЕТОМ РЕАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Баширзаде С.Р., Овчинников И.Г.  
*СГТУ, г. Саратов, Россия*

Задача прогнозирования поведения трубопроводов, прокладываемых в сейсмически опасных зонах, является весьма важной, так как её правильное решение позволит гарантировать надежную и безопасную работу трубопровода в течение нормативного срока службы. Особенно важной, но мало исследованной является задача оценки напряженно-деформированного состояния подземных трубопроводов в зонах активных тектонических разломов. В этих зонах трубопровод, перемещаясь вместе с массой грунта, одновременно сопротивляется его перемещению, что приводит к смещению трубопровода и грунта относительно друг друга и возникновению дополнительных динамических нагрузок, действующих на трубопровод.

Поэтому представляет интерес построение обобщенной модели деформирования трубопровода в зонах активных тектонических разломов с одновременным учетом всего комплекса факторов, действующих на трубопровод (силовые нагрузки, сложные грунтово-геологические условия, сейсмичность района пролегания трубопровода – сейсмические нагрузки, температурные воздействия, воздействие эксплуатационной среды).

При построении обобщенной модели трубопровода в указанных условиях используется подход, согласно которому обобщенная модель представляет собой совокупность следующих моделей:

- модель трубопровода, как конструктивного элемента (гибкая нить; длинный стержень-балка, работающая на изгиб; оболочка);
- модель материала трубопровода (упругий; нелинейно – упругий; упруго – пластический, с учетом ползучести);
- модель взаимодействия трубопровода с грунтом (модель деформирования грунта от подвижек трубопровода);
- модель нагружения трубопровода (статическое нагружение, динамическое нагружение – ударные нагружения; колебания трубопровода; сейсмическое воздействие);
- модель воздействия агрессивной рабочей среды;
- модель наступления предельного состояния (условие выхода трубопровода из эксплуатационного режима).

В работе рассматриваются варианты моделей, относящихся к каждой из этих групп, и рассматривается область их применения с целью прогнозирования поведения трубопровода в реальных условиях эксплуатации.

## **РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ ВОЗДЕЙСТВИЯ АГРЕССИВНОЙ СРЕДЫ**

Башкатов А.В., Теличко В.Г.  
*ТулГУ, г. Тула, Россия*

Проблема обеспечения долговечности и безопасности различных строительных объектов является одной из важнейших сторон деятельности научно-исследовательских и проектных организаций во многих странах мира. Железобетон, как конструкционный материал позволяет создавать достаточно сложные конструктивные схемы, однако данного вида конструкции подвержены комплексу внешних воздействий, влияющих на их работоспособность.

Агрессивные эксплуатационные среды являются одним из основных негативных факторов, влияющих на работоспособность инженерных сооружений из железобетона. Наиболее распространенной является хлоридсодержащая среда, основными источниками которой являются: хлоридсодержащие средства антиобледенители; морская вода и солевой туман, которые контактируют с поверхностью армированных конструкций, технологические хлоридсодержащие среды.

Авторами данной работы решена проблема построения математической модели расчета конструкций из армированных начально-изотропных разно-сопротивляющихся материалов, находящихся под действием агрессивных эксплуатационных сред. В основу разработанной модели были положены работы Л.А. Толоконникова, Н.М. Матченко, А.А. Трещёва, А.А. Ильюшина, И.Г. Овчинникова и В.В. Петрова. Численная реализация предлагаемой модели осуществлена с помощью гибридной формулировки метода конечных элементов [1]. Вывод соответствующих соотношений МКЭ и набор используемых технических гипотез приведен в работе [1]. Взаимодействие агрессивной среды с бетонами описан в работе [2].

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

### Библиографический список

1. Теличко, В.Г. Гибридный конечный элемент для расчета пространственных конструкций с усложненными свойствами / В.Г. Теличко, А.А. Трещёв // Сборник научных трудов XXXII Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы современного строительства». – Пенза: Изд-во ПГАСА, 2003. – Ч.2. Строительные конструкции. – С. 138-143.
2. Трещёв, А.А. Построение математической модели деформирования комплексной железобетонной плиты с полимербетонным слоем под действием агрессивной среды / А.А. Трещёв, В.Г. Теличко, А.В. Башкатов // Периодическое научное издание Вестник МГСУ. Научно-технический журнал. – М.: Издательство МИСИ-МГСУ, – № 3. – 2014. – С. 126-132.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ КАПИЛЛЯРНОГО СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ В ДИСПЕРСНЫХ СЫРЬЕВЫХ СМЕСЯХ

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

В данной работе была поставлена задача смоделировать на компьютере капиллярное взаимодействие мелких и крупных частиц для системы с влажностью близкой к оптимальной (максимального глобулирования), при которой за счет капиллярного взаимодействия мелких частиц песка с крупными образуются агрегаты-глобулы, которые в свою очередь строят арочные структуры. Для построения компьютерной геометрической модели объемной ячеисто-глобулярной структуры использовали язык программирования Blitz3D с возможностью трехмерной визуализации. Основой алгоритма служит условие, исключающее пересечение поверхностей объектов в трехмерном пространстве. В целях исключения повторяемости моделируемой структуры применяли генератор случайных чисел для задания параметров положения частиц в пространстве.

В бесконечном трехмерном пространстве создается объект сфера, имеющая координаты  $X = 0$ ,  $Y = 0$ ,  $Z = 0$  и привязывается к объекту «камера», проецирующей трехмерное изображение на экран. «Камера» удалена от объекта на регулируемый радиус, и способна вращаться вокруг объекта. Изменение положения «камеры» осуществляется нажа-

тием клавиш со стрелками. Последовательно создаются другие объекты сферы. Создание объектов происходит после выполнения условия отсутствия пересечения поверхностей. Для проверки условия в цикле рассчитываются расстояния  $L$  между центрами всех объектов, которое не должно быть меньше суммы радиусов  $R$  двух соприкасающихся сфер. Размещение вновь созданного объекта происходит вблизи поверхности случайно выбранного существующего объекта в сферических координатах, где случайно задаем зенитный  $\theta$  и азимутальный  $\varphi$  углы. Таким образом, по окончании цикла создания и размещения объектов, получается структура, состоящая из сфер, которые соприкасаются между собой, но не пересекаются.

Для моделирования процесса «налипания» мелких частиц на крупные вычисляются в каждом цикле расстояния от каждого мелкого объекта до каждого крупного и сравниваются между собой. Сближение мелкой частицы к крупной происходит в том случае, если расстояние до крупной минимальное из всех рассмотренных. Мелкие сферы изменяют свои координаты в сторону ближайших крупных. В процессе сближения объектов происходит проверка столкновений: мелких сфер с мелкими – со скольжением, мелких с крупными – с остановкой.

Моделируется процесс раздвижки крупных сфер. При «налипании» мелких частиц на поверхность крупных рассчитываются расстояния между крупными сферами. Вводится условие: если рассчитанные расстояния меньше двух диаметров мелких сфер (в зазоре между крупными) происходит изменение координат крупных шариков во взаимопротивоположных направлениях. По окончании процесса раздвижки сближаются мелкие шарики друг с другом, не отрывая их от поверхности крупных. Для этого вычисляются между ними расстояния и изменяются координаты мелких шариков относительно поверхности крупных. Силы сближения мелких к крупным и мелких к мелким (вдоль поверхности крупных) продолжают действовать. Происходит сближение мелких шариков с крупными, при этом 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 шарики размещаются в

зазорах между крупными шариками, тем самым имитируя образование арочных структур (рис. 1).

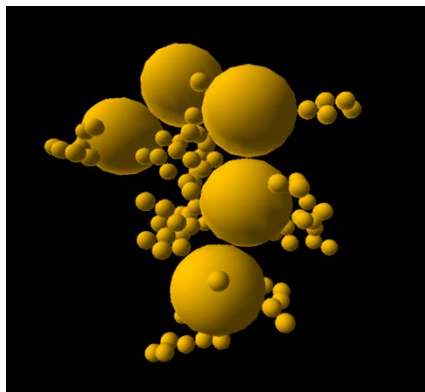


Рис. 1. Процесс моделирования ячеистоглобулярной структуры

В результате выполнения алгоритма получаем связанную систему, в которой крупные зерна раздвинуты друг относительно друга на расстояния в две мелких частицы, мелкие частицы расположены на поверхности крупных частиц и заполняют зазоры между крупными. Алгоритм взаимодействия выполняется в цикле и является динамическим. Полученная трехмерная модель отражает принцип капиллярного взаимодействия частиц.

Компьютерное моделирование и 3D-реконструкция капиллярных структур в трехфазных сырьевых смесях безобжиговых строительных конгломератов позволяет обосновать научно-методический подход к получению композитов с полидисперсной структурой, заключающийся в ее последовательной оптимизации, начиная с микроуровня (вяжущей части), и затем на уровнях мелкого и крупного заполнителя.

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА СУХОЙ ОГНЕУПОРНОЙ СМЕСИ**

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

Важным критерием качества материала футеровки является его набивная плотность, которая в свою очередь определяется гранулометрическим составом сухой огнеупорной смеси. Задача исследования заключалась в оптимизации существующего состава огнеупорной смеси для устройства футеровки индукционных печей с целью повышения

насыпной и набивной плотности смеси. Исходная огнеупорная смесь обладала следующими характеристиками: насыпная плотность – 1550 кг/м<sup>3</sup>, набивная плотность – 2150 кг/м<sup>3</sup>. В качестве сырьевых материалов применялись: измельченный кварцит трех типов крупности, отдельные корректирующие фракции кварцита и порошок оксида бора.

В качестве эталонной гранулометрической кривой выбрана кривая Функа, описываемая известным уравнением Функа-Дингера:

$$G_i = (\alpha + (1 - \alpha) \frac{D_i^n - D_{min}^n}{D_{max}^n - D_{min}^n}) \cdot 100 \quad (1)$$

где  $G_i$  – полный проход зерна в процентах через сито с диаметром ячейки  $D_i$ , мм;  $D_{min}$  – наименьшая крупность зерна в системе, мм;  $D_{max}$  – наибольшая крупность зерна в системе, мм;  $\alpha$  – коэффициент формы частиц, который по данным многих исследователей может изменяться в пределах от 0 до 0,2;  $n$  – коэффициент распределения, равный 0,5.

Приведенное уравнение наиболее точно описывает гранулометрический состав реальных гранулированных систем, т.к. учитывает максимальный и минимальный размеры зерна в смеси. Коэффициент  $\alpha$  оказывает особое влияние на системы с прерывистой гранулометрией. Коэффициент  $n$  оказывает влияние в основном на содержание средних фракций в системе [1].

Для решения поставленной задачи применялась специальная компьютерная программа проектирования зерновых составов, позволяющая производить расчет оптимального гранулометрического состава сырьевой смеси, включающей несколько исходных компонентов известной гранулометрии [2]. В программе предусмотрена возможность автоматического поиска оптимального решения. В процессе расчета программа перебирает все возможные соотношения компонентов проектируемой смеси, последовательно уменьшая область расхождения расчетного состава с эталонным. Результатом работы программы является сформированный список рассчитанных составов и величина расхождения расчетного состава с эталонным, на основании которого можно выбрать оптимальный состав, наиболее приближенный к эталону. Вспомогательной функцией программы является возможность корректировки рассчитанного зернового состава смеси путем учета дополнительных корректирующих компонентов – «узких» фракций материала.

В результате проведенной проверки установлен наиболее оптимальный состав огнеупорной смеси (составы № 5 и № 6) с насыпной плотностью  $1620 \text{ кг/м}^3$  и набивной плотностью  $2240 \text{ кг/м}^3$ . Оптимальному составу соответствуют расчетные параметры эталонной кривой Функа  $\alpha = 0,14$  и  $n = 0,5$ . По характеристикам оптимизированный состав превосходит исходный производственный состав.

#### Библиографический список

1. Белов, В.В. Расчет плотных упаковок частиц в смесях тонкодисперсных компонентов // Сухие строительные смеси. – № 3. – 2014. – С. 6-9.
2. Белов, В.В. Подбор оптимальной гранулометрии заполнителя строительного композита / В.В. Белов, И.В. Образцов. – Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010617267 от 29.10.2010 г.

### **СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИОННЫЕ МЕТАЛЛОНАПОЛНЕННЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ**

Бобрышев А.А., Шафигуллин Л.Н.  
*НЧФ КазФУ, г. Набережные Челны, Россия*

В последнее время строительные металлонаполненные полимерные композиты (МПК) проявили себя как новая группа конструкционных материалов, оптимально сочетающих прочность, электро- и теплопроводность и другие свойства материалов с высокой химической стойкостью, демпфирующей способностью и технологичностью материалов. Простота переработки и разнообразие свойств МПК в сочетании с различными технологическими процессами изготовления материалов и изделий из них предоставляют разработчикам широкие возможности по сравнению с металлами, бетонами, монолитными полимерными композитами (ПК) и другими материалами. Работоспособность МПК определяется адгезией полимера к металлу и зависит от физико-химических свойств полимера и металла, наличия наполнителей и стабилизаторов в технологии изготовления.

Универсальность МПК заключается в том, что при правильном выборе исходных компонентов, процессов и методов их получения (режима термической обработки и отверждения, ориентации армирующей добавки) удается получить конструкционный строительный материал, сочетающий в себе комплекс "неполярных" физико-механических

свойств (например, одновременно высокие деформационно-прочностные и демпфирующие показатели), а также создать надежную, легкую, эффективную и недорогую конструкцию. Экспериментальные исследования проводились на эпоксидных композитах. В качестве матричных компонентов использовали эпоксидную смолу (ЭД-20) и отвердитель диэтилентриамин (ДЭТА). Наполнителями являлись чугунные стружки надлома, бронзовые стружки надлома, стальные элементные стружки. Оценку физико-механических свойств металлополимерных композитов производили по измеренным величинам – динамическому модулю упругости, прочности при изгибе и сжатии. Выявлено, что наиболее эффективным наполнителем для производства наполненных строительных конструкционных полимерных композитов является чугунная стружка.

Внедрение прогрессивных технологий получения многослойных полимерных композитов в строительстве позволяет эффективно утилизировать отходы металлообработки и приводит к сокращению затрат за счет снижения материалоемкости производства.

### **ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ЦЕМЕНТНО-ПЕСЧАНЫХ РАСТВОРОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРНЫМИ ДОБАВКАМИ**

Бобрышев А.А., Шафигуллин Л.Н.  
*НЧФ КазФУ, г. Набережные Челны, Россия*

В связи с сильным структурирующим действием строительного цементно-песчаного раствора, модифицированного водорастворимыми полимерными добавками, необходимо было выявить к какому реологическому типу относятся дисперсные системы с этими добавками.

В реологии одним из базовых уравнений является закон течения Ньютона, на основе теоретической оценки реологического состояния структурированных растворов и проведенных экспериментальных данных вязкости строительных цементно-песчаных растворов, модифицированных водорастворимыми полимерными добавками полиоксиэтилена, метилцеллюлозы, этилгидроксиметилцеллюлозы дана топологическая структура растворов. Составлена обобщенная модель структуры неньютоновских жидкообразных систем, в частности дилатантных, псевдопластических тел которые имеют в своей структуре две основ-

ные реологические активные составляющие, которыми являются жесткая и вязкая фазы. Показано, что в псевдопластических системах с увеличением напряжения сдвига происходит рост вязкой фазы раствора за счет снижения содержания жесткой. В дилатантных системах наблюдается противоположная ситуация. Кроме того, указанные фазы не имеют четкого разграничения в системе раствора, а напротив, сложным образом пространственно переплетены между собой.

Проведено структурное моделирование неньютоновских тел, с помощью модели Шкловского-де-Жена. Исследования показали, что рассматриваемые строительные композиционные цементно-песчаные системы характеризуются как псевдопластические растворы, где роль жесткой фазы играет цемент и песок, вязкой фазы растворы полимерных добавок в воде. Полученные данные можно использовать при обосновании влияния водорастворимых порошковых полимеров на технологические свойства сухих строительных смесей различного назначения.

## **РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНЫХ СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНЫХ УСТАНОВОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОТЕХНОЛОГИЙ**

Бодин А.Б., Сомов А.В., Столяров Е.Г., Тростин В.П.  
*НИИЦ СТ ЖДВ Минобороны, г. Москва, Россия*

В последнее время получило развитие создание отечественных автомобильных (с отбором мощности на смеситель или автономно на полуприцепе) асфальтобетонных и бетонорастворных установок для снабжения готовыми смесями рассредоточенных объектов строительства, расположенных за пределами технологически допустимой зоны обеспечения их с центральной базы. Производительность установок – 30-100 м<sup>3</sup>/ч. Состав конструкции – от 1 моноблока до 3-4 транспортных блоков полной заводской готовности. Время развертывания до выдачи первых кубометров смесей – 1-5 ч. Установки выпускают как в летнем, так и в зимнем – в утепленных блоках исполнения. В качестве модификаторов бетонов и асфальтобетонов применяются наночастицы тонкоизмельченных цемента и песка (2-3 до 10% частиц наноразмеров), получаемые помолом в узлах в составе установок.

На основании анализа динамики патентования в этой области произведено ранжирование по значимости показателей качества установок.

1. *Мобильность, или компактность* (коэффициент значимости  $\varphi_1 = 1$ ) – показатель компактности оборудования, смонтированного в единице объема, например, транспортного блока – это отношение его габаритного объема в транспортном состоянии  $V_T$  к эталонному объему  $V_3$ , который определен с учетом нормативных транспортных габаритов для перевозки на железнодорожных платформах, автоприцепах, самолетах и вертолетах.

2. *Надежность* ( $\varphi_2 = 0,89$ ) в эксплуатации (резервирование, повышение ремонтпригодности, ресурса элементов).

3. *Автоматизация* ( $\varphi_3 = 0,72$ ) технологических процессов грузовой переработки, составляющих асфальтобетонных и сухих смесей – основа обеспечения заданных сроков строительства, благодаря выработке рациональных режимов работы.

4. *Производительность* ( $\varphi_4 = 0,41$ ) работ, ее рост, благодаря повышению надежности, улучшению конструкции и выбору рационального режима работы. Бесперегрузочное автоматизированное обеспечение процесса оценивается максимально, всякие отступления – имеют более низкие оценки.

5. *Экономичность* ( $\varphi_5 = 0,23$ ) функционирования как основной показатель эффективности работы комплексов.

6. *Качество* ( $\varphi_6 = 0,15$ ) составляющих асфальтобетона (бетона), сухой смеси, раствора и других строительных материалов: сохранение от воздействия на частицы материалов рабочих органов транспортно-складского оборудования при грузовой переработке или их сухое обогащение в составе.

## **ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННАЯ МЕТАЛЛОПРОДУКЦИЯ ГРУППЫ «НЛМК» НА РОССИЙСКОМ РЫНКЕ**

Быков А.Ю.

*МГУПС(МИИТ), г. Москва, Россия*

На сегодняшний день группа НЛМК – производитель строительных материалов и конструкций выходит на российский рынок с новым видом износостойкой стали Quard.

Quard является торговой маркой линейки износостойких листовых сталей, выпускаемых компанией NLMK Slabescq, которая в настоящее время охватывает три уровня твердости по Бринеллю – 400, 450 и 500.

Группа НЛМК представляет уникальную по качественным характеристикам для России стальную продукцию – толстый лист из низколегированной износостойкой стали марки Quard. Металл предназначен для использования в производстве строительного и горнодобывающего оборудования, а также так называемой «желтой» техники. Одним из крупных потребителей износостойкой стали Quard производства НЛМК в России является металлоторговая компания МеталлСтройСервис.

Износостойкие стальные листы марки Quard (твердость 400НВ, 450НВ и 500НВ – Quard 400, Quard 450 и Quard 500 соответственно, толщиной от 4 до 40 мм и шириной от 1500 до 3100 мм) предназначены для использования в производстве строительного и горнодобывающего оборудования, а также других видов специальной техники и машин (дробильное и размельчающее оборудование, экскаваторы, самосвалы, бульдозеры, бункеры, смесители и пр.), где благодаря применению износостойкой стали марки Quard можно добиться снижения веса конструкционного элемента на 40% при увеличении его объема на 5%, снижения расхода топлива и уменьшения себестоимости на 45%.

Таблица 1. Техническая характеристика стали Quard 500

Quard 500	Твердость, НВ	Предел текучести, (МПа)	Предел прочности, (МПа)	Диапазон толщин, мм	Ширина, мм	Удлинение, А5 (%)
	470-530	1250	1600	4-20	1500-3100	8

Quard 500 относится к мартенситным износостойким сталям со средней твердостью 500 НВW. Сталь характеризуется исключительно высокой стойкостью к абразивному износу и ударным нагрузкам, обеспечивая более продолжительный срок службы.

## **ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСНОЙ АРМАТУРЫ НА ПРОЧНОСТЬ ПРИ ИЗГИБЕ ФИБРОПЕНОБЕТОНА ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ**

Вотрин Д.А.

*ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, Россия*

За последние десятилетия ячеистый материал, известный как пенобетон, приобрел статус очень признанного материала с его отличительными характеристиками, особенно в теплоизоляции. Большинство воздушных пустот в пенобетоне разьединены между собой, что уменьшает тепловой поток, ограни-

чивая движение воздуха и обеспечивая высокую термостойкость. Поэтому пенобетон применяется в конструкциях, где есть опасность огня. Добавление фибры и открытие фибропенобетона, согласно исследованиям, позволило улучшить прочностные свойства материала при средних и повышенных температурах окружающей среды.

В качестве дисперсной арматуры, как правило, используются химические волокна, которые имеют относительно высокую температуру плавления от 160 до 350°C, а также обладают стойкостью к размягчению при высоких температурах (полипропилен и др.) [1]. Плавление волокна создает больше выходов для воды из композита и приводит к улучшению в прочности бетона при изгибе из-за снижения внутренних напряжений и вероятности растрескивания. Исследования Лиу и др. показали, что плавление волокон увеличивает взаимосвязь пор, ведущих к увеличению проницаемости [2]. Высокая проницаемость улучшает работу бетона подверженного воздействию высокой температуры, с более низкой вероятностью откола или образования трещин. Добавление дисперсной арматуры 0,1-0,4% [3] от объема смеси позволило фибропенобетону противостоять высокой температуре лучше, чем пенобетон и процент улучшения напрямую связан с объемом волокон и плотностью пенобетона.

Однако, чрезмерное добавление дисперсной арматуры значительно снижает прочность на изгиб [4]. В этом случае, повышенная температура вызывает значительное снижение показателей, в следствие образования большого количества трещин из-за испарения значительного числа волокон и замены их на воздушные пустоты [3]. Поэтому, прочность на изгиб при повышенных температурах во многом зависит от рецептуры и способа приготовления смеси.

#### Библиографический список

1. Кнунянц, И.Л. Химическая энциклопедия / И.Л. Кнунянц, Н.С. Зефилов. – Т. 3. – 1989. – 458 стр.
2. Liu, X. On the mechanism of polypropylene fibres in preventing fire spalling in self-compacting and high performance cement paste / X. Liu, G. Yeb, G. De Schutter, Y. Yuana, L. Taerwe // *Journal of Cement & Concrete Research*. – Vol. 38. – 2008. – P. 487-499.
3. Md Azree Othuman Mydin, Sara Soleimanzadeh. Effect of polypropylene fiber content on flexural strength of lightweight foamed concrete at ambient and elevated temperatures. *Pelagia Research Library // Advances in Applied Science Research*. – 2012. – (5). P. 2837-2846.
4. Моргун, Л.В. Структурообразование и свойства фибропенобетонов неавтоклавного твердения: Теория и методология рецептурно-технологического регулирования / Л.В. Моргун. – 2005. – 336 с.

## КИНЕТИЧЕСКИЕ УРАВНЕНИЯ ДЕФОРМАЦИОННОЙ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Габеев Д.О.

*ТулГУ, г. Тула, Россия*

В механике деформируемого твердого тела получило распространение представление о поврежденности, как величине  $(\omega)$ , описывающей накопление дефектов в процессе деформации

$$\frac{d\omega}{dt} = \dot{\omega}(\lambda_k^{(\omega)}), \quad i = 1, 2, \dots, \quad (1)$$

где  $\dot{\omega}(\lambda_k^{(\omega)})$  – функция скорости повреждаемости  $\dot{\omega}$  от параметров  $\lambda_k^{(\omega)}$ , связанных с НДС процесса. Нормированная величина поврежденности  $\omega \in [0; 1]$ , где границы интервала соответствуют исходному состоянию материала ( $\omega = 0$ ) и моменту макроразрушения ( $\omega = 1$ ).

С моментом образования макротрещины связывается момент достижения критической величины пластического разрыхления  $\varepsilon_{ii\text{кр}}$  на макроуровне. Связь пластического разрыхления металла с процессом рассеянного образования и роста деформационных мезодефектов позволяет принять в уравнении (1) в качестве параметра  $\lambda_k^{(\omega)}$  линейный инвариант тензора деформации  $\varepsilon_{ii}$ , т.е.  $\lambda_k^{(\omega)} = \varepsilon_{ii}$ . В результате кинетическое уравнение (1) принимает следующий вид:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{\dot{\varepsilon}_{ii}}{\varepsilon_{ii\text{кр}}}, \quad (2)$$

где  $\dot{\varepsilon}_{ii}$  – скорость пластической дилатансии на макроуровне.

Согласно последним исследованиям [1, 2, 3], более обоснованной мерой деформационной повреждаемости, с позиций её физической природы, является объемная деформация мезоэлементов.

Ранее принятая модель макроэлемента со стохастическим распределением пор позволяет принять за меру повреждаемости модальную характеристику объемной деформации  $\bar{\varepsilon}_{ii}$  по отношению к N-совокупности мезоэлементов, заключенных в данном макроэлементе. Современная экспериментальная техника позволяет определять модальную характеристику  $\bar{\varepsilon}_{ii}$  для распределенных по объему деформируемого материала макроэлементов  $V_{\text{макро}}$  [1, 2, 3]. С моментом образования

макротрещины связывается момент достижения критической величины пластического разрыхления  $\bar{\varepsilon}_{ii\text{кр}}$  на мезоуровне. Принимая в уравнении (1) в качестве параметра  $\lambda_k^{(0)}$  линейный инвариант тензора деформации  $\bar{\varepsilon}_{ii}$ , т.е.  $\lambda_k^{(0)} = \bar{\varepsilon}_{ii}$ , получаем:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{\dot{\bar{\varepsilon}}_{ii}}{\bar{\varepsilon}_{ii\text{кр}}} \quad (3)$$

Кинетическое уравнение (2.49) с учетом связи  $\bar{\varepsilon}_{ii}(\Lambda)$  между пластической дилатансией  $\bar{\varepsilon}_{ii}$  и накапливаемой деформацией сдвига макроэлемента  $\Lambda$ , имеет следующий вид:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{[\bar{\varepsilon}_{ii}(\Lambda)]'N}{\bar{\varepsilon}_{ii\text{кр}}(\Lambda_{\text{пр}})}, \quad (4)$$

где  $\Lambda_{\text{пр}}$  – предельная степень деформации сдвига, соответствующая моменту разрушения; штрих означает дифференцирование по параметру  $\Lambda$ ;  $N = d\Lambda/dt$  – интенсивность скоростей деформации сдвига.

Более конкретный вид кинетического уравнения (4) (с учетом входящих в него материальных функций  $\bar{\varepsilon}_{ii}(\Lambda)$ ,  $\Lambda_{\text{пр}}(\bar{\sigma})$ ) определяется на основе системы экспериментов.

Материальная функция  $\bar{\varepsilon}_{ii}(\Lambda)$  для изучаемого материала и заданных температурно-скоростных условий деформации определяется на основе экспериментального анализа распределения дефектов деформационного происхождения и его изменения во времени процесса деформирования.

Материальная функция  $\Lambda_{\text{пр}}(\bar{\sigma})$  представляет собой известные диаграммы пластичности для разных материалов и определяется на основе разнотипных опытов (на растяжение, осадку, сдвиг и т.д.).

#### Библиографический список

1. Tutyshkin, N.D. Strain-induced damage of metals under large plastic deformation: Theoretical framework and experiments / N.D. Tutyshkin, W.H. Müller, R. Wille, M.A. Zapara // Int. J. Plasticity. – 2014. – v. 59. – P. 133–151.
2. Zapara, M.A. Constitutive equations of a tensorial model for ductile damage of metals / M.A. Zapara, N.D. Tutyshkin, W.H. Müller, R. Wille // Cont. Mech. Therm. – 2012. – v. 24. – P. 697-717.

3. Zapara, M.A. A study of ductile damage and failure of pure copper – Part II: Analysis of the deep drawing process of a cylindrical shell / M.A. Zapara, N.D. Tutyshkin, W.H. Müller, R. Wille // Technische Mechanik. – 2012. – v. 32. – P. 631-648.

### **\*МЕТОД ОЦЕНКИ ДИНАМИЧЕСКИХ ДОГРУЖЕНИЙ БАЛКИ ПРИ ВНЕЗАПНОМ ПОВРЕЖДЕНИИ ОСНОВАНИЯ**

Гордон В.А., Брума Е.В.  
*ОГУ, г. Орел, Россия*

Важной проблемой строительной механики является анализ чувствительности несущих конструкций к структурным перестройкам под нагрузкой типа внезапно выключающихся связей, трещин, частичных разрушений и т.п. Получение такой информации для реальных конструкций требует разработки специальных методов, так как данная проблема не может быть решена универсальными методами. С позиций строительной механики в этих задачах возникает необходимость расчета таких систем как конструктивно нелинейных с динамическими догружениями, вызванными внезапными запроектными воздействиями. И если проектные аварийные ситуации проанализированы и регламентированы в соответствующих нормативных документах, то запроектные ситуации не классифицированы и реакции элементов конструкций на конкретные воздействия недостаточно исследованы. Инженерные методики проектирования и расчета, учитывающие внезапные перестройки и повреждения конструктивных систем, малочисленны и далеки от совершенства. Недостаток и отсутствие знаний о деформировании и напряженном состоянии элементов конструкций в ходе динамических процессов, инициированных внезапными повреждениями, сдерживают развитие теории и методов проектирования, учитывающих возможность и потенциальные последствия запроектных воздействий и обеспечивающих высокий уровень безопасности их эксплуатации. В качестве примера работ, выполненных в обсуждаемом направлении, укажем ряд публикаций [1,2], содержащих результаты моделирования переходных динамических процессов, возникающих в нагруженных балках при внезапных обрывах опорных связей, образованиях поперечных и продольных трещин, расслоениях и отслоениях, изменении условий сопряжения частей конструкции и др. Все указанные работы выполнены применительно к свободным, то есть не поддерживаемым

сплошными основаниями, балкам. Представляет теоретический интерес и практическую важность распространение аналогичных подходов к балкам на упругих основаниях.

Балки на упругом основании, колонны, сваи, поддерживаемые по длине – широко применяемые структурные элементы, давно и детально изучаемые объекты во многих отраслях механики и строительства. Однако, несмотря на обилие книг, статей и докладов, относящихся к динамическим проблемам структурных элементов, опертых на разного рода основания, в научной литературе недостаточно исследованы случаи, когда структура оперта частично изначально либо утратила часть (или все) основания при эксплуатации. Подавляющее большинство работ по динамике взаимодействия балки и основания посвящено анализу собственных колебаний. Вынужденные колебания, вызванные различными внешними силами, рассматриваются для случаев, когда расчетная схема системы «балка-основание» в процессе нагружения не изменяется.

В настоящей работе предполагается, что статическая нагрузка прикладывается к балке, полностью поддерживаемой упругим основанием, и лишь в некоторый момент часть (или все) основание внезапно разрушается и балка приходит в движение, получая при этом дополнительные динамические догружения. Задачей исследования является построение математической модели переходных динамических процессов в нагруженной балке на упругом основании при внезапном возникновении дефекта основания – полного или частичного его разрушения.

Построена математическая модель собственных поперечных колебаний балки, частично опертой на упругое основание Винклера. Балка представляется сопряжением двух участков, один из которых полностью поддерживается основанием, другой – свободен. Спектр собственных частот балки на частично поврежденном основании определяется частотным уравнением, полученным процедурой, аналогичной применяемой в методе конечных элементов при построении матрицы жесткости конечного элемента. Далее разложением перемещений и внешней нагрузки по формам собственных колебаний поврежденной балки с коэффициентами в виде известных функций времени, используя ортогональность форм собственных колебаний и интеграл Дюамеля, удовлетворяя граничным условиям, получаем функции прогибов при вынужденных колебаниях.

### Библиографический список

1. Гордон, В.А. К анализу динамических явлений в стержнях, инициируемых внезапными структурными перестройками / В.А. Гордон // Успехи строит.тех. и теор. сооружений. Сб. научн. ст. к 75-летию В.В. Петрова. – Саратов: СГТУ, 2010. – С. 51-57.

2. Гордон, В.А. Математическое моделирование динамических процессов в стержневых системах при внезапных изменениях их структуры / В.А. Гордон, В.И. Брусова, Э.А. Кравцова, Т.В. Потураева // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2010. № 5 (283), – С. 3-9.

\*Работа выполнена в рамках госзаказа НИР №283.

## **МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РАСЧЁТУ ОБЪЁМА ЗАПАСОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ НА БАЗАХ ХРАНЕНИЯ, ГАРАНТИРУЮЩИЙ НАДЕЖНОСТЬ ПОКРЫТИЯ ВОЗНИКАЮЩЕЙ ПОТРЕБНОСТИ**

Горюхов В.А.

*НИЦ СТ ЖДВ Минобороны, г. Москва, Россия*

Методика расчёта запасов для технического прикрытия объектов инфраструктуры железных дорог должна учитывать целый ряд особенностей, вытекающих из условий строительства и восстановления в военное время или периода чрезвычайных ситуаций. В связи с этим предложен методический подход к решению задачи управления запасами, включающий также уже имеющиеся разработки по данной проблеме.

Проведение мероприятий по техническому прикрытию объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта характеризуется расходом большого количества строительных материалов и конструкций (далее СМиК). Заготовить и уложить в дело эти материалы и конструкции в ограниченные сроки, диктуемые военным временем, во многих случаях не представляется возможным. Методика расчёта рационального объёма запасов СМиК на материальных базах обеспечения восстановительных работ разработана исходя из условий вероятностного спроса. Значительная неопределённость в ожидаемых объёмах и характере разрушения объектов, количества этих объектов, условий доставки потребного количества материальных средств к местам восстановления обуславливает необходимость таких методических подходов, которые с удовлетворительной точностью обеспечивали бы принятие решений по снабжению СМиК. Поэтому в предлагаемой методике использованы

статистические и вероятностные подходы. В методике выделяются два основных этапа решения:

определение вероятности разрушения объектов технического прикрытия региона;

рациональный размер запаса на материальной базе, при заданном уровне покрытия в потребности СМиК.

На первом этапе была определена вероятность разрушения объекта технического прикрытия, то есть вероятности возникновения потребности в материалах ( $P_j$ ).

Методика предусматривала использование суждений экспертов. Были опрошены 36 специалистов в области управления запасами, организации и производства восстановительных работ на объектах инфраструктуры железных дорог. Результаты анализа были подвергнуты статистическому анализу, который и позволил решить задачу первого этапа – определить вероятность разрушения объектов технического прикрытия.

На втором этапе – определялся размер запаса на материальной базе, к которой прикреплены объекты технического прикрытия инфраструктуры железнодорожного транспорта. Методикой решения использовалась зависимость между вероятностью разрушения объектов прикрытия и размером необходимого запаса для покрытия возникающей потребности.

Постановка указанной задачи возникает в связи с тем, что хранение на базах стопроцентного запаса для всех потребителей неэкономично: при вероятностном спросе такое положение приводит к омертвлению материальных средств и увеличению накладных расходов. В то же время необходимо учитывать, что размер запасов на базе хранения должен гарантировать определённую надёжность покрытия возникающей потребности.

Исходя из этих условий, была сформулирована целевая функция задачи.

Задано определённое число объектов потребления ( $i \dots j \dots n$ ) с соответствующей вероятностью возникновения потребности в материале данного вида

( $p_i \dots p_j \dots p_n$ ). Необходимо определить минимальный размер запаса материала  $min$ , обеспечивающий заданную надёжность в покрытии потребности  $U_{зад}$ .

Для установления зависимости  $U=f(R)$  использовали свойство биномиального распределения появления событий при независимых испытаниях. В этом случае требуется проводить такие испытания, в каждом из которых присутствовала бы одна и та же вероятность возникновения в потребности материалов на объекте ( $P_j$ ).

Вероятность того, что при  $n$  (количество объектов, не вошедших в расчёт) независимых испытаний событие повторится  $m$  (количество объектов, вошедших в расчёт) раз, по теореме сложения будет:

$$P_{m,n} = \frac{n!}{m!(n-m)!} P^m q^{n-m}, \quad (1)$$

где  $q = 1-p$ , то есть соответствует числу, содержащему  $P^m$  в разложении бинома  $(q + p)^n$ .

В решаемой задаче значениями  $P$  определяется вероятность потребности в материальных средствах при соответствующем уровне запаса  $R$ . При расчётах по формуле теоремы сложения

$$\sum_{m=0}^R P_{m,n} = U_R, \quad (2)$$

Значения  $U$  вычисляли последовательно:

$$U_1 \text{ при } R = 1; U_2 \text{ при } R = 2; \dots; U_n \text{ при } R = n.$$

Изложенную методику решения использовали для практических расчётов.

Основным достоинством данного подхода к решению является то, что в условиях вероятностного спроса при малых приращениях по  $U$ , вблизи единицы, приращения по  $R$  существенно больше. Это позволяет при сравнительно небольших послаблениях в требовании к надёжности добиться большего выигрыша в сокращении размера запасов материальных средств. Вполне приемлемыми будут также количественные показатели соотношения риска при снижении надёжности и экономических затрат на производство и хранение материальных средств.

## **ВЛИЯНИЕ МОДЕЛИ ПЕРЕДАЧИ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ОТ КОЛЕСА АВТОМОБИЛЯ НА КОЛЕБАНИЯ УПРУГО ОПЕРТЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ МОСТОВ**

Гриднев С.Ю., Терновых Е.В.  
ВГАСУ, г. Воронеж, Россия

В работе [1] предложена модель передачи динамического воздействия от колеса автомобиля на проезжую часть пролетного строения

автодорожного моста. Использование такой модели позволяет обеспечить плавную передачу нагрузки на проезжую часть упруго опертого сталежелезобетонного пролетного строения при въезде и съезде автомобиля на мост при моделировании совместных колебаний. При этом общепринятое допущение о точечном контакте оси автомобиля с проезжей частью в расчетной схеме сохраняется на других участках движения по мосту. Такой подход позволяет получать результаты, адекватно описывающие реальные колебательные процессы, при выполнении вычислительных экспериментов без локального измельчения шага интегрирования и организации итерационных процедур уточнения численных решений дифференциальных уравнений.

При выполнении численных исследований по динамике балочных пролетных строений мостовых сооружений общепринятым является допущение о точечном контакте упругих связей, моделирующих работу колеса автомобиля, с опорной поверхностью. Однако, при динамических граничных условиях, описывающих упругое опирание балки, применение такого подхода приводит к искажению характера колебаний вследствие мгновенного приложения (при въезде колеса) или снятия (при съезде) нагрузки. В реальности нагружение или разгрузка балки, а, следовательно, и деформирование упругой опоры в моменты въезда или съезда происходят в течение некоторого промежутка времени  $\Delta t$ , равного отношению длины площадки контакта колеса к скорости автомобиля. При этом значение передаваемого усилия от колеса внутри  $\Delta t$  изменяется от 0 до  $R$  пропорционально фактической длине зоны взаимодействия колеса и балки, т.е. нагрузка увеличивается или уменьшается плавно.

В приближенной к реальной модели контакта усилие в упругой связи ( $R$ ) передаётся по некоторой площадке. Действие колеса на опорную поверхность при таком подходе заменяется равномерно распределенной нагрузкой интенсивностью  $q = \frac{R}{\ell_k}$ , где  $\ell_k$  – длина зоны контакта [2]. Такой подход позволяет обеспечить плавность возрастания или уменьшения фактической нагрузки, приложенной к балке в момент наезда или съезда колеса.

В работе выполнено сравнение численных значений прогибов сечений балки для двух моделей контакта упругих связей, а также разработана программа расчета совместных колебаний пролетного строения и

подвижной нагрузки (автомобиля) с возможностью выбора способа передачи усилия от колеса на балку.

В качестве модели пролетного строения рассматривалась простая статически определимая балка с постоянной по длине массой и жесткостью с упруго опорой на одном из концов: на левом – для исследования колебаний при въезде автомобиля на пролетное строение, на правом – при съезде. В качестве математической модели такой балки использовано уравнение поперечных колебаний без учета сил сопротивления [3, 4].

Упругое опирание реализуется в математической модели введением динамического граничного условия на соответствующем торце в виде  $RY(x_0) = C_p \cdot v(x_0)$ , где  $C_p$  – жесткость упругой опоры,  $v(x_0)$  – прогиб сечения  $x_0$ ,  $RY(x_0)$  – опорная реакция, равная поперечной силе  $Q(x_0)$ , взятой с соответствующим знаком. Последнюю получим, дифференцируя приближенное уравнение оси изогнутой балки [5].

Для определения воздействия динамической нагрузки на балку пролетного строения (усилий в шинах транспортного средства) использована динамическая пространственная модель трехосного автомобиля, движущегося с постоянной скоростью [6]. Колебания такой модели происходят вследствие внешних кинематических возмущений от неровностей проезжей части и прогибов пролетного строения. Математическая модель колебаний автомобиля представлена системой обыкновенных дифференциальных уравнений (СОДУ) динамического равновесия относительно её степеней свободы.

Алгоритм, положенный в основу программы расчета совместных колебаний балки и нагрузки для исследования влияния модели передачи нагрузки, базируется на последовательном решении СОДУ колебаний автомобиля и совокупности ОДУ для временных коэффициентов алгоритма Бубнова-Галеркина для балочной системы с помощью численного интегрирования уравнений методом Рунге-Кутты 4-5 порядка. Функции собственных форм  $Y_k(x)$  определяются символично для определения прогибов балки в произвольном сечении балки.

Программа позволяет менять различные параметры исследуемой динамической системы: массу, геометрию автомобиля, свойства подвески, скорость, направление движения, характеристики балки, её граничные условия, модель контакта колеса с покрытием.

Выполнено сравнение результатов расчета прогибов для двух моделей опирания колеса на проезжую часть при въезде на упруго-опертое конец пролетного строения и съезде с него двух типов автомобилей.

**Выводы.** Анализ полученных графиков показал, что модель контакта колеса с опорной поверхностью существенно влияет на характер результатов численных исследований колебаний балки с динамическими граничными условиями. Использование допущения о «точечном опирании» по всей длине пролетного строения дает завышенные прогибы сечений по сравнению с приближенной к реальности модели, когда передача усилия от колеса осуществляется с учётом пятна контакта.

#### Библиографический список

1. Гриднев, С.Ю. Применение допущения о точечном контакте шины автомобиля при моделировании колебаний мостов с динамическими граничными условиями / С.Ю. Гриднев, Е.В. Терновых // Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики. Сборник трудов международной конференции. – Ч.2 – Воронеж, 26-28 ноября 2012. – С. 91-97.

2. Работа автомобильной шины / под ред. В. И. Кнороза. – М.: Транспорт, 1976. – 238с.

Киселев, В.А. Строительная механика: спец. Курс. Динамика и устойчивость сооружений / В.А. Киселев. – М.: Стройиздат, 1980. – 616 с.

4. Бабков, В.Ф. Проектирование автомобильных дорог / В.Ф. Бабков, О.В. Андреев, М.С. Замахаев. – М.: Транспорт, 1970. – 400 с.

5. Александров, А.В. Соппротивление материалов: Учеб. для вузов / А.В. Александров, В.Д. Потапов, Б.П. Державин. – М.: Высш. шк., 2003. – 560 с.

6. Барченков, А.Г. Динамический расчёт автодорожных мостов / А.Г. Барченков. – М.: Транспорт, 1976. – 199 с.

### **ДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ БАЛОЧНОЙ СИСТЕМЫ, УПРУГО ОПЕРТОЙ ОДНИМ КОНЦОМ**

Гриднев С.Ю., Терновых Е.В.  
*ВГАСУ, г. Воронеж, Россия*

Большинство транспортных сооружений для пропуска разнообразной подвижной нагрузки представляют собой сложные динамические колебательные системы с распределенными параметрами [1]. Для оценки надежности и несущей способности таких инженерных сооружений, находящихся под действием нестационарных динамических воздействий, используются различные расчетные схемы и современные методы расчета. Оценить НДС такой конструкции с достаточной для

инженерной практики точностью можно используя простоту методов расчета в классической постановке. При моделировании поведения транспортных сооружений при подвижной нагрузке в качестве расчетной схемы в ряде случаев используется балка, упруго опертая одним концом и шарнирно другим. Примером могут являться сталежелезобетонные или балочные пролетные строения на резинометаллических опорных частях, когда одна из опор является дефектной и утратила свои упругие свойства или, когда неподвижная опорная часть металлическая, а подвижная РМОЧ. В практике мостостроения при реконструкции отмечены случаи принятия проектных решений, когда у сталежелезобетонного пролетного строения на жестких опорах на одной опоре тангенциальные подвижные опоры заменяют резинометаллическими. Для описания колебаний, упруго опертых одним концом балок при динамической нагрузке, прежде всего, необходимо определить ее динамические параметры – частоты и формы свободных колебаний.

Исследования выполнялись с целью оценки изменения динамических параметров упруго опертой одним концом балки по сравнению с шарнирно опертой. В дальнейшем, они использованы при расчете вынужденных колебаний транспортных сооружений.

В качестве модели пролетного строения использовалась простая однопролетная балка с упругой опорой на одном из концов и постоянными по длине массой и изгибной жесткостью. Упругое опирание реализовано в математической модели введением динамического граничного условия на соответствующем конце балки в виде:

$$R_Y(x_0) = C_p \cdot v(x_0), \quad (1)$$

где  $C_p$  – жесткость упругой опоры,  $v(x_0)$  – перемещение сечения над упругой опорой  $x_0$ ,  $R_Y(x_0)$  – опорная реакция, равная поперечной силе

Для определения динамических параметров формируется трансцендентное уравнение, вычисляются его корни, определяются частоты свободных колебаний, ординаты нормированных форм [2]. Предусмотрена возможность исследования влияния жесткости упругих связей на частоты и формы свободных колебаний в заданном интервале с различным шагом.

Созданная на базе такого алгоритма вычислительная программа позволяет определять частоты и собственные формы динамической системы различной геометрии и параметров, а также подключать модуль

изменения граничных условий. С использованием разработанной программы выполнено исследование зависимости спектров частот и форм свободных колебаний от соотношения изгибной жесткости упруго опертой правым концом балки к вертикальной жесткости упругой связи. Для иллюстрации на рис. 1 для балки длиной 42,5 м показаны изменения 1-ой и 2-ой форм свободных колебаний в зависимости от соотношения собственной изгибной жесткости упруго опертой правым концом балки к вертикальной жесткости упругой связи. Отчетливо виден предельный переход к собственным формам шарнирной балки при значительном увеличении жесткости упругой связи.

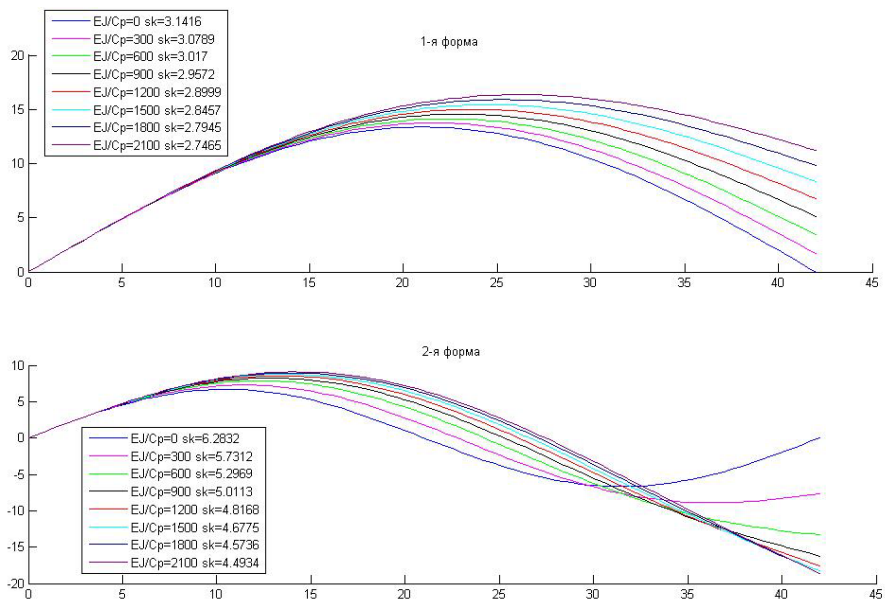


Рис. 1. Изменение собственных форм

в зависимости от отношения жесткостей балки и опорной части

**Выводы.** Анализ полученных результатов показал, что учет упругих свойств опорной части существенно влияет на динамические параметры балки с динамическими граничными условиями на одном конце.

#### Библиографический список

1. Гриднев, С.Ю. Применение допущения о точечном контакте шины автомобиля при моделировании колебаний мостов с динамиче-

скими граничными условиями / С.Ю. Гриднев, Е.В. Терновых // Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики. Сборник трудов международной конференции. – Ч.2 – Воронеж, 26-28 ноября 2012. – С. 91-97.

2. Бабаков, И.М. Теория колебаний: учеб. пособие / И.М. Бабаков. – М.: Дрофа, 2004 – 591 с.

## **РАСЧЁТ СВОБОДНО ОПЁРТОЙ СФЕРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ НА ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ С УЧЁТОМ НЕЛИНЕЙНОСТИ МАТЕРИАЛА ПРИ МАЛЫХ ПРОГИБАХ**

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

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

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

Проводилось сравнение решений с учётом существенно нелинейной разносопротивляемости, квазилинейной разносопротивляемости Н.М. Матченко и А.А. Трещёва, классической линейной термоупругости. Дополнительно оценивались эффекты термомеханической связанности, а также расчёта по деформируемой схеме. Величина максимальных прогибов не превосходила 10% толщины оболочки.

На основании анализа НДС свободно опёртой оболочки можно сделать вывод, что рассмотренная модель нелинейной разносопротивляемости позволяет существенно уточнить решение задачи в классической

постановке. Поправки в величины нормальных напряжений колеблется в пределах от 18% до 23%. Различия между нелинейной разнсопротивляемостью и квазилинейной разнсопротивляемостью Н.М. Матченко и А.А. Трещёва [1] не превосходят 5%. Влияние эффекта связанности полей напряжений и температур достигает 16% в первые секунды нагружения конструкции. В отличие от задач с жёстким закреплением, для свободно опертой оболочки влияние расчёта по деформируемой схеме практически не проявляется и составляет менее 2% при сравнении нормальных напряжений на поверхностях сферической оболочки.

#### Библиографический список

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

### **К ВОПРОСАМ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Деревякина В.Ю., Ерофеев А.В.

*ТГТУ, г. Тамбов, Россия*

Долговечность – свойство объекта сохранять при установленной системе технического обслуживания и ремонтов работоспособность до наступления предельного состояния (отказа), после которого дальнейшая его эксплуатация невозможна или экономически нецелесообразна. Под предельным состоянием (отказом), понимается состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация в текущем положении должна быть прекращена из-за неустранимого нарушения работоспособности объекта [1].

В настоящее время долговечность строительных материалов прогнозируется с позиции термофлуктуационной концепции разрушения и деформирования твердых тел. Согласно кинетической термофлуктуационной теории, разработанной школой С.Н. Журкова, отказ полимерной конструкции происходит из-за разрушения химических связей полимера, которое вызывается совместным действием энергии теплового движения атомов и работы внешней силы. Разрыв связей, ослабленных действием внешней нагрузки, происходит благодаря флуктуации кинетической энергии, возникающей при тепловом колебании атомов.

Исследованиями долговечности теплоизоляционных материалов в различных температурно-влажностных условиях в разные годы занимались такие ученые, как К.А. Андрианов [2], П.В. Монастырев, В.П. Ярцев и др. Большинство исследователей рассматривали старение теплоизоляционных материалов под нагрузкой, принимая за критерий выхода их из строя достижение критического напряжения. Однако существуют материалы, для которых прочностная характеристика не является показательной. К таким относятся теплоизоляционные материалы, так как они в составе многослойной ограждающей конструкции не испытывают значительных механических нагрузок, кроме нагрузки от действия собственного веса, которую нельзя считать достаточной величиной нагружения. Следовательно, для утеплителей критерием долговечности будет являться потеря ими теплоизоляционных качеств.

Таким образом, под долговечностью наружных ограждающих конструкций с утеплителем следует понимать срок их службы с сохранением в требуемых пределах эксплуатационных (теплозащитных) характеристик в данных климатических условиях при заданном режиме эксплуатации зданий.

С принятием закона № 261 (ФЗ «Об энергосбережении») в 2009 году стало уделяться внимание оценке долговечности наружных стен по критерию их теплозащиты. В работах С.В. Александровского, Ф.В. Ли, С.В. Коканина, Н.С. Гурьянова [3] при определении срока службы ограждающих конструкций за критерий теплозащиты принимается снижение проектной величины сопротивления теплопередаче на 5-30%. Однако эта величина является субъективным решением проектировщика. Следовательно, критерий теплозащиты нуждается в уточнении.

В настоящее время отсутствует надежная методика прогнозирования долговечности теплоизоляционных материалов, однако существует ряд работ, в которых сделаны попытки решить эту проблему.

#### Библиографический список

1. Александровский, С.В. Долговечность наружных ограждающих конструкций / С.В. Александровский. – М., 2004. – 332 с.
2. Андрианов, К.А. Прогнозирование долговечности (работоспособности) пенополистирола в ограждающих конструкциях зданий / К.А.

Андрианов // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.23.05. – Пенза. – 2002.

3. Коканин, С.В. Исследование долговечности теплоизоляционных материалов на основе пенополистирола / С.В. Коканин // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.23.05. – Иваново. – 2011.

## **СРАВНЕНИЕ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ РАСЧЕТА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

Дягилев Н.А., Черных В.К., Раткин В.В.  
*СГТУ, г. Саратов, Россия*

Существует ряд программных комплексов, которые в работе проектировщика играют ключевую роль. В первую очередь, это, конечно, универсальная программа инженерной графики – AutoCAD.

Что касается расчетов, то здесь существует целый ряд программ и программных комплексов, основанных на МКЭ – математическом методе конечных элементов. От самых простеньких бесплатных программ, выполняющих небольшие расчеты балок на двух опорах и построения эпюр, до сложных в освоении и дорогих программных комплексов, с помощью которых рассчитываются грандиозные сооружения (такие, как, например, олимпийские объекты).

Было рассмотрено три программы: SCAD, Ansys и ПК «Ли́ра». Выбрать из них лучшую не так-то просто, поскольку все они обладают каким-то преимуществом над другими программами, и всё-таки выбор ближе всего в пользу ПК «Ли́ра». Преимущество «Ли́ры» заключается в скорости работы и в более удобном интерфейсе, что даёт ей большой плюс для тех, кто первый раз садится за работу в этой программе. В защиту Scad можно сказать, что программа может выполнить за вас большой объём вычислительной работы. К тому же программы Scad и Ли́ра являются отечественными, имеют в своих базах данных российские сортаменты и поэтому наиболее активно используются в проектной деятельности и для расчетов общинженерных и также транспортных сооружений.

В целом рассмотренные программы имеют один общий недостаток: дороговизна. Крупные организации могут себе позволить приобретать данные программы, в то время как малые предприятия подобной «роскоши» себе позволить не могут. Данное обстоятельство несколько притормаживает проектную деятельность и несет в себе такие недостатки,

как вынужденное использование проектировщиками нелегальных копий программ, либо демоверсий, что может исказить результат расчетов. Также учебные и научные заведения подчас не могут приобрести нужное количество данных программ, что также отрицательно сказывается на воспитании budding специалистов.

Другой недостаток относится к расчетным комплексам: все они основаны на методе конечных элементов. Данный метод очень популярен, но он не является единственным в вопросах расчета конструкций. Также многие ученые критикуют его. Использование других методов в основе программ позволило бы производить проверку расчетов, а также иметь более полное представление в каком-то конкретном вопросе.

Еще один недостаток: адаптация к российским нормам. Заложенные сортаменты подчас не подходят к отечественному строительству, имеются расхождения, которые впоследствии могут сказаться на расчете.

Анализируя все эти вопросы, можно прийти к выводу, что большое изобилие программ и их возможностей не является конечным результатом, и вопрос, связанный с САПР остается до сих пор открытым и актуальным на сегодняшний день.

## **МЕТОДИКА УСТАНОВЛЕНИЯ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ РЕАЛЬНОЙ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТЬЮ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Ерофеев А.В., Павлов М.В.  
*ТГТУ, г. Тамбов, Россия*

К настоящему времени разработано несколько методик прогнозирования долговечности строительных материалов и конструкций, каждая из которых базируется на положениях различных научных теорий. Надежность такого прогноза зависит от достоверности принятых теоретических предпосылок и обоснованности принятых допущений. Поэтому возникает необходимость установления корреляционной зависимости между реальной долговечностью строительных конструкций и теоретическими долговечностями, определенными по разным расчетным методикам.

Установление такой зависимости предлагается выполнить для железобетонных, каменных и деревянных конструкций, эксплуатируемых с середины 70-х гг. XX века, для которых возможно установление тем или иным надежным способом реальной несущей способности, по следующей методике:

1. Рассмотрение существующих методик прогнозирования работоспособности строительных конструкций, с целью выявления научных основ прогнозирования сроков службы строительных конструкций.

2. Расчет на базе рассмотренных методик прогнозирования работоспособности строительных конструкций их теоретической долговечности.

3. На основе архивных данных или сравнительной характеристики аналогичных конструкций, работающих в различных условиях, определение начальной несущей способности, обследуемых в дальнейшем, строительных конструкций.

4. Выбор и обоснование методов обследования строительных конструкций.

5. Проведение ряда натурных испытаний конструкций, эксплуатируемых с середины 70-х гг. прошлого столетия, с целью выявления их остаточной несущей способности.

6. На основе, полученных в ходе обследования конструкций, данных об их остаточной несущей способности сделать вывод об остаточной долговечности таких конструкций.

7. Проведение сравнительного анализа полученных теоретических и реальных сроков службы строительных конструкций, с целью определения процента погрешности и причины появления этой погрешности.

8. С целью минимизации определенных погрешностей, предложение рекомендаций по возможности учета реальной работы конструкции, при определении ее сроков службы.

Установленные зависимости позволят выявить значимые факторы, влияющие на работоспособность, в том числе и долговечность, строительных конструкций, что в свою очередь позволит с одной стороны выявить из существующих наиболее надежную методику прогнозирования, а с другой стороны дать толчок к развитию научных основ различных теорий прогнозирования.

## **СОСТАВ БЕТОННОЙ СМЕСИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ДЛЯ ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

Жаров П.В., Рябов Г.Г.  
*ТулГУ, г. Тула, Россия*

Одной из актуальных проблем, связанных с развитием современного строительства, является проблема рационального применения отходов

предприятий в производстве товарного бетона. Используя основные отходы, преобладающие на металлургических и машиностроительных предприятиях Тульской области, был разработан и испытан в лабораторных условиях состав бетона, применение которого возможно при устройстве дорожных покрытий.

Бетонная смесь для дорог должна иметь качественно подобранный зерновой состав с достаточным количеством песка и растворной части, хорошую удобоукладываемость, обеспечивающую получение ровной и замкнутой поверхности покрытия при принятой подвижности, высокую воздухоудерживающую способность.

Целью проводимых исследований является разработка состава бетонной смеси, применение которой возможно в дорожном строительстве на основе введения в состав жидкого углеводородного модификатора с предусмотрением утилизации отходов производств, расположенных на территории Тульской области.

Ранее было установлено, что применение в составе бетона гранулированного шлака, близкого по химическому составу к колошниковой пыли положительно влияет на прочностные показатели бетона и оказывает положительное воздействие на устойчивость к агрессивным средам.

Вещественный состав предложенной бетонной смеси следующий: некондиционный цемент М150-М200, кварцевый песок, вода, ферромарганцевая колошниковая пыль и раствор отработанной графитовой смазки. Последний выступает в качестве жидкого модификатора на основе углеводородных соединений.

При изучении влияния добавок (ферромарганцевой колошниковой пыли и раствора отработанной графитовой смазки) установлено, что характер их взаимодействия определяется химическими и физическими процессами.

Максимальные прочностные показатели испытанных образцов в возрасте 28 суток составляют 27,8 МПа по прочности на сжатие что соответствует ближайшей марке бетона М250 (класс В20).

Экономическая эффективность подтверждена расчётами по себестоимости продукции и показывает целесообразность данной работы.

## РАСЧЕТ ВЗРЫВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПЛОСКУЮ ЖЕЛЕЗОБЕТОННУЮ ПРЕГРАДУ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Журавлёв Г.М. Куриен Н.С.

*ТулГУ, г. Тула, Россия*

Проблема определения взрывного воздействия на несущие строительные конструкции является сложной и актуальной. Сложность заключается в том, что требуется определить не только напряжения и деформации, возникающие в преграде, но также рассчитать условия взрывостойкости и гарантированного разрушения, что требует использования многочисленных опытных данных.

Однако, данная проблема не нова. На сегодняшний день существует множество различных теорий, позволяющих с достаточной точностью определять условия взрывостойкости и гарантированного разрушения несущих конструкций. Для решения поставленной задачи мной выбран энергетический метод Т.М. Саламахина [1], который впоследствии развивал Г.Т. Володин [2]. Данный подход к решению задач взрывостойкой имеет большую экспериментальную базу, подтверждающую точность решений.

Основная идея энергетического метода заключается в том, что кинетическая энергия, получаемая преградой в момент взрыва, приравнивается к энергии, потраченной на работу упругих деформаций. Для упрощения решения задачи используются следующие гипотезы:

- 1) Взрывное воздействие возникает от сосредоточенного заряда конденсированного взрывчатого вещества.
- 2) Взрыв происходит в воздухе.
- 3) Взрыв происходит в ближней области, то есть воздействие на преграду происходит непосредственно продуктами взрыва.
- 4) Предполагается, что пластина шарнирно опирается по всему контуру.
- 5) Пластина имеет постоянную толщину.
- 6) Материал пластины работает упруго, а деформации принимаются малыми.
- 7) Работа взрывной нагрузки равна работе деформирования пластины.
- 8) Разрушение пластины происходит во время первого амплитудного колебания.

Для решения поставленной задачи записывается некоторый функционал, представляющий собой разность мощностей внутренних и внешних сил, действующих на систему. Составляющие этого функционала характеризуют состояние деформируемой среды, он минимизируется с использованием многошагового процесса.

#### Библиографический список

1. Саламахин, Т.М. Разрушение взрывом элементов конструкций / Т.М. Саламахин. –М.: ВИА, 1961. – 275 с.
2. Володин, Г.Т. Действие взрыва зарядов конденсированных ВВ в газовой и жидких средах. Ч. II. Взрывостойкость и гарантированное разрушение элементов конструкций / Г.Т. Володин. –Тула: Левша, 2005. – 160 с.

### **ВЫВОД СИСТЕМЫ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ДЛЯ ОРТОТРОПНЫХ КОЛЬЦЕВЫХ И КРУГЛЫХ ПЛАСТИН СРЕДНЕЙ ТОЛЩИНЫ ИЗ НЕЛИНЕЙНЫХ РАЗНОСОПРОТИВЛЯЮЩИХСЯ МАТЕРИАЛОВ ПРИ МАЛЫХ ПРОГИБАХ**

Журин Е.А.  
*ТулГУ, г. Тула, Россия*

В данной работе представлен вывод системы нелинейных дифференциальных разрешающих уравнений для осесимметричного деформирования круглых и кольцевых пластин из ортотропного разносопротивляющегося материала.

Уравнения базировались на нелинейных соотношениях для ортотропных материалов механические характеристики, которых зависят от вида напряжённо-деформированного состояния [1]. Пластины принимались однослойными кольцевыми и круглыми с учетом средней толщины. Функции определяющих соотношений были определены из простейших экспериментов с помощью программы Microcal Origin 6.0 (Microcal Software Inc.) [1].

Для облегчения решаемой задачи применялись технические гипотезы С.П. Тимошенко, представленные в работе [2], которые выглядят следующим образом:

1) Перемещения  $w$ , нормальные к срединной плоскости, не зависят от координаты  $z$  ( $e_z = 0$ ).

2) Нормаль к срединной плоскости после деформирования поворачивается на угол  $\psi_r$  относительно оси  $r$  и на угол  $\psi_\theta$  относительно оси  $\theta$ .

3) При определении параметров напряжённо-деформированного состояния не учитывается нормальное напряжение  $\sigma_z$ .

#### Библиографический список

1. Трещёв, А.А. Определяющие соотношения для ортотропных нелинейно-упругих разнсопротивляющихся материалов / А.А. Трещёв, Д.А. Ромашин // Российская академия архитектуры и строительных наук / Вестник центрального регионального отделения «Выпуск 10». – Воронеж: Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, 2011. – с. 135-141.

2. Трещёв, А.А. Анизотропные пластины и оболочки из разнсопротивляющихся материалов: монография / А.А. Трещёв. – М.; РААСН; ТулГУ, 2007. – 160 с.

### **О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПВХ-МЕМБРАН В КОНСТРУКЦИЯХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ**

Загородникова М.А., Ярцев В.П.

*ТГТУ, г. Тамбов, Россия*

С целью установления характера влияния химических веществ, являющихся компонентами отходов животноводства, на работоспособность ПВХ-мембран был проведен ряд лабораторных исследований физико-механических и теплофизических свойств различных видов ПВХ-мембран ПЛАСТФОИЛ® и ЭКСТРАРУФ®.

Образцы мембран в течение 2-х месяцев замачивались в растворах, содержащих в высокой концентрации основные компоненты навоза (фосфор, калий и азот), что позволило проводить ускоренные испытания химической стойкости материала. Также проводились натурные испытания, где в качестве агрессивной среды был использован свежий свиной навоз, разведенный в воде в пропорции 1:2.

Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы:

1. Выдерживание образцов в химических растворах неорганических удобрений не выявило существенного увеличения массы насыщенных образцов по сравнению с сухими, что характеризует низкое водопоглощение материалов, влагонепроницаемость, а также высокую химическую стойкость.

2. Результаты кратковременных испытаний на срез показали, что снижение прочности ПВХ-мембран при выдерживании их в агрессивных средах не происходит. Процесс упрочнения связан с повышением жесткости за счет ориентационных явлений в структуре полимера. Значение прочности после 60 суток натуральных испытаний остается выше, чем первоначальное.

3. Дилатометрические испытания показали, что под влиянием агрессивных сред значительных изменений в структуре материала не происходит. Из чего следует, что агрессивные среды не влияют на структуру поливинилхлорида и не способствуют химической деструкции материала.

4. По результатам длительных испытаний установлено, что для всех исследуемых ПВХ-мембран воздействие агрессивной среды в течение 60 суток не привело к снижению прочности и долговечности материала.

Таким образом, полученные результаты позволяют утверждать, что ПВХ-мембраны ПЛАСТФОИЛ® и ЭКСТРАРУФ® имеют достаточную химическую стойкость к веществам, содержащимся в отходах животноводства, и могут применяться в конструкциях животноводческого комплекса. При этом прогнозируемые сроки эксплуатации в зависимости от состава мембран составляют от 12 до 35 лет.

## **ВЛИЯНИЕ НАНОДОБАВОК НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БИТУМА**

Зимнухов А.Н., Ярцев В.П., Плужникова Т.М.  
*ТГТУ, г. Тамбов, Россия*

В строительный битум марки БН 70/30 и дорожный битум марки БНД 60/90 в расплавленном состоянии вводили углеродные наночастицы "Таунит" в количестве 0,001, 0,01 и 0,1 масс.%. Для определения физико-механических характеристик полученные материалы испытывали на стандартном оборудовании: пенетрометре, дуктилометре, приборе "Кольцо-шар", а также на специально разработанной авторами установке одноосного растяжения. Для нагрева образцов использовали тепловую пушку.

Результаты испытаний на пенетрометре показали, что при введении 0,001% Таунита битум становится наиболее пластичным (игла пенетрометра полностью проходит сквозь образец), а при добавлении 0,1% – хрупким (образец раскололся при введении иглы).

Испытания на растяжимость битума проводили на дуктилометре. Из полученных результатов видно, что при введении 0,1% Таунита растяжимость падает на 10%, а при введении 0,01% увеличивается на 15%.

Температура размягчения по КиШ традиционно считается одной из обязательных характеристик битума. Результаты показали, что температура размягчения битума не зависит от концентрации наночастиц.

Для определения прочности битума при одноосном растяжении использовали специальную установку. Из полученных результатов видно, что при содержании 0,001% Таунита прочность при одноосном растяжении увеличилась на 50%.

Таким образом, результаты проведенных испытаний показали, что оптимальной концентрацией нанодобавок является 0,001 масс.% Таунита, что и приведет к минимальным затратам с экономической точки зрения.

### **УСЛОВИЕ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА В35 ПРИ ДВУХОСНОМ СЖАТИИ**

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

Прочность бетона в сложном напряженном состоянии экспериментально мало изучена, эти данные необходимы при проектировании железобетонных конструкций. Учет действительной прочности бетона позволяет снизить материалоемкость и повысить надежность конструкций. Проведение таких экспериментов связано с трудностями постановки опытов, известные результаты исследований не дают определенной ясности и необходимых данных.

Предложено предельное условие прочности бетона в виде пятипараметрической поверхности второго порядка:

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

где  $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$  – главные напряжения;  $R_b, R_{bt}$  – нормируемые для каждого класса бетона;  $R_b$  – сопротивление бетона осевому сжатию (призменная 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 определяемые параметры.

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

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

Экспериментальная проверка и определение параметра  $A_{23}$  при двухосном сжатии мелкозернистого бетона В35 проведена на бетонных плитках. Двухосное сжатие осуществлялось с использованием пятитонного пресса и универсальной машины ГМС-20. На основании опытов параметр  $A_{23}$  для бетона В35 предложено 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 ( $\sigma_1; \sigma_3 = \sigma_2 = -R_{2b}$ ).

В ряде исследований прочности тяжелого бетона с крупным заполнителем

$$R_{2b} = (1+1,4)R_b. \quad (4)$$

Условие (1), когда  $A_{12} = A_{23} = A_{31}$ , получим двухпараметрическое 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  $R_{2b} \approx 1,4 R_b$ .

Двухосное сжатие (2) с учетом экспериментов бетона В35 можно принять  $R_b \approx R_{2b}$ , тогда условие (3) будет в виде  $A_{23} = -\frac{R_{bt}}{R_b}$ , а условие (2) получим как

$$\sigma_3^2 + \sigma_2^2 - 0,09\sigma_2\sigma_3 + 28,94(\sigma_3 + \sigma_2) = 84,06. \quad (6)$$

Условие (2) бетона В35 имеет простой аналитический вид (6) и хорошее совпадение с опытами на тонких плитках из мелкозернистого бетона В35 при двухосном сжатии.

## **НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ОРГАНИЗАЦИИ ОБСЛЕДОВАНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

*Зобкова Н.В., Кожанова Н.В.  
СГТУ, г. Саратов, Россия*

При эксплуатации зданий и сооружений особое значение имеют своевременный контроль их технического состояния, проверка исправности строительных конструкций, а также частей зданий.

Таким образом, задачей обследования является установление технического состояния здания в целом или отдельных его частей. Обследование строительных конструкций осуществляется на основе задания и включает в себя следующие этапы:

- предварительный визуальный осмотр с целью ознакомления с объектом исследования, выявления возможных аварийных участков;
- составление программы обследования с обязательными мероприятиями по технике безопасности при проведении работ;
- изучение всей технической документации по объекту;
- изучение условий эксплуатации, технологии производства;
- выполнение геологических и гидрогеологических исследований, позволяющие оценить состояние грунтов основания, глубину заложения фундамента, а также конструктивное решение фундамента;
- выполнение геодезических работ по определению положения здания и его частей (отметки, крены и т.д.), в том числе и определение размеров общих размеров здания;
- обмер конструкций, узлов и элементов с целью определения фактических размеров, их фотофиксация. Составление обмерочных чертежей конструкций, узлов, планов, разрезов, фасадов здания;

- детальный осмотр элементов здания с выявлением износа, дефектов, повреждений конструкций, составление дефектных карт. Анализ причин. При необходимости, вскрытие полов, перекрытий, опорных участков балок, плит перекрытий и т.д.;

- оценка прочностных свойств материалов, включающая отбор проб материала, химический анализ, испытания образцов, статическую обработку полученных данных и выводы о марке кирпича и раствора, классе бетона, арматуры и т.д.;

- сбор нагрузок, действующих на конструкции;

- определение фактической расчетной схемы здания в целом и его отдельных конструкций. Определение характера закрепления концов стержней, тип опор, возможность совместной пространственной работы конструкций и здания в целом;

- проверочные расчеты конструкций, узлов, стыков, соединений с учетом полученных расчетных схем, нагрузок, ослаблений сечений, кривизны элементов и других дефектов конструкций и уточненных расчетных сопротивлений материала конструкций;

- составление заключения о техническом состоянии конструкций на объект исследования и разработка рекомендаций по дальнейшей безаварийной и безопасной эксплуатации конструкций и здания в целом.

#### Библиографический список

1. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. – М.: ФГУП ЦПП, 2003. – 31 с.

### **ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ И ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ**

Зобкова Н.В., Кожанова Н.В.

*СГТУ, г. Саратов, Россия*

Технология и организация строительного производства при реконструкции здания имеет ряд особенностей:

- при реконструкции более актуальными становятся вопросы однородности, рассредоточенности и мелкообъемности выполняемых работ;

- работы при реконструкции зданий, как правило, ведутся в стесненных условиях, что оказывает существенное влияние на общую схему организации и технологии производства.

Кроме того, при реконструкции действующих предприятий, учреждений, жилых комплексов производство строительно-монтажных ра-

бот связано как во времени, так и в пространстве с технологической деятельностью реконструируемого объекта. Работы выполняются в условиях сложившегося генерального плана промышленного предприятия, городской застройки.

Всё это усложняет технологию, затрудняет применение оптимальных комплексов машин и предъявляет особые требования к охране труда.

Высокая плотность застройки территории предприятия, учреждения и жилого квартала создает стесненные условия, затрудняющие или делающие невозможным рациональное складирование материалов, укрупнительную сборку и применение прогрессивных методов монтажа, не позволяет использовать индустриальные методы производства работ.

Таким образом, одним из важнейших факторов, определяющих выбор методов производства работ и средств механизации, является стесненность объекта.

Все работы по реконструкции требуют тщательной проработки проекта производства работ (ППР) и должны учитывать конкретные условия данного реконструируемого объекта. Особенно тщательной проработки требуют мероприятия, связанные с разборкой и демонтажем отдельных конструктивных элементов реконструируемого здания, так как проведение этих работ связано с повышенной опасностью травматизма, со сложностью механизации работ и их организацией.

Обязательное требование при составлении ППР на реконструкцию – согласование с соответствующими службами предприятия, городского хозяйства при разработке совместных мероприятий по производству работ строительной организацией и эксплуатационщиками.

### **ОБСЛЕДОВАНИЕ МЕЖДУЭТАЖНОГО ПЕРЕКРЫТИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО КОРПУСА**

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

В процессе эксплуатации здание подвергается физическому и моральному износам. Увеличение производственного потенциала требует модернизации или технического перевооружения производства.

Установка новой производственной линии влечет за собой увеличение нагрузок на конструкции перекрытия. В связи с этим необходимо выполнять предварительное обследование технического состояния перекрытий, полов с целью определения возможности установки нового технологического оборудования без ущерба для несущей способности перекрытия.

В ходе выполнения работ по обследованию перекрытия были выполнены следующие мероприятия:

- визуальное обследование технического состояния несущих конструкций монолитного железобетонного междуэтажного перекрытия и элементов усиления на участке, отведенном под установку нового технологического оборудования;

- обмеры несущих конструкций монолитного железобетонного перекрытия и элементов усиления (в объеме, необходимом для проведения обследования);

- выполнение поверочных расчетов под установку оборудования X3000W (Walrus K3);

- анализ результатов обследования;

- общие выводы о техническом состоянии монолитного железобетонного междуэтажного перекрытия, оценка возможности установки оборудования без ущерба для несущей способности перекрытия, рекомендации по усилению конструкций перекрытия;

- составление заключения по материалам обследования.

В проводимые мероприятия выполнялись с учётом основной методической литературы при проведении обследования [1-4].

#### Библиографический список

1. СП 13-102-2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений». – М.: Госстрой РФ, 2003. – 27с.

2. ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния».

3. СП 63.13330.2012 «СНиП 52-01-2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения».

4. СП 16.13330.2011 «СНиП II-23-81\*Стальные конструкции».

## **НОВЫЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ БЕЗОБЖИГОВОГО АНГИДРИТОВОГО ВЯЖУЩЕГО ВЕЩЕСТВА**

Каклюгин А.В., Трищенко И.В., Чижов А.В.  
*ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, Россия*

Ангидритовые вяжущие вещества в настоящее время ограниченно используются для производства строительных материалов и изделий. Это обусловлено, прежде всего, необходимостью продолжительного помола природного сырья совместно с активизаторами твердения в шаровой мельнице при производстве безобжигового ангидритового вяжущего и значительными расходами энергии при получении высокообжигового. Результаты наших исследований показали, что применение для измельчения сырья новых методов и аппаратов позволяет значительно упростить технологию производства безобжигового ангидритового вяжущего, а также в 2-4 раза повысить его гидратационную активность.

В разработанной и запатентованной нами технологии получения безобжигового ангидритового вяжущего основным аппаратом является мельница с вихревым слоем ферромагнитных элементов. В таких мельницах измельчение ангидритового камня происходит вследствие ударных воздействий ферромагнитных элементов, что приводит не только к увеличению степени дисперсности получаемого вяжущего вещества, но также и к росту дефектности его отдельных частиц. В отличие от мельниц истирающего действия, при измельчении в которых возрастает только удельная поверхность зерен обрабатываемого материала, при ударных воздействиях происходит изменение структуры на уровне кристаллической решетки обрабатываемого ангидритового камня. Кроме этого, за счет использования электромагнитной мельницы существенно сокращаются время и энергетические затраты для получения вяжущего.

С целью повышения гидратационной активности получаемого вяжущего предлагается использовать комплексный активизатор твердения, включающий гашеную воздушную известь и кремнеземистый компонент, в количестве 5% и 15% от массы ангидритового камня, соответственно.

Предлагаемая технологическая линия для приготовления безобжигового ангидритового вяжущего вещества включает следующие основные посты:

- сушки щебня из природного ангидритового камня в сушильном барабане при температуре 170-180°C до влажности не более 2%;
- предварительного измельчения ангидритового камня в корзинчатом дезинтеграторе до максимального размера частиц 2 мм;
- хранения подготовленных исходных материалов (ангидрита, воздушной извести и кремнеземистого компонента) в бункерах запаса;
- совместного измельчения сырья в мельнице с вихревым слоем ферромагнитных элементов до удельной поверхности 4500-5500 см<sup>2</sup>/г в течение 120-180 с.

## **К РАСЧЕТУ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА КАК ПОКАЗАТЕЛЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ВИНТОВЫХ СВАЙ**

Калинин И.С., Шутов Е.Д., Мордкович В.А.,  
*НИЦ СТ ЖВ, г. Москва, Россия*

Винтовые сваи – тип свай, заглубляемых в грунт методом завинчивания. Винтовые сваи состоят из ствола и лопасти (лопастей). Изготавливаются из литых, либо сварных стальных деталей.

В Дорожных и Железнодорожных войсках винтовые сваи получили широкое распространение и применяются в инвентарных фундаментах промежуточных опор автодорожных разборных мостах (например, УМК, САРМ-М и др.) и железнодородных мостах (например, ИМЖ-500).

Многочисленное использование данного типа фундамента требует достоверной, простой и быстрой методики определения несущей способности, чтобы исключить возможность аварий в результате неправильного применения винтовых свай.

В статье представлена методика расчета крутящего момента как показателя несущей способности винтовых свай, разработанная по результатам экспериментальных исследований подполковника В. Железкова.

Зависимость крутящего момента и несущей способности можно записать в следующем виде:

$$P = K_i \cdot M_{кр} \quad (1)$$

где  $P$  – величина предельной несущей способности винтовой сваи на сжимающую или выдергивающую нагрузку;  $M_{кр}$  – величина крутящего момента, необходимого для завинчивания сваи на определенную глубину;  $K_i$  – коэффициент сопротивления сваи при завинчивании (на сжатие – 13-30 м<sup>-1</sup> и при выдергивании 5-11 м<sup>-1</sup>) в зависимости от вида грунта.

Величина крутящего момента, необходимого для завинчивания сваи на определенную глубину, рассчитывается по формуле (2):

$$M_{кр} = 1,6 \cdot d^2 \cdot L \cdot t_{тр} + m \cdot k \cdot D \cdot a \quad (2)$$

где:  $d$  – диаметр ствола винтовой сваи, м;  $D$  – диаметр винтовой лопасти, м;  $L$  – глубина завинчивания сваи, м;  $a$  – шаг винта, м;  $t_{тр}$  – величина бокового трения грунта, т/м<sup>2</sup>;  $m$  – поправочный коэффициент от вида грунта (глинистый – 0,6; песчаный – 0,45; галечниковый – 0,35);  $k$  – коэффициент сопротивления, т/м (глинистый – 13-16; песчаный – 24-28; галечниковый – 26-30; меньшие значения принимать при глубине завинчивания – 2,5 м, а большие при глубине завинчивания более 2,5 м).

Данные для  $t_{тр}$  – берутся из таблиц СП 24.13330.2010 актуализированной редакции СНиП 2.02.03-85 «Свайные фундаменты».

В конечном виде  $M_{кр}$  не должен быть более 4 т·м, а минимальная глубина завинчивания в грунты не менее 2,5 м.

Данная методика позволяет решать как прямые, так и обратные задачи определения несущей способности или необходимого усилия завинчивания.

## **НОВЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ ФОРМЫ МЕМБРАННО-СТЕРЖНЕВЫХ И ВАНТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ**

Ким А.Ю.

*СГТУ, г. Саратов, Россия*

Статья посвящена разработке новых форм быстровозводимых предварительно напряжённых мембранно-стержневых и вантовых сооружений многоцелевого назначения. Предлагаемые системы изготовлены из алюминия или стали, поэтому являются капитальными сооружениями, отличающимися высокими технико-экономическими показателями при пролетах до 100 метров.

Студенты 3 курса Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А. под руководством профессора кафедры ТСК А.Ю. Кима разработали несколько вариантов мембранно-стержневых и вантовых быстровозводимых сооружений универсального назначения. Пример такого сооружения приведен на рис. 1.

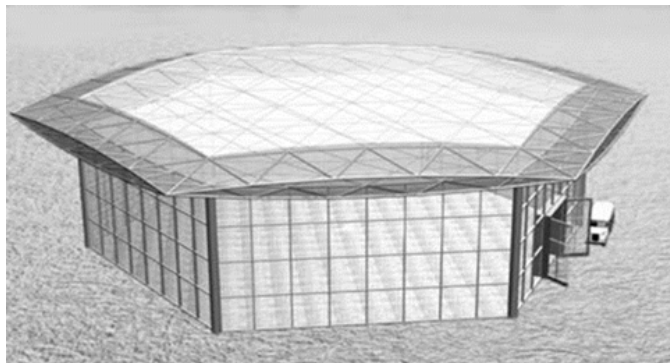


Рис. 1. Пневматическое мембранно-стержневое сооружение

Особенностями расчета предлагаемых конструкций являются:

- учет пространственной работы сооружения;
- выбор расчетной модели с учетом физической, геометрической и конструктивной нелинейности системы, в том числе – анализ влияния ползучести и релаксации материалов.

## **МЕМБРАННО-КАРКАСНОЕ ПНЕВМАТИЧЕСКОЕ СООРУЖЕНИЕ**

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

Аспиранты СГТУ имени Гагарина Ю.А. под руководством профессора кафедры ТСК А.Ю. Кима разработали экономичное мембранно-каркасное сооружение.

Сооружение, обладая мобильностью, позволяет быстро менять свое месторасположение с учетом потребностей производства и изменения ситуации.

В конструктивном отношении разработанное сооружение представляет собой однопролетное мембранно-каркасное перекрытие (рис. 1), включающее расположенный по периметру сооружения жесткий опорный контур, концевые и промежуточные арки, опирающиеся на этот

контур. Кроме того, имеются шарнирные опорные части, установленные под концевыми арками. Мембранная оболочка опирается на арки и скрепленную с опорным контуром при помощи талрепов.

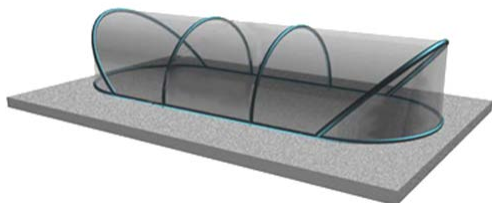


Рис. 1. Общий вид мембранно-каркасного сооружения

Рассчитывается сооружение на действие лишь нормативных нагрузок, а в периоды, когда возникают перегрузки, автоматически используется воздух опорный режим эксплуатации, что позволяет значительно снизить как металлоемкость сооружения, так и его стоимость.

Изготовление опорного контура в виде трубы, снабженной колесами, позволяет перевозить сооружение на другое место при помощи механизированной тяги и устанавливать на любых грунтах, вплоть до болот и водной поверхности рек. В последнем случае сооружение эксплуатируется в воздух опорном режиме, обеспечивающем его плавучесть на основе воздушной подушки.

## **СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ И СОЗДАНИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ**

Коваленко А.В.

*МГУПС (МИИТ), г. Москва, Россия*

На сегодняшний день отечественные производители строительных материалов и конструкций (СМК) продолжают уступать лидирующие позиции на рынке зарубежным конкурентам. По информации, полученной от Российских производителей на последней выставке «Строительная техника и технологии 2016», отечественные образцы значительно уступают импортным по качеству, находясь при этом в одинаковом ценовом эквиваленте.

Предлагается выявить и проанализировать основные тенденции в области разработки, производства и обработки СМК на примере зарубежных лидеров.

На эффективность производства прежде всего влияет опыт компании-производителя. Немаловажен синергетический эффект от слияния с другими областями производства, который используется при постоянном технологическом совершенствовании.

Предприятию необходимо осуществлять интеграцию производства и применять современное «гибкое» производственное оборудование, чтобы предлагать клиентам решения с учетом индивидуальных требований. Таким образом, каждый выпускаемый компонент СМК будет разрабатываться в соответствии с пожеланиями и в зависимости от области применения.

Для наиболее ответственных, с точки зрения безопасности и надежности, продуктов производитель должен предлагать обработку их компонентов на различных этапах производства.

На конструкторский отдел компании возлагается обязанность в части анализа всех влияющих факторов при компоновке продукции для общей оптимизации системы. С помощью современных вычислительных комплексов необходимо проверять и улучшать исходные данные. Например, проводить испытания на долговечность СМК на специальных стендовых площадках, проверять в условиях эксплуатации, максимально приближенных к реальности, перед запуском в серийное производство, а также проводить тестовые испытания у заказчиков.

Логистическая политика должна быть направлена на то, чтобы все необходимые компоненты доставлялись в монтажный отдел точно в срок и в соответствии с ранее обозначенными целями.

Показатели заключительной автоматической проверки продукции СМК должны автоматически собираться и документироваться, что будет обеспечивать высокие функциональные возможности продукта и его качество.

Овладение представленными компетенциями позволит отечественным производителям выпускать востребованную качественную продукцию.

## **АНАЛИЗ РАБОТЫ ФУНДАМЕНТА НА ПЕСЧАНОМ ОСНОВАНИИ**

Козлов А.А., Козлова Ю.А., Николюкин А.Н.

*ТГТУ, г. Тамбов, Россия*

Одними и наиболее массовых конструкций в строительстве являются фундаменты. С развитием техники нагрузки на фундаменты возрастают. В то же время зачастую начинают использоваться территории до недавнего времени считавшиеся непригодными для строительства:

свалки, выработанные карьеры, поймы ручьев и другие местности со сложным геологическим строением.

Использование таких территорий невозможно без специальной инженерной подготовки. Одним из таких методов является армирование основания.

Нами были проведены серии опытов для выявления влияния армирования на несущую способность и декоративность основания при совместной работе с фундаментами одноэтажной однопролетной стальной рамы. Эксперименты проводились в пространственном лотке размерами  $2000 \times 2000 \times 1200$  мм. Размеры модели фундамента  $300 \times 300$  мм. Положение опытной модели рамы в пространстве контролировалось уровнем и отвесом, горизонтальность установки фундамента контролировалась уровнем, установленным на обрезы фундамента.

В качестве основания модели использовался мелкозернистый песок в воздушно-сухом состоянии. Влажность грунта поддерживалась постоянной в пределах 6%. Грунт укладывался слоями по 10 см с уплотнением ручной трамбовкой. Плотность грунта контролировалась методом режущего кольца в четырех точках под подошвой фундамента. Механические характеристики грунта определяли в лаборатории на приборе ПСГ2-М. Угол внутреннего трения  $\varphi = 32^\circ$ , сцепление  $c = 3,15$  кПа. Снятие показаний индикаторов производилось после условной стабилизации деформаций, за условную стабилизацию принята осадка по четырем вертикальным датчиками в 0,01 мм за 5 мин.

Армирование основания выполнялось сеткой из арматуры класса В500 по ГОСТ Р 52554. При обработке результатов приняты следующие обозначения характерных параметров:  $hf$ ,  $bf$ ,  $lf$  – высота, ширина, длина фундамента;  $df$  – глубина заложения фундамента;  $hs$  – расстояние от верха армирующего элемента до подошвы фундамента;  $bs$ ,  $ls$  – ширина и длина армирующего элемента;  $sb$ ,  $sl$  – шаг дискретной арматуры в направлении ширины и длины соответственно;  $eb$ ,  $el$  – смещение центра арматуры относительно центра фундамента в направлении длины и ширины.

По результатам опытов наиболее эффективным являются следующие характеристик армирования:  $hs = 0,2$ ;  $bs = 2$ ;  $ls = 2$ . Параметры  $eb$

и  $el$  приняты равными 0, значение  $sl = sb = 50/300 = 0,167$ , диаметр арматуры равен 5 мм, глубина заложения назначалась из условия  $df = 0,5$ . На основе данных характеристик были проведены опыты.

Армирование оказывает существенное влияние на осадку. В среднем осадка уменьшилась в 1,5 раза, причем наиболее эффективно влияние армирования сказывается при возрастании нагрузки. В тоже время горизонтальное армирование, расположенное под подошвой фундамента, не оказывает заметного влияния на горизонтальное перемещение фундамента в плоскости рамы. Также армирование не вызвало значительного влияния на крен фундамента. Возможно более значительное влияние на крен окажет армирование при меньшем заглублении под подошву фундаментов.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ СОВРЕМЕННЫХ СИЛИКАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Козлов А.В., Животков О.И., Борисенко Ю.В.  
*ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, Россия*

Введенный в действие с 1.10.2015 г. ГОСТ 379-2015 «Кирпич, камни, блоки и плиты перегородочные силикатные. Общие технические условия» предусматривает классификацию стеновых силикатных изделий по средней плотности с довольно широким диапазоном ее изменения от 900 до 2200 кг/м<sup>3</sup>.

Анализ литературы показал, что изменение средней плотности достигается двумя способами: первый за счет создания пустот в объеме изделия, второй за счет формирования пористой структуры материала различными способами

Изменение плотности изделий за счет их пустотности изделий является наиболее распространенным способом. Однако, чтобы получить среднюю плотность изделий 900 кг/м<sup>3</sup> необходимо формовать изделие с пустотностью порядка 55%. Такую пустотность, во-первых, технически сложно создать, во-вторых, такая пустотность сопровождается сильным снижением прочности изделий.

Наиболее эффективным является направленное формирование пористой структуры материала изделий, в нашей работе это достигается за счет использования полых алюмосиликатных микросфер с плотностью 200-400 кг/м<sup>3</sup> и прочностью при гидростатическом сжатии 10-15

МПа. Алумосиликатные микросферы, образующиеся в процессе пылевидного сжигания каменных углей в котлах Новочеркасской ГРЭС и накапливающиеся в большом количестве в гидрозолоотвалах станции. Отходы, образующиеся при сжигании угля, подвергаются гравитационному разделению на частицы с плотностью ниже и выше плотности воды. Тонкодисперсные составляющие с плотностью большей плотности воды, осаждаются в отвале и характеризуются высоким содержанием аморфизированного кремнезема, столь необходимого для производства силикатного вяжущего. Частицы с плотностью менее  $1,0 \text{ г/см}^3$  собираются на поверхности воды в специализированных отстойниках.

Получение силикатного вяжущего в работе осуществлялось в результате механического смешивания золы уноса Новочеркасской ГРЭС и негашеной извести в определенных пропорциях, полученная смесь доводилась до формовочной влажности, затем в нее вводились полые алумосиликатные микросферы. Формовочная масса вылеживалась в течение 12 час, после чего из нее формовали образцы с удельным давлением 10 МПа, 15 МПа, 20 МПа и 30 МПа. Отформованные образцы подвергались автоклавной обработке по режиму 2+8+1,5 час в условиях реального заводского производства силикатных изделий. Полученные образцы испытывались на плотность и прочность.

В результате проведенных исследований из формовочных масс, содержащих алумосиликатные микросферы и 10-15% силикатного вяжущего при удельном давлении прессования 10-20 МПа нами получен полнотельный силикатный кирпич с плотностью  $791-970 \text{ кг/м}^3$  и прочностью от 5,0 до 8,4 МПа, что позволяет классифицировать его как изделие первого и второго классов по плотности. Увеличение расхода вяжущего до 20% и удельного давления прессования до 30 МПа позволило достигнуть более высокую прочность 10,1-12,9 МПа с плотностью  $1077-1147 \text{ кг/м}^3$ .

## **КЕРАМИЧЕСКИЙ КИРПИЧ ПОЛУСУХОГО ПРЕССОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДОБАВОК ИЗ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ**

Козлов А.В., Шпилева А.А., Ахтямов Д.С.  
*ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, Россия*

Современный рынок строительных материалов переживает бурное развитие, при котором происходит расширение номенклатуры потребляемых стеновых керамических изделий. При этом увеличилась доля

потребления лицевого кирпича. Хорошие показатели внешнего вида и отклонений от геометрических размеров присущие для кирпича полусухого прессования, как правило, не позволяют стать ему лицевым из-за недостаточной его прочности при изгибе и морозостойкости.

Улучшение качества керамического кирпича полусухого прессования возможно достичь как за счет формирования равноплотного по объему структуры керамического черепка, так и за счет спекания керамического черепка при обжиге. Введение ряда добавок в глинистое сырье позволяет изменять температуру образования жидкой фазы и управлять степенью спекания керамического черепка. Минерализующая роль оксидов металлов хорошо известна, и в ряде работ отмечалась высокая эффективность оксида железа. Применение оксида железа в составе керамической массы, как химически чистом виде, так и в виде железосодержащих соединений позволяет получить керамику с водопоглощением менее 5%. Следует отметить, что вводимые в шихту соединения железа оказывают свое влияние на процесс спекания при температурах более 1000°C, что энергозатратно для производителей. Применение плавней позволяет снизить температуру аморфизации глинистого вещества на 50-100°C. Вследствие более раннего появления жидкой фазы интенсифицируются процессы формирования новообразований в керамическом черепке, что ведет к улучшению физико-технических показателей. Они способствуют более раннему появлению стеклофазы, уплотнению структуры и образованию изолированной пористости.

В настоящей работе изучалось влияние комплексной добавки на физико-механические свойства керамического черепка, получаемого компрессионным прессованием глинистого сырья Дарагановского месторождения. В составе комплексной добавки использованы железосодержащие отходы Шахтинского электрометаллургического завода и боросодержащие отходы горно-обогадательного комбината. Измельченный суглинок смешивали с комплексной добавкой и увлажняли до нормальной формовочной влажности. Полученное пластичное тесто гранулировали, полученные гранулы высушивали и измельчали до наибольшей крупности 4 мм. Полученный порошок увлажняли до 8%, в течение суток выдерживали в герметичном объеме, после чего из него формовали образцы с удельным давлением 200 кг/см<sup>2</sup>. Отформованные образцы обжигали при температуре 950°C, после чего на них определяли водопоглощение, среднюю плотность и прочность на сжатие. По результатам работы установлено, что введение комплексной добавки позволяет снизить водопоглощение с 15,1% до 8,2% и увеличить прочности при сжатии керамического черепка с 16,8 МПа до 38,9 МПа.

## КЕРАМИЧЕСКИЙ КИРПИЧ ПОЛУСУХОГО ПРЕССОВАНИЯ С ДОБАВКАМИ ИЗ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

Козлов Г.А., Рубахин И.И., Проценко О.В.  
*ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, Россия*

Как известно, эффективность стеновых керамических материалов достигается подбором рационального состава формовочной массы и конфигурацией, за счет изменения пустотности изделия. Однако изменение пустотности изделий не является лучшим способом повышения их эффективности. Наиболее эффективными являются способы, позволяющие изменять пористость керамического черепка за счет применения пористых добавок в составе формовочных масс. Это позволяет осуществлять производство стеновых керамических изделий по различным технологиям и без приложения больших формовочных давлений. Формование изделий может осуществляться и экструзионным, и компрессионным способами, и вибропрессованием.

В настоящей работе при подборе состава формовочной массы изучалось влияние фракционного состава пористого компонента, формовочной влажности и давления прессования на структурную прочность сырца, прочность и плотность обожженного керамического черепка. Эти исследования выполнены с использованием методик математического планирования эксперимента. По результатам ранее выпиленных работ были выявлены уровни варьирования основных факторов: фракционный состав сырьевой смеси, который оценивали с помощью коэффициента сбега в пределах от 0,8 до 1,6; формовочная влажность изменялась в интервале от 12 до 24%; удельное давление уплотнения варьировалась в пределах 100-300 г/см<sup>2</sup>.

В соответствии с планом эксперимента получены составы керамических масс, керамический черепок из которых характеризуется широким изменением физико-механических свойств, диапазон изменения которых приведен в таблице.

Структурная прочность сырца, МПа	Предел прочности при сжатии, МПа	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>
0,73 – 1,87	2,00 – 10,45	686 – 796

В результате математической обработки были получены коэффициенты регрессии, которые после проверки на значимость легли в основу

уравнений регрессий исследуемых факторов. Взаимосвязь между исследуемыми свойствами и исходными факторами варьирования описываются следующими уравнениями:

– структурная прочность, МПа

$$R_{\text{стр}} = 1,40 + 0,25X_1 + 0,25X_2 + 0,23X_3 - 0,25X_2^2 - 0,05X_1X_2 + 0,06X_1X_3;$$

– прочность обожженных изделий:

$$R_{\text{сж}} = 3,81 + 1,69X_1 + 1,9X_2 + 1,12X_3 + 0,45X_1^2 + 0,34X_2^2 - 0,18X_3^2 + 1,01X_1X_2 + 0,16X_1X_3 + 0,16X_2X_3;$$

– средняя плотность обожженных изделий:

$$\rho_{\text{ср}} = 756,19 + 14,8X_1 + 16,35X_2 + 22,7X_3 - 7,11X_1^2 - 5,86X_2^2 - 16,61X_3^2 - 4,5X_2X_3.$$

Полученные модели позволили определить оптимальные рецептурно-технологические параметры получения эффективных керамических материалов с плотностью 500-800 кг/м<sup>3</sup>, прочностью 2,5-10 МПа, теплопроводностью 0,118-0,224 Вт/м·°С и морозостойкостью до 35 циклов попеременного замораживания и оттаивания.

## ВЛИЯНИЕ СТАРЕНИЯ НА КЛЕЕВОЙ СЛОЙ СТРУКТУРИРОВАННОЙ ПАНЕЛИ

Козлова Ю.А., Ярцев В.П.  
ТГТУ, г. Тамбов, Россия

В процессе эксплуатации строительные материалы подвергаются тепловому старению. Его влияние негативно сказывается на свойствах большинства строительных материалов, особенно полимеров.

Тепловое старение и УФ-облучение сильно влияет на работу комбинированной панели. Тепловое старение приводит к снижению прочности панелей, которая после 100 часов составляет 40% от первоначальной. После чего процесс стабилизируется. Снижение механических характеристик в данном случае вызвано старением пенополистирола и клеевой прослойки. Для ряда образцов (около 50%) уже после 50 часов наблюдалось частичное разрушение клеевого шва, пенопласт отслаивался от ОСП. После действия данного фактора наблюдается коробление пенопласта, а клеевая прослойка меняет свой цвет. После 100 часов прочность панели увеличивается и постепенно достигает первоначальной. Улучшение механических свойств вызвано повышением прочности ориентировано-стружечной плиты, а также переходом верхних граней пенопласта в плёночное состояние.

Падение механических характеристик в данном случае вызвано старением пенопласта и клеевой прослойки. Потемнение пенопласта стало заметным после 50 часов. С увеличением количества циклов происходит непрерывное изменение цвета пенопласта. Под влиянием ультрафиолетового воздействия наблюдается изменение цвета образца с белого на желтоватый. Клеевой шов темнеет, но не разрушается. Термофлюктуационный механизм разрушения подвергается длительным механическим испытаниям элементов структурированной панели.

Полученные результаты позволяют достаточно надежно рассчитать реальный срок эксплуатации панели с учетом внешних атмосферных и техногенных воздействий.

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ СТРУКТУРИРОВАННЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПАНЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ДРЕВЕСИНЫ**

Козлова Ю.А., Ярцев В.П.  
*ТГТУ, г. Тамбов, Россия*

В настоящее время панельное домостроение по затратам и эксплуатационным требованиям считается одним из лучших. Панельные малоэтажные здания не уступают деревянным и каменным, а в чем-то и превосходят их.

Структурированная изоляционная панель – это панель, состоящая из утеплителя-прослойки, с двух сторон покрытого листами ОСП.

Были изучены закономерности разрушения и деформирования этой панели, а также влияние внешних факторов и влаги на физико-механические свойства её составляющих.

Для испытаний были взяты модели структурных изоляционных панелей и составляющие их компоненты: плиты ОСП (ориентированно-стружечная плита), деревянный каркас и пенополистирол, изготовленный по беспрессовой технологии. Для прогнозирования работоспособности материалов и конструкций, которая включает в себя три основных параметра: время свершения критического события, предельное напряжение и температуру, актуально использовать принцип температурно-временной силовой эквивалентности.

Полученные результаты показали, что при повышении температуры до 40°C долговечность комбинированной панели резко падает, что связано с увеличением деформативности утеплителя. При дальнейшем увеличении температуры до 60°C долговечность практически не изменяется, так как дальнейшее повышение деформативности пенополистирола сдерживается обшивкой из ОСП.

Древесные составляющие воспринимают основную нагрузку панели, и появление в них трещин приводит к разрушению конструкции. По результатам испытания компонентов панели по отдельности выявлена зависимость между долговечностью всей конструкции и ее составляющих, что в дальнейшем позволит подобрать наиболее эффективную структуру конструкции.

## **УСИЛЕНИЕ НАСЫПИ НА ПОДХОДАХ К ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ МОСТАМ**

Козырева Л.В., Мочина А.В.  
*СГТУ, г. Саратов, Россия*

Для безопасной эксплуатации железнодорожных мостов особое внимание следует уделять устойчивости насыпей на подходах к мостам. Необходимо выбирать правильное решение по укреплению насыпи, чтобы в процессе эксплуатации исключить возможные проблемы с потерей устойчивости и накопление остаточных деформаций в балластном слое и земляном полотне. Одной из проблем подходов насыпей на железнодорожных мостах с безбалластным мостовым полотном является перепад жесткости пути, который возникает из-за резкого провала локомотива над ямой при входе на мост. Это приводит к появлению дополнительных динамических сил и развитию просадок в зоне сопряжения физически неоднородных конструкций.

Одним из решений данной проблемы является устройство участков переменной жесткости с железобетонными коробами.

Переходная конструкция состоит из железобетонных коробов, представляющих собой бездонные ящики, полости которых засыпаются балластом, то есть щебнем. Она состоит из 8 коробов четырех различ-

ных типов, высота которых изменяется по мере удаления от опоры. Такая конструкция в результате наличия боковых стенок обеспечивает резкое сокращение интенсивности накопления осадок балласта за счет предотвращения его бокового расползания. Плавность изменения жесткости пути в таком случае достигается применением конструкции, состоящей из коробов разной высоты по длине переходного участка. Высота коробов постепенно изменяется от максимальной около устоя до минимальной – в месте сопряжения с обычным путем.

Общая длина переходного участка составляет 24 м. Короба выполняются из бетона класса В25, F200, W6.

### **О ГРАНИЦАХ ПРИМЕНЕНИЯ КВАДРАТИЧНОГО УСЛОВИЯ ПЛАСТИЧНОСТИ МИЗЕСА К ОПИСАНИЮ ПЛАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АНИЗОТРОПИИ ЛИСТОВЫХ ПРОКАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Костиков И.Е., Кузнецов Е.Е., Матченко И.Н., Матченко Н.М.  
*ТулГУ, г. Тула, Россия*

Сформулированный Мизесом в 1928 г. критерий пластичности анизотропных сред имеет форму квадратичной функции компонент тензора напряжения, инвариантную относительно точечной группы преобразования координат, характеризующих класс симметрии среды. При формулировке основных соотношений, Мизесом использовалась гипотеза о независимости пластического деформирования от гидростатического давления.

В представленной работе путем анализа экспериментальных данных определены границы применения квадратичного условия пластичности Мизеса.

Рассматривается жесткопластический ортотропный материал с декартовой системой координат, совпадающей с осями ортотропии. Хилл предложил для ортотропных материалов соотношения пластичности Мизеса записывать в форме [1].

На примере листового прокатного материала рассмотрена возможность экспериментального определения параметров анизотропии, при этом ось  $x$  совпадает с направлением прокатки, ось  $y$  направлена поперек прокатки, а ось  $z$  направлена по нормали к плоскости листа.

В ходе анализа экспериментальных данных [2], с определением выполнения условий совместности экспериментально определенных параметров при различной степени пластической деформации в направлении растяжения для алюминиевых сплавов, выявленное отклонение в критериях несовместности параметров, получаемых из эксперимента на одноосное растяжение образца, вырезанного под углом  $\pi/4$  к направлению прокатки, за пределы точности эксперимента 5% свидетельствует о том, что материалы АМг6М, АМг2М, АМцАМ не подчиняются условию пластичности Мизеса и для них не применима теория пластичности Мизеса-Хилла.

#### Библиографический список

1. Mises R. *Mechanic der plastischen Formagerung von Kristalen* // *Z. angew. Math. Und Mech.*, 1928. – 8. – № 5. S. 161-185.
2. Андрейченко, В.А. Обработка давлением анизотропных материалов / В.А. Андрейченко, С.П. Яковлев, С.С. Яковлев. – Кишнев: Квант, 1997. – 330 с.

### **КЛАССИФИКАЦИЯ КАМНЕПОДОБНОГО ГЛИНИСТОГО СЫРЬЯ ПО СТЕПЕНИ РАЗМОКАЕМОСТИ**

Котляр А.В., Козлов А.В.

*ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, Россия*

Россия располагает огромными запасами камнеподобного глинистого сырья, к которому относятся аргиллитоподобные глины, аргиллиты, глинистые и углистые сланцы, а также переходные разновидности между этими видами пород. Данные породы являются ценным керамическим сырьем для производства широкого круга изделий строительной керамики – плитка различного назначения, рядовой, лицевой и клинкерный кирпич, высокоэффективные крупноразмерные блоки, черепица, дорожные клинкерные изделия, фасадные плиты и др. Однако использование камнеподобного глинистого сырья в настоящее время очень ограничено. Одной из причин этого является его слабая изученность, обусловленная отсутствием геолого-технологической классификации, методик оценки данного сырья для тех или иных видов изделий, технологических рекомендаций и т.д.

Одной из важнейших характеристик данного вида сырья является его размокаемость. Это свойство во многом обуславливает способ переработки сырья и формовки изделий. Согласно ГОСТ 21216-2014

«Сырье глинистое. Методы испытаний» п. 3.3 – «Сырье глинистое камнеподобное: Плотные и хрупкие глинистые породы влажностью 3-9%, не размокающие или плохо размокающие в воде». К сожалению, никаких оценочных критериев по степени размокаемости данный нормативный документ не предлагает. Это вызывает недопонимание среди геологов и технологов, путаницу в терминологии, неправильный подход при оценке данных видов сырья и т.д. Во избежание этого нами предлагается классификация камнеподобного глинистого сырья по степени размокаемости основанная на большом объеме научно-экспериментальных исследованиях. Предлагается выделить 4 группы пород.

Первая группа, это размокающие породы, которые при нахождении в воде в течение 2-х суток становятся мягкими и в кусочек влажной породы можно загнать деревянную иглу. Вторая группа, это среднеразмокающие породы, которые при нахождении в воде в течении 2-х суток или при 5-кратном увлажнении и высыхании распадаются на отдельные частички, которые растираются пальцами в дисперсную массу. Третья группа, это трудноразмокающие породы, которые при нахождении в воде в течении 2-х суток или при 5-кратном увлажнении и высыхании распадаются на отдельные частички, но не растираются пальцами в дисперсную массу. И четвертая группа, это неразмокающие породы которые при длительном нахождении в воде (2-5 суток) и 5-кратном увлажнении и высыхании не распадаются на отдельные частички, а испытываемые кусочки породы сохраняют целостность.

Нами разработана методика оценки размокаемости камнеподобного глинистого сырья, которая в настоящее время проходит апробацию и обсуждение для доказательного обоснования.

## **ТИПЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КАМНЕПОДОБНОГО ГЛИНИСТОГО СЫРЬЯ**

Котляр А.В., Лазарева Я.В.  
*ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, Россия*

В последние годы все больший интерес в качестве сырья для производства различных изделий строительной керамики вызывает камнеподобное глинистое сырьё – аргиллиты, аргиллитоподобные глины, алевролиты, глинистые и углистые сланцы. Это обусловлено многими факторами – их технологическими свойствами, экономичностью производства, появлением нового эффективного оборудования, большими запасами сырья и т.д.

Данные породы в качестве основного сырья и добавочных материалов могут использоваться для производства различного кирпича (рядового, лицевого, клинкерного), крупноразмерных блоков, плитки, черепицы, изделий для мощения дорог и т.д. Для выявления наиболее перспективных месторождений данного сырья, мы провели анализ и условно разделили 5 типов месторождений.

Первый тип – это месторождения, которые целенаправленно разведывались для производства изделий стеновой керамики, черепицы и других видов керамических изделий.

Второй тип, это месторождения, разведанные для других целей. Это в основном месторождения, разведанные для производства керамзита и цемента (глинистый компонент). К примеру, в Ростовской области в 60-70-х годах прошлого века было разведано несколько крупных месторождений аргиллитоподобных глин, аргиллитов и глинистых сланцев как керамзитовое сырьё с утвержденными запасами в десятки миллионов м<sup>3</sup> для производства керамзита по сухому способу.

Третий тип месторождений – это попутное сырьё и отвалы при разработке месторождений песчаников, алевролитов, плотных известняков, разрабатываемых в основном для получения щебня. Учитывая масштабы разработок и объёмы глинистого сырья, уходящего в отвалы, запасы которых исчисляются сотнями миллионов тонн – это наиболее интересный с практической точки зрения тип месторождений, который требует только переоценки.

Четвёртый тип – это техногенные месторождения шахтных отвалов Восточного Донбасса, сформировавшиеся в результате добычи угля – терриконики. Запасы их огромны.

Пятый тип месторождений – это побочные продукты, образующиеся при переработке терриконики с целью выделения угля. Содержание угля в неперегоревших террикониках составляет 15-25% и их разработка экономически оправдана. Побочные продукты представляют собой измельчённые аргиллитоподобные глины, аргиллиты и алевролиты различного зернового состава.

Как видно, имеется несколько потенциально перспективных типов месторождений аргиллитоподобных глин. Выбор какого-либо месторождения с практической точки зависит от конкретных условий.

## **ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ БЛОКОВ НА ОСНОВЕ ОПОКОВИДНОГО СЫРЬЯ**

Котляр В.Д., Лапунова К.А., Козлов Г.А.  
*ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, Россия*

Одной из важнейших задач промышленности строительной керамики России является увеличение производства крупноразмерных керамических блоков с плотностью менее 700-800 кг/м<sup>3</sup> и теплопроводностью менее 0,15-0,20 Вт/(м·°С). В настоящее время доля выпуска таких изделий в общем объёме стеновой керамики составляет всего около 15%. В странах Европы этот показатель доходит до 60-70%. Традиционной для их производства является технология экструзионного формования изделий и пластической подготовки сырьевых масс. Низкие показатели плотности и теплопроводности достигаются за счёт пустотности изделий и пористой структуры черепка.

Серьёзным сдерживающим моментом увеличения производства данных изделий является то, что в России для этого не производится соответствующего оборудования и комплектных технологических линий. Все построенные в последние годы новые предприятия полностью укомплектованы импортным оборудованием. Стоимость их строительства при производительности 30-50 млн. штук условного кирпича составляет от 25 до 60 млн. евро. Это обуславливает высокую себестоимость производства, долгие сроки окупаемости и, как следствие, непривлекательность для инвестиций. Проводимые нами работы позволили разработать технологию производства высокоэффективных керамических блоков, основанную на использовании микропористых опоковидных пород и отходов углеобогащения при компрессионном формовании изделий и полусухой подготовке формовочных масс. Преимуществами данной технологии являются следующие факторы:

- способ компрессионного формования изделий и полусухая подготовка формовочных масс позволяет полностью использовать отечественное оборудование, что существенно снижает стоимость строительства и эксплуатационные расходы;

- использование отходов углеобогащения позволяет снизить расход газа на обжиг до 90%, что значительно сокращает затраты и снижает себестоимость;

- использование опоковидных микропористых пород и гидравлических прессов позволяет формировать крупноразмерные изделия с пустотностью до 60% и ровными гранями и рёбрами, достигать полного выгорания угольной составляющей и оптимальной структуры черепка.

Опоковидные породы имеют широкое распространение в многих регионах России. Запасы угольных шламов в угледобывающих регионах составляют сотни миллионов тонн. Всё это в комплексе благоприятствует организации крупных производств высокоэффективных керамических блоков в определённых регионах по предлагаемым нами технологическим решениям.

### **ТОНКОДИСПЕРСНЫЕ ПРОДУКТЫ ПЕРЕРАБОТКИ ТЕРРИКОНИКОВ – ПЕРСПЕКТИВНОЕ СЫРЬЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭФФЕКТИВНОЙ СТЕНОВОЙ КЕРАМИКИ**

Котляр В.Д., Мирина В.А.  
*ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, Россия*

Использование побочных продуктов угольной промышленности при производстве изделий стеновой керамики является достаточно актуальной задачей. Многочисленные отечественные и зарубежные исследования, показывают, что они имеют большую промышленную ценность. В научно-технологическом плане для использования углепромышленных отходов в производстве керамики в предыдущие десятилетия было сделано немало. Однако до масштабного практического внедрения эти разработки в силу ряда объективных причин не дошли. Отдельным кирпичным заводам экономически не выгодно было заниматься разработкой террикоников и доводить их до необходимых технических кондиций. Так или иначе, по технико-экономическим соображениям данные материалы в большинстве случаев оставались не востребованными.

Ситуация коренным образом изменилась в последние годы. Экономически оправданной с применением современных технологий стала

переработка негорелых террикоников с целью извлечения угля. В зависимости от типа терриконика содержание угля может составлять от 10 до 25%. Если брать Восточный Донбасс (Ростовская область), то на его территории, за более чем столетнюю историю промышленного освоения образовалось 500 отвалов шахт, занимающих большие площади. При этом, помимо угля, и в зависимости от типа терриконика образуются, следующие материалы: щебень различных фракций, который используется для различных видов строительства, представленный алевролитами и песчаниками; отсева, представленные фракциями от 1-2 мм до 5-7 мм, представленные как алевролитами так и аргиллитами; кек, представленный угольными частицами с примесью аргиллитов с фракционным составом преимущественно 0,2-2,0 мм; тонкодисперсные шламы, которые пока не приобрели общепринятого названия.

Наибольший интерес, в качестве сырья для производства стеновой керамики представляют именно шламы. Они представляют собой фактически готовую шихту для производства различных изделий строительной керамики. Они являются достаточно тонкодисперсными – содержание фракции менее 0,001 мм составляет 30-50%, мало-среднепластичными, на выходе из обогащательной установки имеют невысокую влажность. Весьма важным является и то, что современные способы переработки позволяют регулировать содержание угольной составляющей. Разработанные нами технологические решения позволили получать на их основе керамические блоки по технологии компрессионного формования с плотностью менее 800 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводностью менее 0,18 Вт/(м·°C) и маркой по прочности М100-150.

### **ДЛИТЕЛЬНАЯ ПРОЧНОСТЬ ГИБКИХ ФИЗИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНЫХ ПОЛОГИХ ОБОЛОЧЕК**

Кривошеин И.В., Подтяшкин В.Г., Подтяшкина А.М.  
*СГТУ, г. Саратов, Россия*

Излагаем алгоритм подсчета длительной прочности дважды нелинейных пологих оболочек, отождествляемой со временем жизни тонкостенного конструктивного элемента при двустороннем действии внешней агрессивной среды (АС). Считаем за длительную прочность  $T_i$  пологой оболочки время от начала ее работы в АС до возникновения опасного состояния (ОС), отвечающего моменту равенства максимальной

интенсивности напряжений  $\sigma_{i \max}$ , возникающей в произвольной точке оболочки, временному сопротивлению материала, убывающему с ростом времени воздействия агрессивной среды.

На рис. 1 приведены результаты подсчета длительной прочности оболочки на квадратном плане с относительной толщиной  $h/(2a)=1/25$  и параметрами кривизны  $k_\xi = k_\eta = 16$  при граничных условиях неподвижного шарнирного закрепления, полученные по алгоритму с использованием инкрементального метода ИИВК [1] и модифицированного метода Бицено-Коха [1].

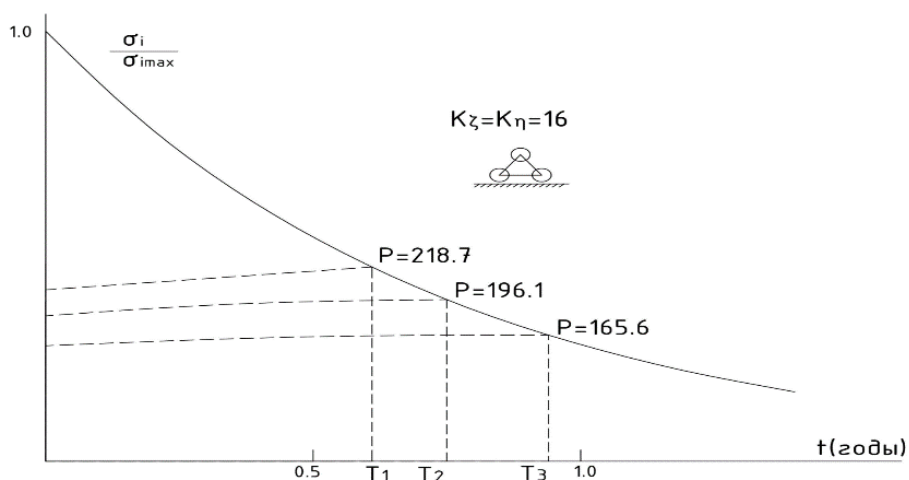


Рис. 1. Результаты расчёта длительной прочности оболочки

Получено, что с ростом параметра поперечной нагрузки  $P$  увеличивается уровень наибольших напряжений в пластинке  $\sigma_{i \max}$ , возрастает скорость роста во времени  $\sigma_{i \max}$  и снижается величина длительной прочности пологой оболочки  $T_i$ .

#### Библиографический список

1. Кривошеин, И.В. Долговечность гибких физически нелинейных пологих оболочек и пластинок / И.В. Кривошеин. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2016. – 267 с.

## ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ГИБКИХ ФИЗИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНЫХ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ПЛАСТИНОК

Кривошеин И.В., Подтяшкин В.Г., Подтяшкина А.М.  
СГТУ, г. Саратов, Россия

Ставим задачу подсчета достоверных значений параметров НДС дважды нелинейных пластинок и их долговечности, отождествляемой со временем жизни конструктивного элемента при действии внешней агрессивной среды (АС). Считаем за долговечность  $T_i$  пластинки время от начала ее эксплуатации в АС до возникновения опасного состояния (ОС), соответствующего моменту равенства максимальной интенсивности напряжений  $\sigma_{i \max}$ , возникающей в произвольной точке пластинки, временному сопротивлению материала, убывающему с течением времени воздействия агрессивной среды.

На рис. 1 приведены данные исследования долговечности квадратных в плане пластинок с различными относительными толщинами  $h/(2a)$  при граничных условиях шарнирного опирания на идеальные диафрагмы, полученные по алгоритму с использованием модифицированного метода Бицено-Коха [1] и инкрементального метода ИИВК [1].

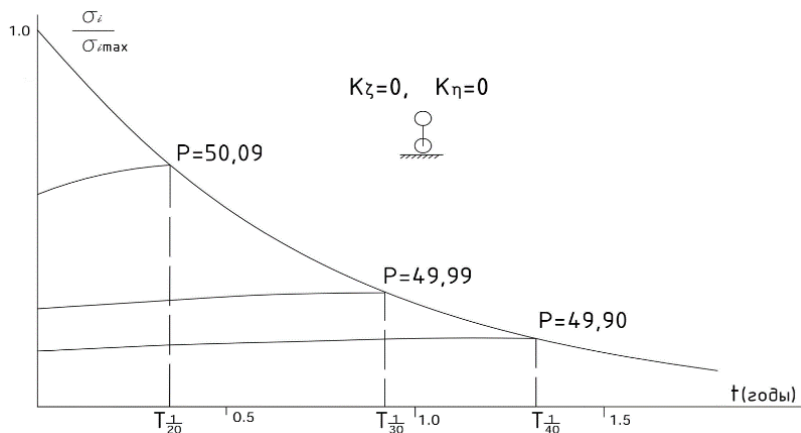


Рис. 1. Результаты расчёта долговечности пластинки

Выявлено, что с ростом относительной толщины  $h/(2a)$  при двустороннем действии внешней агрессивной среды существенно возрастает уровень наибольших напряжений в пластинке  $\sigma_{i \max}$ , увеличивается скорость роста во времени  $\sigma_{i \max}$  и значительно снижается долговечность пластинки  $T_i$ .

#### Библиографический список

1. Кривошеин, И.В. Долговечность гибких физически нелинейных пологих оболочек и пластинок / И.В. Кривошеин. – Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2016. – 267 с.

### ОБ ОДНОЙ МЕТОДИКЕ РАСЧЕТА НЕЛИНЕЙНО ДЕФОРМИРУЕМЫХ ПОЛОГИХ ОБОЛОЧЕК

Кривошеин И.В., Подтяшкин В.Г., Подтяшкина А.М.  
*СГТУ, г. Саратов, Россия*

Изложим методику расчета, основанную на использовании модифицированного метода Бицено-Коха (ММБК) [1] и инкрементального метода с итерационным пересчетом жесткостей и выполнением корректировки решения (ИИВК) [1]. Операторное уравнение нелинейной краевой задачи (НКЗ) записывается в виде  $A(a_j)x = b, (j = 1, 2, 3, \dots)$ . Линеаризованное уравнение метода последовательных нагружений (МПН) имеет вид  $A'(x_j)\Delta x_{j+1} = \Delta b_{j+1}$ . Решая данное уравнение, находим на шаге  $\Delta b_{j+1}$  приближенные значения приращений искомых функций  $\overline{\Delta x_{j+1}}$  (пункт «1»). Затем определяем накопленные приближенные значения  $\overline{x_{j+1}} = \overline{x_j} + \overline{\Delta x_{j+1}}$  (пункт «2»). Далее при формулировке НКЗ в смешанной форме проводим итерационную корректировку жесткостей [1] в соответствии со значениями  $\overline{x_{j+1}}$  и пересчитываем в соответствии со значениями  $\overline{x_{j+1}}$  жесткости при формулировке НКЗ в приращениях компонентов вектора перемещения (пункт «3»). С использованием алгоритма ММБК вычисляем невязки решений  $\Delta b_{j+1}^{нег.}$  в центральных точках малых подобластей интегрирования  $G_i$ , подставляя приближенные значения  $\overline{x_{j+1}}$  и соответствующих им жесткостей в уравнение  $\Delta b_{j+1}^{нег.} = A(a_{j+1})\overline{x_{j+1}}$  и распространяя  $\Delta b_{j+1}^{нег.}$  на малые подобласти интегрирования  $G_i$  (пункт

«4»). На следующем этапе повторно решаем уравнение МПН, заменяя величину  $\Delta b_{j+1}$  на  $\Delta b_{j+1}^{нев.}$  (пункт «5») что позволяет подсчитать «невязочные» приращения искомых функций  $\overline{\Delta x_{j+1}^{нев.}}$  и уточнить накопленные значения искомых функций по формулам  $\overline{x_{j+1}} = \overline{x_j} + \overline{\Delta x_{j+1}} + \overline{\Delta x_{j+1}^{нев.}}$  (пункт «6»). На заключительном этапе «7» вновь проводим корректировку жесткостей [1] в соответствии с уточненными значениями  $\overline{x_{j+1}}$ . Высокая степень экономичности алгоритма и точности результатов по предлагаемой методике расчета, использующей алгоритмы ММБК и ИИВК, выявлена в ряде публикаций данного сборника.

#### Библиографический список

1. Кривошеин, И.В. Инкрементальные методы расчета гибких физически нелинейных пологих оболочек и пластинок / И.В. Кривошеин. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2015. –256 с.

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЗЕРВА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ НЕЛИНЕЙНО ДЕФОРМИРУЕМЫХ ПЛАСТИНОК, ПОВРЕЖДЕННЫХ ДЕЙСТВИЕМ АГРЕССИВНОЙ СРЕДЫ**

Кривошеин И.В., Подтяшкин В.Г., Подтяшкина А.М.  
*СГТУ, г. Саратов, Россия*

Полагаем, что в результате техногенной аварии гибкая пластинка из нелинейно деформируемого материала на определенное время подверглась воздействию внешней агрессивной среды, но не исчерпала свою несущую способность. Для подсчета резерва несущей способности пластинки после устранения агрессивной среды догружаем поврежденную пластинку поперечной нагрузкой и фиксируем величину ее несущей способности  $P^*$ , соответствующей равенству максимальной интенсивности напряжений  $\sigma_{i \max}$  в пластинке величине временного сопротивления ее материала, достигнутого в последний момент действия внешней агрессивной среды. Для решения поставленной нелинейной краевой задачи применяем алгоритм с использованием модифицированного метода Бицено-Коха [1] и инкрементального метода ИИВК [1]. На рис. 1 приведены данные численного эксперимента для квадратной пластинки с относительной толщиной  $h/(2a)=1/25$  при граничных условиях жесткого защемления на контуре.

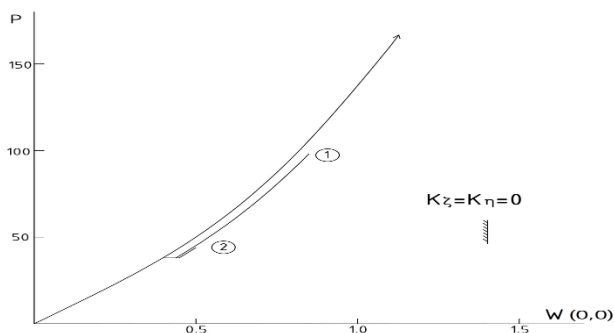


Рис. 1. Данные численного эксперимента для пластинки

Проникновение внешней агрессивной среды происходило при значении параметра нагрузки  $P = 37,931$ , кривая 1 соответствует глубине пораженного слоя в  $20/256$ , а кривая 2 – в  $35/256$  от толщины пластинки  $h$  с каждой из ее поверхностей.

Полученные данные показывают, что резерв несущей способности пластинки  $P^*$  убывает с ростом глубины проникновения внешней агрессивной среды в глубь материала пластинки.

#### Библиографический список

1. Кривошеин И.В. Долговечность гибких физически нелинейных пологих оболочек и пластинок / И.В. Кривошеин. Саратов. Саратов. гос. техн. ун-т. 2016. 267 с.

### СОСТАВЫ СМЕСЕЙ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ЦЕМЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Кузнецова Н.В., Дубровин А.И.  
ТГТУ, г. Тамбов, Россия

В Центрально-Черноземном регионе крупнейшее литейное производство располагается в г. Липецке (ПАО "НЛМК"). При сохранении существующих мощностей производства годовой объем отходов в виде шлаков составляет 0,64 млн. т, которые складировются на полигонах.

Одним из возможных вариантов утилизации отходов металлургических производств является их использование при производстве строительных материалов.

С учетом физико-химических характеристик, особенностей структуры и дисперсности отходов литейного производства ПАО "НЛМК"

предлагается использовать предварительно измельченный гранулированный шлак для частичной замены природного мелкого заполнителя в цементных смесях при изготовлении мелкозернистого бетона. Гранулированный доменный шлак измельчался в вибровращательной шаровой мельнице до модуля крупности 1,88.

В результате обработки экспериментальных данных были получены зависимости прочности на сжатие образцов мелкозернистого бетона с вяжущим из портландцемента от ряда факторов: содержания гранулированного доменного шлака (доля от мелкого заполнителя), содержания микрозаполнителя (% от массы вяжущего), пластифицирующей добавки, отношения вяжущее:заполнитель. В результате анализа полученных зависимостей для практического использования в производстве новых строительных материалов были выбраны несколько составов компонентов бетонной смеси. При определенных соотношениях компонентов в составах образцы мелкозернистого бетона характеризовались большими значениями прочности по сравнению с образцами без добавления гранулированного доменного шлака. Максимальное повышение прочности этих бетонов составляет до 22% при введении 30% шлака и достигает 6,5...7 МПа при введении пластификатора С-3 в количестве 3% от массы вяжущего.

Основной областью использования мелкозернистых бетонов с добавкой шлаков может являться изготовление стеновых блоков. Физико-механические характеристики мелкозернистых бетонов приведенных составов (прочность на сжатие) соответствуют классам изделий В5-В7,5 по ГОСТ 19010-82. При этом частично решается проблема утилизации отходов литейного производства в виде шлаков и создаются конкурентоспособные новые строительные изделия.

## **ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМИЧЕСКОЙ ЧЕРЕПИЦЫ НА ОСНОВЕ АРГИЛЛИТОПОДОБНЫХ ГЛИН**

Лазарева Я.В., Лапунова К.А., Котляр В.Д.  
*ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, Россия*

Несмотря на появление многих новых современных кровельных материалов, керамическая черепица во многих странах остаётся основной в жилищном строительстве. Появляется всё больший интерес к ней и в нашей стране. Это обусловлено её неоспоримыми конкурентными пре-

имуществами – долговечность, огнестойкость, морозостойкость, красота, устойчивость к солнечной радиации, агрессивным средствам и т.д.

Основными тенденциями в развитии производства керамической черепицы являются – снижение удельного веса, водопоглощения, увеличение размеров и прочности, многообразие декорирования. Это предъявляет особые требования к сырьевым материалам и технологии производства. Поисково-технологические работы позволили нам выделить наиболее перспективное сырьё для производства керамической черепицы – аргиллитоподобные глины, которые ранее мало привлекали внимание технологов и геологов.

Данный вид глинистого сырья является камнеподобным, плохо размокающем в воде, в большинстве случаев относится к группе спекающегося сырья, черепок на его основе обладает высокой прочностью при изгибе. Особенностью же является то, более крупные частички на стадии формовки и сушки выполняют роль отощавшего компонента, а мелкие пластичного и связующего. Это позволяет оперативно регулировать многие технологические свойства в процессе производства.

Учитывая это, нами была разработана принципиальная технологическая схема, отличающаяся от традиционных схем с использованием многокомпонентных формовочных масс. Изначально сырьё проходит грубое и затем среднее измельчение (менее 5-10 мм). После чего подвергается тонкому измельчению с последующим разделением на фракции 1-2 мм и менее 0,2 мм. Для этого используется маятниковая мельница, в комплекте с которой линия содержит классификатор центробежно-воздушного типа для сортировки материала.

Соотношение фракций в зависимости от требуемых технологических свойств сырьевых материалов и свойств изделий может составлять от 7:3 до 4:6. Фракция 1-2 мм обеспечивает меньшую усадку, малую чувствительность к сушке, способствует сохранению формы изделий. Наличие определённого количества мелких фракций способствует спеканию при обжиге, т.к. именно дисперсность материала является одним из важнейших факторов спекания. Формование изделий осуществляется способом компрессионного формования при повышенной влажности и небольших удельных давлениях – до 10 МПа. Определённое соотношение мелких и крупных фракций обеспечивает большее уплотнение пресс-массы и наилучшие физико-механические характеристики изделий. Фактически используя один компонент, можно получать качественные изделия с минимальной себестоимостью.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛОСКОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ФУНДАМЕНТОВ

Леденев В.В., Тью Тхи Хоанг Ань  
ГГТУ, г. Тамбов, Россия

Проведена математическая обработка многочисленных полевых и лабораторных опытов с мало- и крупномасштабными моделями буронабивных фундаментов в песчаных и глинистых грунтах ненарушенной и нарушенной структуры. Диаметры моделей  $d$  изменяли от 5 до 80 см, глубину заложения  $h$  от 0 до 320 см, относительное заглубление  $\lambda = h/d$  от 0 до 5. Нагрузку на модели передавали рычагом или гидравлическим домкратом ступенями по  $(1/10 \dots 1/20) F_{\max}$  и увеличивали до предельного состояния  $F_u$ , которое наступало при опрокидывании модели, непрерывного его перемещения или достижении определенной величины ( $s/d \sim 0,1$ ;  $u \sim 1$  см). В опытах изменяли относительный эксцентриситет силы  $e_0 = e/R$ , угол наклона силы к вертикали  $\delta$ , принимая  $e_0 = -1 \dots 0 \dots 1$ ;  $\delta = 0 \dots 180^\circ$ .

В опытах определяли осадку центра модели в уровне поверхности  $s$ , горизонтальное перемещение  $u$ , крен  $i$ , относительные координаты мгновенных осей вращения  $\bar{x}_c = x_c/R = u/(iR)$ ;  $\bar{z}_c = z_c/h = s/(ih)$ , где  $R$  – радиус поперечного сечения модели; ось  $z$  направлена вниз по оси модели. Определяли и предельные величины перемещений  $s_u, u_u, i_u$ . Уровень перемещений  $\bar{s} = s_i/s_u, \bar{u} = u_i/u_u, \bar{i} = i_i/i_u$  где  $s_i, u_i, i_i$  – текущие величины.

Плоское перемещение модели рассматривали как вращение относительно мгновенных осей. Построены многочисленные функции  $\Delta = \Delta(F, \lambda, e_0, \delta, t)$ , где  $\Delta - s, u, i$ ;  $t$  – время. Такой подход позволил решать ряд задач, в том числе, по определению зон отрыва от грунта, распределению контактных напряжений.

При  $(\lambda, e_0, \delta) \rightarrow \text{opt}$  можно получить  $i \leq [i], u \leq [u]$  или  $i \rightarrow 0, u \rightarrow 0$ , где  $[i], [u]$  – предельно допустимые величины.

Расчеты МКЭ по программе «Paxis 8x» с использованием упругой модели основания показали заниженные величины перемещений. Это объясняется тем, что такая среда одинаково сопротивляется растяжению и сжатию. Учитывая, что сопротивление грунта растяжению мало и его не учитывают. М.И. Горбуров-Посадов предложил способ двойных сил.

Регулируя  $\lambda, e_0$  и  $\delta$  можно изменить направление перемещений фундамента и изменить его влияние на соседние.

## ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА НДС ЗДАНИЙ И КОНСТРУКЦИЙ

Леденев В.В., Тью Тхи Хоанг Ань  
ТГТУ, г. Тамбов, Россия

Проведенные многочисленные обследования зданий и несущих строительных конструкций, экспериментальные и теоретические исследования, анализ результатов научных работ других авторов позволил установить следующие:

1. Элементы системы «здание-фундамент-основание», «конструкции-стыковые соединения» отличаются: формой, размерами, пространственным расположением, жесткостью, физико-механическими и реологическими свойствами материалов, уровнем и видом напряженного состояния, условиями эксплуатации, наличием дефектов, повреждений и начальными напряжениями, предельными величинами деформаций.

2. Степень нагруженности и деформирования оценивается относительными параметрами  $0 < \bar{a} = a_i / a_u < 1$ , где  $a$  – напряжения, деформации, перемещения, нагрузки;  $a_i$  – текущая величина параметра;  $a_u$  – его предельное значение.

3. В большинстве случаев  $\bar{a} \sim 0,5 \dots 0,7$ , т.е. материал находится в линейной, квазилинейной или линейно-деформируемой стадии работы. При  $\bar{a} > 0,8$ , резко возрастают как правило, деформации, перемещения и их скорости, дефекты структуры, развиваются реологические свойства (ползучесть, релаксации), снижается сопротивление материала во времени. Это приводит к появлению и развитию трещин.

4. Здания, сооружения и стыковые соединения приспособляются (до определенных пределов) к меняющимся условиям эксплуатации: повышению температуры и влажности, изменению временных нагрузок и воздействий, влиянию близко строящихся зданий или проводимых строительных работ (забивка свай, отрывка глубоких котлованов). Опасность представляет степень их воздействия и неравномерность проявления во времени и в пространстве.

5. Значительные повреждения и разрушения вызывают: грубые ошибки при изыскании, проектировании, строительстве и эксплуатации; не учет взаимного влияния фундаментов и технологии ведения строительного-монтажных работ, геологических и коррозионных процессов; подтопление территории; изменение расчетных схем (например, при изменении проектных решений или перепланировке помещений в период эксплуатации); аварии из-за отсутствия контроля качества или не проведения запланированного мониторинга и др.

## **ХАРАКТЕРИСТИКИ ОПЕРАЦИЙ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ**

Леонов В.М.

*ТулГУ, г. Тула, Россия*

В соответствии с дальнейшим анализом характеристик процесса магнитно-импульсной обработки материалов на базе реализующей программы Tetra Compound v.1.1, свидетельство № 2013610558 на основе соотношений Трещёва А.А. [1, 2]. Рассмотрение тестовых сплавов на примере АМг2М в конечно-элементной модели позволяет производить детальный анализ всех параметров напряженно-деформированного состояния для любой выбранной области исходной заготовки. Рассмотрение формоизменения образца при длительности процесса более 25 мкс. для осевого и продольного сечения, а также сечения под углом 45° от оси заготовки на операции отбортовки бокового отверстия. Расстояние выбранных точек от края отверстия составляет 5 мм. Расчет с однослойной сеткой конечных элементов в форме тетраэдра (24 тетраэдра образуют единичный прямоугольный параллелепипед) с четырьмя узлами регулярной равномерной решетки, каждый узел обладает шестью степенями свободы в 3D постановке для решаемой задачи. Результирующее значение числа элементов находится в пределах  $2 \dots 6 \cdot 10^4$  элементов. Рассмотрение протекающих процессов формоизменения материала на операции отбортовки бокового отверстия предполагает с учетом возможного масштабирования в дальнейшем широкий спектр возможных решений, направленных на оптимизацию существующих и разработку новых технологий с учетом фактора замещения импортной продукции. При генерации формировалась регулярная неравномерная сетка конечных элементов для достижения требуемой степени дискретизации в местах с наибольшей интенсивностью деформаций.

При формоизменении цилиндрических оболочек возникают существенные дополнительные усилия в их срединной поверхности. Процесс сложного формоизменения может быть сведен к системе локально-простых процессов. В ходе которых рассмотрение траектории

деформирования может быть представлено в поэтапном виде. Ресурсоёмкость данного расчета очевидна. Вычисление, хранение данных и последующий анализ также являются самостоятельной задачей. В связи с этим необходимо ограничить рассматриваемую область.

Проводимый анализ распределения компонент тензоров в объеме материала и во времени позволяет отследить их пространственно-временное изменение с целью оценки темпов и характера взаимно относительного распределения. Для компонент тензора, обеспечивающих наибольший вклад в изменение интенсивности и работы деформации подобный подход позволяет сформулировать ряд промежуточных параметров и результирующий критерий для оценки меры исчерпания ресурса пластичности. Вклад каждой из компонент тензора в совокупный объем работы по формоизменению материала.

Из ранее проведенных расчетов и последующего анализа значений деформаций в точках 1 и 3 можно сделать вывод, что операцию отбортовки отверстия в цилиндрической заготовке предпочтительнее проводить при частоте разряда большей 15 кГц для снижения деформаций на крае отверстия при постоянном угле отбортовки. Так, например, для радиуса 0.29 при увеличении частоты с 8 до 20 кГц интенсивность деформаций снизится с 25 до 20%.

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

Различие в диаграмме напряжений для выбранных точек позволяет сделать вывод о различном соотношении нормальных и касательных напряжений и необходимости более детального анализа компонент

тензоров напряжений и деформаций, а также взаимосвязанных значений накопленной работы по формоизменению материала. Для верхней точки в осевом сечении сдвиговые деформации преобладают над нормальными, последние являются преобладающими в крайней точке поперечного сечения заготовки.

Зависимость работы деформации от частоты носит минимаксный характер. Точка минимакса работы деформации достигается при значении относительного диаметра отверстия 0,28 и рабочей частоты 9,27 кГц. Значение работы в точке минимакса 24,5 Дж. Изменение относительного диаметра отверстия от точки минимакса в обе стороны ведет к увеличению работы деформации на 30-47%. Стоит отметить, что уменьшение относительного диаметра отверстия с 0,14 приводит к росту напряжений в среднем в 1,45 раза и деформаций в 2 раза вблизи края отверстия, точки 1, 3.

Предпочтительной с точки зрения минимума работы деформации является величина относительного диаметра отверстия 0,26. Увеличение работы деформации при увеличении относительного диаметра отверстия до 0,4 обусловлено увеличением объема деформируемого материала, несмотря на общее снижение показателей объемного напряженно-деформированного состояния.

## **ДЕФОРМИРОВАНИЕ ГРУНТОВ В ОСНОВАНИИ ФУНДАМЕНТОВ ПОД НАГРУЗКОЙ**

Макарова С.В., Айгумов М.М.  
*СГТУ, г. Саратов, Россия*

Вопрос о деформировании грунтов в основании фундаментов под действием внешней нагрузки в механике грунтов относится к важнейшим, так как на его решении базируются современные методы проектирования фундаментов по предельным деформациям (осадкам) оснований. От величины осадок, скорости их протекания во времени и разности осадок отдельных частей зданий во многом зависит сохранность сооружений [1].

Под действием нагрузки, передаваемой сооружением через подошву фундамента, основание деформируется, в грунтах основания возникают как упругие, так и остаточные деформации, при этом остаточные деформации могут быть несколько десятков раз больше упругих. Дальнейшее нарастание нагрузки может привести к предельным величинам

осадок, когда становится невозможной нормальная эксплуатация здания или к разрушению грунтового основания, которое характеризуется появлением в основании поверхностей скольжения.

Многочисленными полевыми и лабораторными исследованиями деформаций грунтового основания установлено, что зависимость осадки фундамента от возрастающей от нуля до некоторого значения нагрузки, характеризуется графиком, который имеет вид кривой, состоящей из двух участков: первого – пологого, а второго – с крутым очертанием [2].

Для незаглубленного фундамента на песчаном основании на графике деформирования можно выделить три фазы деформаций грунтового основания. Классическая характеристика фаз деформаций дана Н.М. Герсевановым [3]:

В первой фазе деформаций преобладают деформации уплотнения, сохраняется приближенная линейная зависимость между осадкой и нагрузкой, не используется сопротивление грунтов сдвигу.

Во второй фазе деформаций появляются отдельные области, в которых сопротивление сдвигу оказывается использованным. При развитии областей сдвига образуются поверхности скольжения.

В третьей фазе деформаций поверхности скольжения выходят на поверхность, происходит общий сдвиг в основании, которая сопровождается выпором грунта на поверхность.

#### Библиографический список

1. Цытович, Н.А. Механика грунтов. – 4-е изд., переработ. и доп. / Н.А. Цытович. – М. : Госстройиздат, 1963. – 636 с.
2. Березанцев, В.Г. Расчет оснований сооружений / В.Г. Березанцев. – Ленинград : Стройиздат, Ленинградское отделение, 1970. – 208 с.
3. Герсеванов, Н.М. Применение математической логики к расчету сооружений / Н.М. Герсеванов. Собрание сочинений. – М. : Стройвоенмориздат, 1948. – Т. 1. – 268 с.

## **ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА МЯГКОЙ КРОВЛИ**

Максимова А.А., Ярцев В.П., Загородникова М.А.

*ТГТУ, г. Тамбов, Россия*

В процессе эксплуатации кровельные материалы подвергаются воздействию внешних и внутренних факторов старения (светового излучения, повышенных температур, агрессивных сред). При длительном воздействии этих факторов происходит изменение структуры материала и

большинства его физико-механических характеристик, что способствует снижению эксплуатационных свойств материалов, а также их долговечности.

Наиболее значимым фактором, способствующим старению полимерных материалов, является температура, которая может оставаться длительное время постоянной, либо изменяться от положительной к отрицательной. Действие теплостарения (температур) приводит к снижению связей между ячеек, в результате чего происходит потеря массы полимера и плотности, так как структура полимеров неоднородная. Ослабление связей между ячеек так же может приводить к более интенсивному поглощению.

Контакт кровельного материала с водой приводит к набуханию, в результате чего может изменяться форма материала и понижаться его прочность, также может произойти распад химических связей, этот процесс скорее протекает при повышенных температурах.

Не менее значимо для эксплуатации световое старение, которое приводит к изменению не только физико–механических свойств, но и визуальному восприятию материала. В лабораторных условиях осуществляется искусственное старение под действием световой радиации, с использованием различных источников света, и под действием температур и нагрузок.

Практически все полимеры подвержены деструкции под действием УФ-излучения. Световое старение обусловлено химическими реакциями, в которых могут участвовать краситель, полимерная основа, кислород и вода. УФ-излучение поглощается в основном поверхностными слоями полимерной мембраны, которые в результате протекающих фотохимических реакций оказываются как бы защитными для внутренних слоев, куда коротковолновая радиация уже не проникает. Особенно сильно под действием света разрушаются тонкие пленки и покрытия [1, 2].

#### Библиографический список:

1. Эмануэль, Н.М. Химическая физика старения и стабилизации полимеров / Н.М. Эмануэль, А.Л. Бугаченко. – М.: Наука, 1988. – 368 с.
2. Загородникова, М.А, Влияние факторов старения на долговечность полимерных материалов / М.А. Загородникова, В.П. Ярцев В.П. // Научн. вестник ВГАСУ. – Выпуск №2 (11). – 2015. – 146 с.

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ СЛОЖНОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ И БАРОМЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ**

Малинин В.Г., Мавлюбердинов Д.В.  
*Орёл ГАУ, г. Орёл, Россия*

По прогнозам Агентства стратегических инициатив и Фонда Сколково [1], перспективными направлениями в области новых материалов и нанотехнологий будут:

- программируемые материалы (материалы с эффектом памяти формы);
- сложные неодородные материалы (СТРИП-стали, композитные материалы).

У перечисленных материалов, существенное влияние на механические свойства оказывает гидростатическая часть тензора напряжений. Для полноценного исследования механического поведения на стадии неупругого деформирования материала, необходимы испытательные машины, способные проводить испытание при сложном напряженном состоянии в условиях высокого гидростатического давления [2-5].

Авторами данной статьи был разработан вариант установки [6,7] способный проводить испытания при сложном нагружении тонкостенных трубчатых образцов в условиях высокого гидростатического давления.

По результатам тестовых испытаний был сделан вывод, что на существующем варианте машины можно испытывать материалы в пластической области деформирования вплоть до разрушения, например, испытания, целью которых выступает определение предельной пластичности в условиях высокого гидростатического давления при разрушении материала. Однако вопрос изучения процессов деформирования при небольших величинах деформации (до 5-ти процентов) на основе созданной методике будет весьма грубым, что не позволит выполнить необходимые исследования с целью формулировки определяющих соотношений для прогноза баромеханических эффектов мартенситной неупругости.

Данный недостаток установки связан с точностью контроля за исполнительным приводом осевого нагружения, который в разработанном варианте не превышает 0,2 мм, что недостаточно, например, для

исследования таких металлов, как NiTi, обладающего баромеханическими эффектами памяти формы и пластичности превращения.

Для увеличения точности контроля за осевым перемещением предлагается заменить гидравлический привод на электромеханический. Данный вариант позволяет выставлять верхний захват машины с точностью 0,05 мм, что даёт возможность проводить исследования механических свойств по сложным траекториям нагружения, как в пространстве напряжений, так и в пространстве деформаций.

Другой проблемой, выявленной в ходе испытаний, является низкая жесткость захватов установки, что оказывает влияние на погрешность измерения осевой и окружной деформации. С целью увеличения жесткости конструкции предлагается уменьшить длину верхнего плунжера и изменить конструкцию его крепления. Кроме того, синхронно измерять угол поворота на верхнем и нижнем плунжере, вычисляя угол закручивания образца разностью в их показаниях.

Следует так же заметить, что процесс подготовки к испытаниям на установке занимает значительно количество времени. После анализа конструкции было предложено переработать конструкцию нижнего плунжера, сделав его разборным.

Перечисленные изменения в конструкции позволяют проводить исследование механических свойств материалов в условиях высокого гидростатического давления в упругой области их деформирования, исследовать поведение металлов, обладающих фазовым превращением под действием гидростатического давления. Существенно сократить время подготовки к испытанию и увеличить эффективность работы на установке. Увеличить точность измерения деформаций образца.

#### Библиографический список

1. Атлас новых профессий [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.skolkovo.ru/public/media/documents/research/sedec/SKOLKOVO\\_SEDeC\\_Atlas.pdf](http://www.skolkovo.ru/public/media/documents/research/sedec/SKOLKOVO_SEDeC_Atlas.pdf)
2. Лихачёв, В.А. Структурно-аналитическая теория прочности / В.А. Лихачёв, В.Г. Малинин. – СПб.: Наука, 1993. – 471 с.
3. Голенков, В.А. Структурно-аналитическая мезомеханика и ее приложение: монография / В.А. Голенков, В.Г. Малинин, Н.А. Малинина. – М.: Машиностроение, 2009. – 635 с
4. Зайцев, В.И. Физика пластичности гидростатически сжатых кристаллов: монография / В.И. Зайцев. – Киев: Наука думка, 1983. – 188 с.

5. Важенцев, Ю.Г. Исследование прочности и пластичности некоторых конструкционных материалов под гидростатическим давлением: дисс. ... канд. тех. наук – Томск, 1976 – 89 с.

6. Малинин, В.Г. Универсальный стенд для испытания материалов в условиях высокого гидростатического давления и контролируемого сложного напряженного состояния / В.Г. Малинин, Н.А. Малинина, Д.В. Мавлюбердинов, Д.К. Петров // Ученые записки Орловского государственного университета. Серия «Естественные, технические и медицинские науки». – Орел: изд-во ОГУ, 2014. – С. 61-64.

7. Универсальная испытательная машина для проведения исследований материалов в условиях высокого гидростатического давления: пат. №115483 Российская федерация. – № 2011151215/28; заявл. 14.12.11; опубл. 27.04.12. – 4 с.

### **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ И ВНЕДРЕНИЕ КРИТЕРИЯ РАЗРУШЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ С КОНЦЕНТРАТОРАМИ В ПО ANSYS, APM STRUCTURE 3D**

Малинин В.Г., Морозов Е.А.

*ОрёлГАУ, г. Орёл, Россия*

Выполнен анализ напряжённно-деформированного состояния в упругопластической постановке в зоне локального разрушения в стальных пластинах и цилиндрических оболочках (Ст 3 и Ст 45) с различными формами концентраторов при помощи метода конечных элементов с использованием ПО: ANSYS и APM Structure3D.]

Разработана методика экспериментального изучения процессов локального разрушения изделий с концентраторами напряжений с применением методов структурно-аналитической мезомеханики и неразрушающего контроля – метода магнитной памяти метала.

Экспериментальные исследования проводились с помощью автоматизированного комплекса для структурно-термомеханических испытаний при сложном напряжённно-деформированном состоянии, который создан на базе модернизации универсальной испытательной машине УМЭ-10ТМ. ]

Данный комплекс в режиме программируемого автоматизированного управления при испытаниях в условиях сложного напряжённно-деформированного состояния позволяет дать не только качественную, но и количественную, оценку изменения механических свойств материала

и провести анализ структурных повреждений в процессе нагружения вплоть до полного разрушения изделия.

Обоснована инвариантность критерия критического максимального локального растягивающего напряжения к геометрии концентраторов напряжений и скорости нагружения.

Методом магнитной памяти металлов на основе установленных тензорных параметров собственного магнитного поля рассеяния (СМПП) подтверждена инвариантность критического максимального локального растягивающего напряжения к различным видам концентратора напряжений. ]

Выполнена проработка вопроса внедрения структурно-аналитических критериев разрушения, учитывающих структурную повреждаемость в процессе нагружения в программный комплекс АПМ Structure 3D.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ СПЛАВОВ С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ В КАЧЕСТВЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯГАЕМОЙ АРМАТУРЫ В МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ**

Малинин В.Г., Муссауи Ю.Ю.

*ОрёлГАУ, г. Орёл, Россия*

Предложен эффективный способ применения и методами структурно-аналитической мезомеханики выполнен расчёт напряжённо-деформированного состояния конструкций из сплавов с эффектом памяти формы, используемых для создания предварительного напряжения в монолитных железобетонных элементах зданий и сооружений. Представленный ниже способ применения, в отличие от приведённого в патенте № 2020233, заключается в использовании не отдельных стержней, а ферменных или рамных конструкций для создания усилия преднапряжения.

Процесс термосилового воздействия на конструкцию из материала с памятью формы включает следующие этапы:

- изготовление ферменной или рамной конструкции из материала с памятью формы с необходимым в зависимости от величины пролёта и эксплуатационных нагрузок строительным подъёмом;
- термосиловое воздействие по заданной программе в интервале температур прямого мартенситного превращения для компенсации величины строительного подъёма (этап подготовки);

- разгрузка конструкции;
- установка ферменной или рамной конструкции в опалубку с последующим бетонированием железобетонного элемента;
- нагрев отдельных элементов ферм или рам для проявления эффекта памяти формы и полного восстановления исходного состояния со строительным подѐмом (собственно создание усилия предварительного напряжения).

На основании разработанной математической модели подобран наиболее эффективный интервал температур и структурное состояние с точки зрения приложения минимальных внешних нагрузок, а также средствами программного продукта конечно-элементного анализа Ansys Workbench 15.0 путѐм адаптации интегрированных в этот продукт моделей пластичности, выполнен расчѐт напряжѐнно-деформированного состояния ферменной конструкции на этапе её подготовки к установке в опалубку.

Отметим, что в перспективе исследования подобных конструкций могут быть направлены на изучение влияния конструктивной схемы ферм или рам на эффекты мартенситной неупругости. Также целесообразно рассмотреть такие варианты конструктивных схем, в которых отдельные элементы изготавливаются из материала с эффектом памяти формы, остальные элементы могут быть изготовлены из арматурной стали различных классов.

## **АНАЛИЗ УРАВНЕНИЙ СТРУКТУРНО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ МЕЗОМЕХАНИКИ МАТЕРИАЛОВ С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ ФОРМЫ ПРИ ПЛОСКОМ НАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ**

Малинина Н.А, Малинин Г.В.

*ОрѐлГАУ; г. Орѐл, Россия*

В данном сообщении приведены результаты анализа уравнений мезомеханики материалов с эффектом памяти формы на микро, мезо и макромасштабном уровнях. С целью получения аналитических выражений исследован вариант линейного напряжѐнного состояния. Рассмотрен случай, когда деформационные свойства формируются за счет инициирования обратимых фазовых превращений мартенситного типа, а уровни напряжений не превышают дислокационный предел текучести. С учетом сказанного на основе определяющих соотношений мезомеханики материалов с обратимыми мартенситными превращениями

выведены уравнения и решены задачи аналитического прогноза деформации пластичности превращения.

С целью расчета интенсивности ориентированных структурных напряжений, мартенситной природы инициируемых несовместными деформациями на движущейся границе раздела мартенситной и аустенитной фаз мезо структурного масштабного уровня выведено интегральное уравнение Фредгольма первого рода с вырожденным ядром.

Получены аналитические соотношения для расчета компонент четырехвалентных тензоров кинетических коэффициентов структурой податливости и структурной релаксации.

Разработана методика верификации параметров определяющих соотношений.

Представлены результаты систематических теоретических исследований структурно-механического состояния математического объекта, близкого по свойствам к сплаву Cu-12%Al-4,5%Mn, при сложных траекториях изотермического нагружения в пространстве напряжений, содержащих участки знакопеременного воздействия. Большое внимание уделяется анализу влияния исходного фазового состава и вида напряженного состояния на деформационные эффекты мартенситной неупругости. Подробно исследуются перекрестные эффекты механоциклической памяти формы. Полученные результаты находятся в хорошем соответствии с данными опытов.

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ИНВАРИАНТНОСТИ ГРАДИЕНТНОГО КРИТЕРИЯ МАКСИМАЛЬНЫХ ЛОКАЛЬНЫХ РАСТЯГИВАЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ**

Малинина Н.А., Малинин В.Г., Малинин В.В., Димов А.А.  
*ОрёлГАУ, г. Орёл, Россия*

Существенными факторами, приводящим к хрупкому характеру разрушения стальных изделий, является скорость нагружения и геометрия концентратора напряжений. В связи с этим проводили изучение влияния скорости нагружения и геометрии концентраторов напряжений на критическое максимальное локальное растягивающее напряжение. Исследовалось влияние неоднородности напряжённого состояния на структурно-механические характеристики материала в окрестности макроконцентратора напряжений в виде трещин длиной  $l = 19-20$  мм и эллипсов, различным образом, ориентированных по отношению к оси растяжения пластины

Для экспериментальных исследований структурно-механических параметров стальных пластин с макроконцентраторами использовались приборы для измерения собственного магнитного поля рассеяния, изготовленные в ООО «Энергодиагностика». В частности, применяли оригинальный 12-ти канальный феррозондовый датчик и магнитометр ИКНЗ-М12. Была спроектирована и изготовлена специальная оснастка, позволяющая: обеспечить непрерывный и синхронный мониторинг параметров собственного магнитного поля рассеяния (СМПР); регистрацию номинальных напряжений ( $\sigma$ ) и деформаций. Весь массив экспериментальных данных, содержащий несколько тысяч измерений, обрабатывался с помощью специальной программы с целью получения графиков иллюстрирующих синхронные зависимости номинального напряжения, параметров СМПР от времени ( $t$ ). Разработанный алгоритм и программа в среде MathCad включает следующие параметры СМПР: компоненты вектора напряженности СМПР ( $H_i$ ); модуля вектора напряженности ( $H_i H_i$ )<sup>1/2</sup>; тензорный параметр  $M = H_i H_k$  и его второй инвариант  $I_2$ .

Полученные экспериментальные данные позволили обосновать инвариантность структурно-аналитического градиентного критерия максимальных локальных растягивающих напряжений [1] по отношению к типу концентратора напряжений и скорости нагружения.

#### Библиографический список

1. Малинина, Н.А Развитие структурно-аналитической мезомеханики разрушения для стальных тел с концентраторами напряжений / Н.А. Малинина, В.Г. Малинин, В.В., Малинин, А.А. Димов // Сборник материалов VIII Международного научного симпозиума «Проблемы прочности, пластичности и устойчивости в механике деформируемого твёрдого тела», посвящённого 85-летию со дня рождения В.Г. Зубчанинова. – 9-11 декабря 2015. – С.172-176.

### **АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПОДПОРНЫХ СТЕН (НА ПРИМЕРЕ г. КРАСНОЯРСКА)**

Мезенцев В.В., Хованский М.Е.  
СФУ, г. Красноярск, Россия

Из-за особенностей рельефа города Красноярска возникает острая необходимость применения подпорных стен в благоустройстве городской среды (рис. 1).

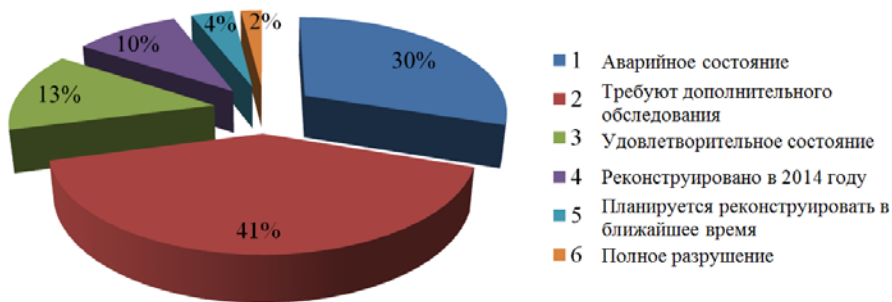


Рис. 1. Результаты анализа состояния подпорных стен в городе Красноярске

Кроме того, применение данной конструкции может носить в себе и архитектурный замысел. Строительство и реконструкция подпорных стен остается одной из актуальнейших проблем нашего города.

Основными причинами деформации подпорных стен являются:

- процессы физического выветривания из-за проникновения влаги в тело стенки;

- давление на стенку со стороны подпора – действие гравитационных сил (выдавливание). Стенка подпирает собой часть тротуара, на котором всегда довольно интенсивное движение. Тем самым, грунты, которые находятся под основной дорогой, давят на подпорную стенку. Она начинает крениться, бетон, из которого она сделана, трескается;

- оседание грунтов основания подпорной стенки – действие суффозионных процессов. Суффозионные процессы – вынос мелких минеральных частиц породы, фильтрующейся через неё водой.

Часто встречающиеся нарушения при реконструкции:

- несоблюдение требований СП 48.13330.2011 «Организация строительства»;

- несоответствие фактического исполнения представленным проектным решениям по геометрическим параметрам;

- несоблюдение требований ГОСТ Р 53778-2010 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния».

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОБИЛЬНЫХ ЗДАНИЙ GEODOME (ГЕОКУПОЛ) В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

Мезенцев В.В., Хованский М.Е.  
*СФУ, г. Красноярск, Россия*

Мобильные здания GEODOME обладают рядом отличных технических и эксплуатационных характеристик. Кроме того, обладают необычным архитектурным стилем (рис. 1).

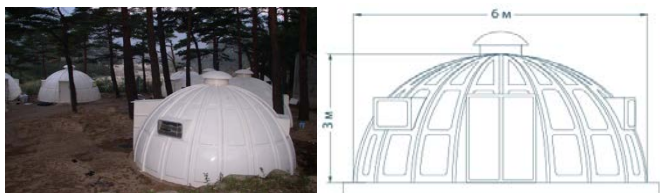


Рис. 1. Система GEODOME

Купол обладает свойством естественной вентиляции. Именно поэтому все древние жилища человека (юрта, вигвам, иглу) имели круглую форму и небольшое отверстие на макушке строения. За счет круглой формы и разности давления создается естественный воздушный поток, который вентилирует пространство внутри купола.

Конструкции ребристых куполов состоят из отдельных плоских или пространственных рёбер в виде балок, ферм или полуарок, расположенных в радиальном направлении и связанных между собой прогонами.

Для обеспечения общей жёсткости купола в плоскости прогонов устраиваются с определённым шагом скатные связи между рёбрами, а также вертикальные связи для развязки внутреннего пояса арки – между вертикальными связями устраивают распорки.

Расчётными элементами купольного покрытия являются: рёбра, опорное и центральное кольцо, прогоны, скатные и вертикальные связи.

Конструкция оказывает минимальная нагрузку на фундамент), низкая (вплоть до нулевой) усадка.

Прочность конструкции обеспечена используемым материалом, а жесткость – продольными и поперечными ребрами жесткости.

Армированное стекловолокно состоит из комбинации полиэфирной смолы, стекловолокна и усиливающих материалов из стальной сетки.

Крепление панелей между собой осуществляется болтовыми соединениями. Герметичность стыков предусмотрена конструктивным решением (используются резиновые прокладки).

Мобильные здания GEODOME являются лучшим выбором при использовании их в условиях крайнего севера, так как они помогают решить проблемы, связанные с транспортировкой и воздействием ветра.

### **НЕОБХОДИМОСТЬ УЧЕТА ФОРМЫ МОБИЛЬНОГО ЗДАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА**

Мезенцев В.В., Хованский М.Е.

*СФУ, г. Красноярск, Россия*

Северные районы объединяют специфические климатические, территориальные и экономические особенности, требующие специального подхода при промышленном освоении.

Специфика применения мобильных зданий, связанная с их транспортировкой и использованием в экстремальных условиях, зачастую диктует необходимость поиска новых пространственных форм.

В строительной практике широко используют прямоугольную форму объемного блока (рис. 1).



Рис. 1. Контейнерный тип здания

Это обусловлено прежде всего:

- простотой технологии изготовления;
- простотой монтажа;
- рациональной планировкой пространства.

К сожалению, традиционная форма не обладает высокой обтекаемостью, что сильно влияет на транспортировку и использование при сильных ветровых нагрузках.

Плохо обтекаемые традиционные формы зданий вызывают значительные аэродинамические силы уже на малых скоростях, не позволяя вертолету развивать скорость более 80 км/ч. При этом резко возрастает

расход горючего (почти в 2 раза). Для снижения аэродинамических сил, действующих на здание в процессе его транспортировки, целесообразно проектировать его в форме хорошо обтекаемого тела.

При транспортировке грузовым автотранспортом присутствует ограничение по габаритам здания, так как здание должно быть не больше ширины дорожного полотна (3 м).

В настоящий момент разработаны системы, которые помогают решить проблемы, связанные с транспортировкой мобильных конструкций и воздействием ветра. Одной из таких систем является конструктивное решение GEODOME, имеющее купольную форму.

## **ОБЗОР МЕХАНИЗАЦИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

Мезенцев В.В., Хованский М.Е.  
*СФУ, г. Красноярск, Россия*

В наше время строительство не может существовать без использования машин и механизмов. Комплексная механизация строительной отрасли является основным вектором технического прогресса в строительстве. Она позволяет значительно увеличить производительность труда, качество выполняемых работ, уменьшает стоимость и продолжительность строительства. Улучшение механизации строительства – одна из основных задач строительных организаций и от решения этой задачи зависит вся организация строительных работ.

Механизация строительного производства – это замена ручных средств труда. Главными целями механизации является улучшение технического уровня производства, освобождение человека от тяжелых, трудоемких и утомительных процессов, уменьшение себестоимости и увеличения качества строительной продукции. Механизация является средством индустриализации строительства.

В зависимости от способа выполнения строительные процессы классифицируются:

- на ручные (немеханизированные), выполняемые с использованием ручного инструмента и приспособлений;
- полумеханизированные, осуществляемые с применением механизированного инструмента и приспособлений;
- частично механизированные, когда основная часть выполняется машинами;
- комплексно или полностью механизированные, когда все строительные процессы выполняются машинами;

- автоматизированные, когда операции выполняются машинами-автоматами.

В Российской Федерации степень использования механизации на земельных работах составляет около 99,5%. Несмотря на высокий уровень механизации в земельных работах, остается много работ, в которых уровень механизации мал. Например, ручной труд при кирпичной кладке достигает около 90%, при штукатурных, малярных и облицовочных работах – 72%, при плотницких, столярных – 76% и т. д.

В настоящее время принимаются меры для увеличения числа операций технологического процесса, ряда работ, которые выполняются машинами. Строительство стремится к наивысшей степени механизации процессов – автоматизации.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПК PLAXIS ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ СЛОЖНЫХ ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ**

Мезенцев В.В., Хованский М.Е.  
*СФУ, г. Красноярск, Россия*

По мнению многих специалистов в области геотехнических расчетов ПК PLAXIS выгодно отличается от остальных простой пользовательский интерес и высокая точность расчетов.

При проведении геотехнических расчетов необходимо наличие основных почвенных моделей для имитации нелинейного и нестационарного поведения почв. При этом следует обязательно учитывать и сам субстрат почвы как таковой, гидростатическое и негидростатическое поровое давление в ней.

Таким образом, основной акцент делается именно на взаимодействии почвы и тех сооружений, которые могут быть возведены на данном участке.

Ввод геометрии слоев грунта, конструкции, нагрузок и граничных условий базируется на САД-процедурах черчения, которые обеспечивают подробное и точное моделирование реальной ситуации.

Из созданной геометрической модели программа в автоматическом режиме генерирует неструктурированную конечно-элементную сетку с возможностью глобального и локального изменения ее плотности.

Использование в модели элементов высокого порядка полезно для равномерного распределения напряжений в грунте и точного предсказания недопустимых нагрузок.

Модели грунтов

1) модель Кулона-Мора: эта нелинейная модель базируется на параметрах грунтов, которые в большинстве случаев известны. Применяется, например, для вычислений реальных конечных нагрузок кольцевых фундаментов, коротких свай, а также для расчета запаса прочности.

2) модель рыхлых грунтов – используется для точного анализа логарифмической работы на сжатие нормально консолидированного рыхлого грунта.

3) модель мягких ползучих грунтов – усовершенствованная версия модели мягких грунтов, включающие моделирование второй стадии ползучести.

4) твердая модель – применяется для более твердых грунтов таких, как сверхконсолидированные глины и пески. Здесь используется упруго-пластичный тип гиперболической модели.

ПК PLAXIS предлагает различные виды расчетов:

- расчет пластичности;
- анализ консолидации;
- анализ усовершенствованной конечно-элементной сетки.

Расчетные фазы для каждого проекта могут определяться непосредственно перед выполнением вычислений.

## **СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА ПОДПОРНЫХ СТЕН**

Мезенцев В.В., Хованский М.Е.  
*СФУ, г. Красноярск, Россия*

### 1. Система армогрунтовых подпорных стен «Тенсар».

Эта технология заключается в использовании георешеток «Тенсар» для армирования грунта и различных облицовочных элементов, таких, например, как модульные бетонные блоки сухой кладки. Облицовочные элементы изготавливаются в пресс-машинах вибрационного уплотнения полужесткой бетонной смеси. Бетонные блоки облицовки формируют лицевую грань с углом наклона  $86^\circ$ , укладка осуществляется на сухую, без применения вяжущего и подъемных механизмов. Вес блока высотой 150 мм позволяет осуществлять его установку вручную. Соединение облицовки с армированным слоем осуществляется с помощью закладной детали – коннектора, надежно фиксирующего георешетку в пазе нижнего ряда блоков. Устойчивость конструкции достигается благодаря фрикционному запираанию частиц грунта решетками и соединению георешетки Тенсар с облицовочными элементами.

Преимущества такой системы:

- простота ведения строительного-монтажных работ, сокращающая время и стоимость;
- проектный срок службы до 120 лет;
- высокая устойчивость к динамическим и сейсмическим нагрузкам;
- отсутствие необходимости в применении тяжелой сваебойной и крановой техники.

2. Система подпорных стен из габионных конструкций (габионов).

Современным и экономичным материалом, используемым для строительства подпорных стен, являются сетчатые габионные конструкции, которые обладают долговечностью, надёжностью и высокой прочностью. Габион представляет собой сооружение, имеющее пространственную прямоугольную или цилиндрическую форму, состоящую из прочной металлической сетки, заполненной природным камнем. Габионы (блоки) увязывают между собой проволокой, в результате чего получается гибкая подпорная стена.

Преимущества технологии:

- устойчивость к температурным колебаниям;
- высокая экологичность;
- низкие транспортные расходы;
- экономичность строительного-монтажных работ.

## **ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ РАСЧЕТА СИСТЕМЫ «ОСНОВАНИЕ-ФУНДАМЕНТ-ЗДАНИЕ»**

Мезенцев В.В., Хованский М.Е.  
*СФУ, г. Красноярск, Россия*

1 этап. Проектирование строительных конструкций по предельным состояниям

Метод предельных состояний, разработанный в СССР и основанный на исследованиях под руководством профессора Н. С. Стрелецкого, введён строительными нормами и правилами в 1955 году и является основным методом при расчёте строительных конструкций.

Расчет надфундаментных конструкций и фундаментов производился вручную; при этом работа основания учитывалась схластически, а иногда вообще не учитывалась.

2 этап. Проектирование строительных конструкций с помощью ЭВМ в простейших программных комплексах

В начале 60-х годов в отечественном строительстве возникло новое направление – строительство зданий повышенной этажности.

Ведущим ученым строительной отрасли стало ясно, что решение задач, возникших при появлении высотного строительства, необходимо искать в применении численных методов, а также ЭВМ, которые в то время были еще весьма несовершенны и для строительной отрасли трудно доступны.

Тем не менее, многие научно-исследовательские институты пытались создавать простейшие программы для расчета строительных конструкций, но уровень развития ЭВМ делал недоступным их широкое применение.

3 этап. Проектирование строительных конструкций с учетом грунтового основания

Ближе к 2000 годам произошел бум в сфере компьютеризации: появились «понятные» операционные системы, которые сделали персональный компьютер доступным для строительной отрасли.

Вместе с тем развивались и программы, которые существуют и по сей день: LIRA, SCAD, STARK ES и др.

Основным недостатком данных программных комплексов была невозможность представления основания в общей расчетной модели, поэтому на практике проектировщики разбивали этот расчет на две части:

- основание + фундамент;
- фундамент + надфундаментная конструкция.

Однако, современные программные комплексы (PLAXIS 2D, MIDAS GTS и т.д.) дают приближенные к реальным значения параметров (осадка, глубина сжимаемой толщи).

## **ПРИБЛИЖЁННЫЙ МЕТОД РАСЧЁТА АРМИРОВАННОЙ БАЛКИ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ С БИМОДУЛЬНЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ**

Моргун Л.В, Кадомцева Е.Э.  
*ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, Россия*

Бердник Я.А.  
*ЮФУ, г. Ростов-на-Дону, Россия*

Рассматривается балка произвольного поперечного сечения, нагруженная сосредоточенными силами и равномерно распределённой нагрузкой, на упругом Винклеровском основании. Балка армирована

стержнями, параллельными оси стержня. Учитывается, что модули упругости заполнителя на растяжение и сжатие разные. Свойством бимодульности, например, обладает фибропенобетон.

Предполагается, что балка по всей длине связана с упругим основанием. Из условия равенства прогибов и кривизн слоёв балки и арматуры получаем выражение приведённой жёсткости:

$$(EJ)_{\text{пр}} = E_c J_c + E_- J_- + E_+ J_+,$$

где  $E_c J_c, E_- J_-, E_+ J_+$  – жесткость при изгибе соответственно арматуры, сжатого и растянутого слоёв.

Для определения перемещений используется энергетический метод С.П. Тимошенко.

Выражение прогиба балки берётся в виде:

$$v(x) = a + f \sin \frac{\pi x}{\ell},$$

где  $a$  и  $f$  – параметры минимизации полной потенциальной энергии деформации  $V(a, f)$ .

Из условия  $\frac{\partial V}{\partial a} = F, \frac{\partial V}{\partial f} = F$ , получаем выражения  $a$  и  $f$ .

$$f = \frac{2\ell^3}{(EJ)_{\text{пр}} \pi^4} \left( \sum_i F_i \sin \frac{\pi c_i}{\ell} + \int_0^{\ell} q(x) \sin \frac{\pi x}{\ell} dx \right)$$

Численное исследование проведено для балки прямоугольного поперечного сечения с четырьмя симметрично расположенными стальными стержнями.

Для бетона с модулем упругости на растяжение  $E_+ = 70$  МПа и модулем упругости на сжатие  $E_- = 170$  МПа прогиб без учёта бимодульности заполнителя в 1,25 раза больше, чем с учётом бимодульности.

Для бетона с модулем упругости на растяжение  $E_+ = 110$  МПа и модулем упругости на сжатие  $E_- = 137$  МПа прогиб без учёта бимодульности заполнителя в 1,36 раза больше, чем с учётом бимодульности.

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТАЛЛОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ УНИКАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

Моржаков В.Г., Щербина А.А., Михайлов Р.В.  
*НИИЦ СТ ЖДВ Минобороны, г. Москва, Россия*  
*Спецстрой России, г. Москва, Россия*

Металлоконструкции грузоподъемных машин, рабочие органы строительных и дорожных машин, эксплуатируемых при возведении уникальных объектов, а также технологическое оборудование в сооружениях, работают в весьма тяжелых производственных условиях. Специальная техника возведения этих объектов (на примере космодрома Восточный), техническое оснащение и металлоконструкции доказали свою надежность за счет применения в конструкциях новых металлов: высокопрочных износостойких горячекатаных свариваемых сталей марок 18ХГНМФР, 14ХГ2САФД, 16ХГН2ФБР, 13ХГ2НДФ в толщинах 8,0...50,0 мм, выпускаемых отечественной группой НЛМК.

Стали группы НЛМК специально предназначены для изготовления оборудования, деталей и узлов, работающих в условиях повышенного износа. При этом хладостойкость металла для эксплуатации в условиях Крайнего Севера составляет до минус 60-70°С. Хорошая свариваемость обеспечивается ограничением содержания углерода и углеродного эквивалента, оптимально подобранной системой микролегирования стали и применением специальных режимов термообработки, что позволяет достичь более высокие прочностные характеристики.

Применение этих марок сталей в металлоконструкциях и грузоподъемной технике позволяет уменьшить их массу по сравнению с предыдущей конструкцией, а в транспорте (до 50% и более при той же прочности), увеличить вместимость кузовов на 10% с сокращением расхода топлива и увеличением срока службы рабочих органов (более чем в 4 раза) по сравнению, например, с ковшами из конструкционной легированной стали типа 10ХСНД.

**Выводы:** рекомендуется замена сталей (материалов) в конструкциях мостов и эстакад, кранов и копров, узлов ж/д и автотранспорта. Это позволит уменьшить их массу и соответственно расходы по эксплуатации, что весьма актуально на сегодняшний день. По этому пути модернизируются экскаваторные ковши отечественной фирмы

КРАНЭКС. Из этих сталея изготавливают 3-х секционную телескопическую стрелу на автокранах «Мотовилиха», есть и другие многочисленные примеры эффективности применения новых марок сталея.

**ОБ АКТУАЛЬНОСТИ РАЗРАБОТКИ МЕТОДИКИ  
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ  
ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ  
КАРКАСНО-ЩИТОВЫХ ЗДАНИЙ**

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

Вопросы долговечности ограждающих конструкций каркасно-щитовых зданий до настоящего времени не подвергались глубокому изучению с позиции кинетической теории прочности и деформативности. Однако прогнозирование параметров работоспособности ограждающих конструкций малоэтажных зданий позволит оценить затраты на эксплуатацию и ремонт здания в зависимости от степени его капитальности еще на стадии проектирования объекта. Повышение долговечности ограждающих конструкций в свою очередь позволит увеличить их безотказный срок службы, что приведет к положительному экономическому эффекту за счет уменьшения эксплуатационных затрат. Повышение энергоэффективности строящихся зданий приведет к снижению потребления тепловой энергии, следовательно, и к снижению антропогенной нагрузки на окружающую среду, что особенно важно в реалиях современного мира.

Для достижения цели по разработки методики прогнозирования долговечности материалов ограждающих конструкций малоэтажных каркасно-щитовых зданий необходимо решить ряд задач:

- проанализировать и классифицировать существующие методы прогнозирования долговечности с последующим выбором оптимального;
- проанализировать и классифицировать существующие методы повышения долговечности и эксплуатационной надежности строительных материалов;
- усовершенствовать выбранный метод с учетом условия работы материала;
- разработать рекомендаций по выбору наиболее эффективных утеплителей для различных условий эксплуатации.

Достижение поставленной цели позволит повысить долговечность ограждающих конструкций каркасно-щитовых малоэтажных жилых зданий массовой застройки и энергоэффективность строящихся малоэтажных жилых зданий, а также позволит снизить эксплуатационные затраты на ремонт ограждающих конструкций.

Таким образом, разработка методики прогнозирования и повышения долговечности ограждающих конструкций каркасно-щитовых зданий является актуальной задачей, как с научной, так и практической точки зрения.

## **К РАСЧЁТУ ПЛАВАЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ ПОПЛАВКОВОГО ТИПА ИЗ ПЛОСКИХ ЗАГОТОВОК**

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

Плавающие покрытия для вертикальных цилиндрических стальных резервуаров конструктивно разделяются на два вида: однодисковые (понтонные и поплавковые) и двухдисковые. Двухдисковые плавающие покрытия характеризуются непотопляемостью и высокой жёсткостью, однако из-за большой металлоёмкости и трудоёмкости изготовления они имеют определенные ограничения в применении. Для возможности разработки нового эффективного плавающего покрытия была использована новая концепция модифицированного плавающего покрытия поплавкового типа на базе исследований по изготовлению и монтажу стационарных купольных покрытий резервуаров с радиальными ребрами сварногнутого профиля и теории подкрепления пластин дутыми ортогонально расположенными элементами.

В результате проведения ряда экспериментов была предложена конструкция поплавкового плавающего покрытия из плоских заготовок с одновременным обеспечением жёсткости настила. Расчётная схема – это круглая пластинка, подкрепленная системой ортогонально расположенных жёстких рёбер в центральной части и кольцевого по контуру, расположенная на упругом «Винклеровом» основании с упруго оседающей и упруго поворачивающей опорой по контуру. Расчёт покрытия проводился на различные сочетания нагрузок.

Анализ напряженно деформированного состояния конструкции был выполнен по результатам расчёта плавающего покрытия поплавкового типа из плоских заготовок для вертикального цилиндрического сталь-

ного резервуара объёмом  $V_{\text{рез}} = 10000 \text{ м}^3$ . Кроме этого был использован современный метод строительной механики (метод конечных элементов). Расчёт прочности принятой конструкции плавающего покрытия поплавкового типа был проведён с использованием программного комплекса «STARK\_ES». Эпюры перемещений плавающего покрытия (ПП) при прямой посадке указывают на наибольшее значение в центре раскрепленного квадратного сегмента, что подтверждает эпюра поперечных сил и значения эпюры изгибающих моментов в ребрах ПП. При прямой посадке перемещение плавающего покрытия от его собственной массы равно 22,2 см, что приблизительно соответствует условию  $T_0 = b_{\text{кп}}/2$  ( $b_{\text{кп}} = 51 \text{ см}$ ). Перемещение от действия сочетание нагрузок (постоянной и снеговой) равно 24,4 см и меньше в 2 раза  $T_{\text{max}}$ . Максимальная величина изгибающих моментов в рёбрах составляет в центральной части  $M_S = 8,86 \text{ кН м}$ , а на контуре  $M_S = 19,71 \text{ кН м}$ .

При наличии крена максимальное перемещение на контуре плавающего покрытия равно 26,1 см, минимальное равно 15,2 см, а угол крена составляет  $\alpha \approx 1^\circ 01'$ .

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ УСИЛЕНИЯ КОМПОЗИТНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ НА ОСНОВЕ УГЛЕВОЛОКНА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ПЕРЕКРЫТИЙ СУЩЕСТВУЮЩИХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

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

На кафедре «Теория сооружений и строительных конструкций» СГТУ им. Гагарина Ю.А. под руководством к.т.н. доцентов Шагивалеева К.Ф. и Муртазина М.Р. магистрантом кафедры Муртазиной Г.Р. была разработана и выполнена программа экспериментального исследования оценки возможного увеличения несущей способности металлических элементов конструкций перекрытий при их усилении композитными материалами на основе углеродного волокна.

Экспериментальное исследование было запланировано в виде двух последовательных этапов и заключалось в проведении механических испытаний фрагментов реальных металлических элементов конструкций перекрытий в виде стального прокатного профиля на испытательных стендах с регистрацией изменения геометрических параметров и

последующего применения полученных данных при проведении экспериментально-теоретических исследований моделирования поведения металлических элементов конструкций перекрытий усиленных композитными материалами с применением программных комплексов.

В рамках первого этапа экспериментального исследования были проведены испытания не усиленных и усиленных в растянутой зоне углеволокном металлических элементов в виде стального прокатного профиля двутаврового поперечного сечения 12Б1 (по СТО АСЧМ 20-93) и пролётом 1200 мм. Выбор указанного типа прокатного профиля и его длина (пролёт) были обусловлены желанием максимального приближения экспериментального исследования к реальным условиям, так как в процессе проведения в городе Саратове обследований значительного количества исторических зданий и сооружений, возведённых в период с последней четверти XIX века по первую декаду XX века (время массового применения при строительстве подобных конструкций), нередко встречались похожие параметры металлических элементов конструкций железобетонных и каменных перекрытий (плоские и своды типа «Монье»).

Как уже отмечалось ранее, в рамках второго этапа были проведены экспериментально-теоретические исследования с применением программного комплекса «Лира», в основу которых легли результаты натурных механических испытаний.

На базе полученных результатов исследований был разработан ряд рекомендаций по возможности применения композитных материалов на основе углеродного волокна для усиления металлических элементов.

## **ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА ПОЛУСУХОГО ПРЕССОВАНИЯ**

Наумов А.А.

*ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, Россия*

Керамический кирпич – наиболее долговечный и экологически чистый материал для возведения стен зданий, обеспечивающий высокую комфортность и оптимальный микроклимат в жилых помещениях. Однако запасы качественного глинистого сырья для его производства истощаются, в связи с чем возникает необходимость в изыскании путей и способов создания стеновой керамики из низкосортного сырья.

Среди потребителей утвердилось мнение о низком качестве кирпича полусухого прессования, так как при традиционном способе его производства – с использованием сушильного барабана и дезинтегратора – выпускаемая продукция имеет малопривлекательный внешний вид и низкие значения прочности при изгибе и морозостойкости. Основная причина этого в том, что получаемый пресс-порошок имеет широкий разброс частиц по размерам, влажности и содержит большое количество пылевидной фракции. Кроме этого, отсутствие регулируемой сушки приводит к локальным нарушениям структуры сырца с последующим появлением трещин.

Проведенные исследования показывают, что для получения качественной продукции полусухого прессования необходима пластическая переработка массы с последующим гранулированием пресс-порошка для создания монофракционного зернового состава. Это позволит решить проблему неравноплотности сырца и является одним из основных условий получения бездефектной прессовки.

Однако, улучшение внешнего вида и прочностных показателей кирпича полусухого прессования зачастую не обеспечивает его морозостойкости. Одной из причин пониженной морозостойкости, помимо технологических факторов, является недостаточное содержание резервных пор в обожженном черепке готовых изделий. В ходе лабораторных работ установлено, что для достижения высокой морозостойкости керамического черепка полусухого прессования и возможности получения полнотелого кирпича необходимо вводить минеральную структурирующую добавку – карбонатсодержащие отходы производства минеральных удобрений. Пластическая переработка массы перед ее гранулированием обеспечивает равномерное распределение добавки по объему кирпича-сырца, что позволяет увеличить резервную пористость и способствует образованию новых кристаллических фаз, упрочняющих черепок.

Механоактивация глинистого сырья и ввод структурирующих добавок позволяют получить условия для формирования оптимальной структуры изделий. Дальнейшая подсушка сырца перед обжигом с регулируемым тепловлажностным режимом позволит получить кирпич полусухого прессования, не уступающий по свойствам изделиям пластического формования.

## **ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ДЕФОРМАЦИОННУЮ ПОВРЕЖДАЕМОСТЬ МАТЕРИАЛОВ**

Наумов И.А.

*ТулГУ, г. Тула, Россия*

При изготовлении различных элементов строительных конструкций к ним часто предъявляются повышенные требования к обеспечению механических свойств, которые достигаются выбором исходного материала и формированием их в процессе изготовления. В основном формирование механических свойств металла, происходит при его пластической деформации и термической обработке. Поэтому, важным вопросом в технологии изготовления металлических конструкций является определение технологических режимов обработки и, в частности, степени деформации при обработке металлов давлением. Степень пластической деформации влияет на упрочнение и деформационную повреждаемость.

Методы расчета напряженно-деформированного состояния при обработке металлов давлением традиционно базируются на основных положениях теории пластичности. Однако многие сложные вопросы разработки технологии, повышающие эффективность процессов обработки металлов давлением, требуют использования научных достижений в теории пластичности с учетом деформационной повреждаемости материала.

К основным факторам, влияющим на процесс пластической деформации, можно отнести:

- скорость деформирования;
- геометрия инструмента;
- степень утонения стенки;
- использование смазок при формовке.

Теоретической основой расчета влияния данных факторов является теория пластичности и, прежде всего, теория течения, которая предполагает использование и основных положений теории движения сплошной среды.

На базе основных соотношений плоского деформированного состояния строится функционал по расчету мощности пластической деформаций и напряженно-деформированного состояния для плоского деформированного состояния дилатирующей сплошной изотропной среды используем условие текучести Грина, которое описывается кривой Ламе.

С помощью программы Deform 2D можно определять мощность сил пластической деформации напряженно-деформированного состояния с использованием метода конечных элементов.

## **МОНИТОРИНГ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

Нестерова Д.Н., Черных В.К.  
*СГТУ, г. Саратов, Россия*

Мостовые сооружения в современном мире являются неотъемлемой частью прогресса и повседневной жизни. Соединяя труднодоступные участки, формируя общую дорожную сеть, они играют ключевую роль в нашей жизни. Но чаще всего, во время эксплуатации, на них оказывается колоссальное воздействие от нагрузок и окружающей среды. В окружающей среде находится огромное множество агрессивных компонентов. В связи с этим, необходимо иметь полное представление о ежедневной работе конструкции для того, чтобы обеспечить своевременный и разумный ремонт, и не доводить дело до серьезных экономических затрат, и тем более, до катастроф.

Помочь «отследить» такую работу конструкции помогает мониторинг сооружений. Мониторингом транспортных сооружений называется контроль состояния сооружения с применением специальных технических средств, размещаемых на конструкциях сооружения с целью получения необходимой информации для надёжности его дальнейшей эксплуатации.

Мониторинг технического состояния является наиболее перспективным методом повышения безопасности эксплуатации сооружений, сводя к минимуму возможность их внезапного обрушения или повреждения. Также мониторинг позволяет оптимизировать расход средств на эксплуатацию и ремонт сооружений. Он включает:

- предупреждение негативных изменений объекта на этапах проектирования, изготовления, эксплуатации;
- диагностику – т.е. прогнозирование служебных свойств и живучести объекта (прочность, остаточный ресурс, грузоподъёмность); систему наблюдения и оценку изменения состояния объекта.
- устранение последствий негативных изменений объекта (ремонт, замена);
- разработку мероприятий по управлению (изменению) состояния объекта.

Помимо получения информации о состоянии сооружения, мониторинг дает возможность устанавливать характер изменения данного состояния со временем, чтобы вовремя применять рациональные ремонтно-профилактические меры и обеспечивать надёжное выполнение объектом своего функционального назначения.

Алгоритм мониторинга транспортных сооружений базируется на двух основных задачах:

1. Установление характерных внешних воздействий на сооружение.
2. Оценка способности сооружения сопротивляться этим воздействиям в определённой среде эксплуатации.

Своевременное внедрение системы мониторинга мостов и других сооружений поможет избежать больших экономических потерь в будущем.

## **НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ УСТОЙЧИВОСТИ СТЕРЖНЕЙ ИЗ ЛСТК**

Нехаев Г.А., Захарова И.А.

*ТулГУ, г. Тула, Россия*

До настоящего времени на территории РФ отсутствуют нормативные документы на проектирование конструкций из стальных тонкостенных профилей (ЛСТК).

В 2014 году был опубликован проект Свода Правил "Конструкции стальные тонкостенные из холодногнутых оцинкованных профилей и гофрированных листов. Правила проектирования" для обсуждения. Целью разработки правил, является нормативное обеспечение и совершенствование технологий проектирования и производства, а также обеспечение качества строительной продукции из ЛСТК.

Несмотря на отсутствие нормативных документов на территории Российской Федерации в отдельных случаях имеет место проектирование конструкций из ЛСТК, используя EN 1993-1-3-2006 Eurocode 3, и строительство их.

Основными видами напряженно-деформированного состояния стержней из ЛСТК являются: центральное сжатие, изгиб и внецентренное сжатие. При этом наблюдаются три формы потери устойчивости: локальная, в виде искажения сечения, и общая (изгибная, изгибно-крутильная). Эти формы потери устойчивости стержня при различных соотношениях между длиной и размерами элементов поперечного сечения могут проявляться либо индивидуально, либо во взаимодействии

между собой. Критические напряжения, соответствующие формам потери устойчивости, определяют несущую способность стержня.

При проектировании несущих конструкций зданий и сооружений с применением ЛСТК СП (проект) рекомендует использовать упрощенный (предварительный) способ расчета и уточненный способ расчета для выполнения уточненных проверок несущей способности и назначения коэффициентов надежности, условий работы, а также коэффициентов надежности по ответственности различных конструктивных элементов сооружения и всего сооружения в целом.

Упрощенный способ расчета в противоположность уточненному позволяет получить данные о параметрах конструктивных элементов, необходимых при оценке вариантов конструкций.

Проектирование, основанное на результатах экспериментальных исследований, предпочтительно для оценки несущей способности сечения с относительно высоким отношением ширины пластинки сечения к толщине профиля при неупругой работе материала, искривлениях стенки или учете влияния сдвига.

Применение одиночных тонкостенных стержней открытого профиля в балочных, рамных, ферменных конструкциях оказывается нерациональным из-за низкой крутильной жесткости моносимметричных сечений и малой площади сечения их. Составные сечения с двумя осями симметрии более эффективны по несущей способности. Малочисленные натурные испытания ферменных конструкций подтверждают сомнения в совместной работе стержней составного сечения. Причиной этого может быть проявление в рассматриваемых стержнях различного рода форм потери устойчивости и неопределенность расстановки конструктивных деталей в стержнях составных сечений.

В Еврокоде 3 приводятся нечеткие рекомендации по назначению максимальных расстояний для объединительных деталей в составных элементах.

Для тонкостенных стержней открытого профиля характерна потеря устойчивости в виде искажения сечения (*distorsional*). Методика расчета стержней ЛСТК разрешает проявление локальной потери устойчивости элементов сечения. Поэтому за предельное состояние сжатого тонкостенного короткого стержня можно принять критическое напряжение в виде искажения сечения.

Для повышения несущей способности сжатого тонкостенного стержня с учетом искажения сечения можно принять конструктивные меры в виде плоских планок, прикрепляемых саморезами к отгибам

стержня. При этом расстояние между планками по длине стержня не должно превышать длину полуволны "а"; несущая способность стержня будет определяться критической силой общей потери устойчивости с учетом редуцированной площади сечения.

Этим способом повышается несущая способность как одиночного, так и составного сечения из С-образного профиля.

Кроме того, предлагаемая конструктивная мера усиления стержня позволяет увеличить расчетную длину стержня при крутильной форме потери устойчивости.

Для обоснования отечественных норм проектирования конструкций из ЛСТК необходимы экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния узлов и конструкций в целом.

Для повышения несущей способности центрально сжатого одиночного или составного сечения при искажении сечения рекомендуется конструктивная мера в виде плоских планок, прикрепляемых саморезами к отгибам, располагая их с соответствующим шагом.

## **СИСТЕМА ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ**

Нигаматова О.И.

*УрГУПС, г. Екатеринбург, Россия*

Долинина О.Н., Овчинников И.Г.

*СГТУ, г. Саратов, Россия*

Экспертные системы управления состоянием мостовых сооружений получили широкое применение в мире [1], они позволяют хранить, обновлять и использовать знания экспертов в области эксплуатации мостов с целью автоматизации принятия решений.

Одной из наиболее важных задач при создании экспертных систем, является преобразование знаний экспертов в вид, позволяющий представить их в базе знаний, поскольку, именно на этом этапе может возникнуть ошибка, которая приведет к неработоспособности всей экспертной системы. В настоящее время наиболее эффективными для принятия решений, являются экспертные системы на базе нечеткой логики.

В качестве алгоритмов принятия решений с использованием нечеткого вывода используют различные методы (Мамдани, Сугено, Цуканомото и т.д.), все они имеют свои достоинства и недостатки. Для повы-

шения эффективности принятия решений в решении тех или иных задач предлагаются новые методы, например, в работе [2] описан метод, позволяющий своевременно диагностировать характерные неисправности газоперекачивающих агрегатов.

#### Библиографический список

1. Нигаматова, О.И., Овчинников И.Г. Международный опыт применения экспертных систем для оценки состояния мостовых сооружений / О.И. Нигаматова, И.Г. Овчинников // Наукovedение. – 2016. – Том 8. – № 1. – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/66TVN116.pdf>.

2. Антропов П.Г., Способ диагностирования неисправностей газоперекачивающих агрегатов с использованием гибридных интеллектуальных систем / П.Г. Антропов, О.Н. Долинина, А.Ю. Шварц // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – № 5 (47). – Часть 1. – С. 75-84

### **АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ**

Нигаматова О.И.

*УрГУПС, г. Екатеринбург, Россия*

Шварц А.Ю., Долинина О.Н.

*СГТУ, г. Саратов, Россия*

Экспертные системы управления состоянием мостовых сооружений получили широкое применение в мире, они позволяют хранить, обновлять и использовать знания экспертов в области эксплуатации мостов с целью автоматизации принятия решений.

Одной из наиболее важных задач при создании экспертных систем, является преобразование знаний экспертов в вид, позволяющий представить их в базе знаний, поскольку, именно на этом этапе может возникнуть ошибка, которая приведет к неработоспособности всей экспертной системы. В настоящее время наиболее эффективными для принятия решений, являются экспертные системы на базе нечеткой логики.

В действующих методиках показатели технического состояния по грузоподъемности определяются исходя из реальных расчетных и нормативных значений, а по безопасности, долговечности и ремонтпригодности эмпирическим способом. В работе предлагается определить показатели технического состояния мостовых сооружений с помощью

нечеткой модели автоматизированной оценки технического состояния моста, для этого необходимо установить соответствия значений надежности элементов их дискретному состоянию.

При разработке программного обеспечения для экспертной оценки принята классификация дефектов и повреждений мостовых сооружений для представления в нечетком виде. Для всех дефектов и повреждений сформирована база правил нечеткого вывода в форме лингвистических переменных и их терм-множеств.

Разработанное программное обеспечение служит для:

- управления эксплуатацией мостовых сооружений;
- назначения сроков и видов ремонтных работ;
- необходимости и целесообразности выполнения реконструкции или замены.

Выполнен тестовый пример автоматизированной оценки технического состояния мостового сооружения в программном комплексе. Сопоставляя результаты работы системы с действующими базами данных мостов и нормативно-технической литературой, получаем схожие значения балльных оценок состояния.

## **ТЕХНОЛОГИЯ ХОЛОДНЫХ ДОРОЖНЫХ БЕТОНОВ С ДИСПЕРСНЫМИ ОРГАНИЧЕСКИМИ ВЯЖУЩИМИ**

Никишин В.Е., Кокодева Н.Е., Четкин А.Ю.

*СГТУ, г. Саратов, Россия*

В СГТУ имени Гагарина Ю.А. под руководством профессора Горнаева Н.А. основано научное направление «Технология холодных дорожных бетонов с дисперсными органическими вяжущими», которое прошло проверку под патронажем Минавтодора РСФСР и одобрено на его научно-техническом совете. Были разработаны «Рекомендации по технологии производства и применения холодных асфальтобетонных смесей с дисперсным битумом». Основой разработки научного направления послужили эксперименты с битумными пастами в 60-70-х годах. Был установлен механизм диспергирования битума твердыми эмульгаторами (вытягивание в нити с последующим распадом на глобулы) и его стабилизации. Проведенные исследования позволили получить авторское свидетельство [1].

Сущность технологии заключается в том, что холодные минеральные составляющие с содержанием 5-7% воды смешиваются с горячим

вязким битумом, в результате чего в объёме асфальтовой смеси происходит образование битумной эмульсии на твёрдом эмульгаторе – обычном минеральном порошке. Температура готовой смеси 25-35°С. Технология может быть реализована на обычном стандартном оборудовании асфальтобетонных заводов. Её достоинства: энергосберегающая (отпадает необходимость разогрева минеральных составляющих), экологически безопасная (существенно снижаются выбросы вредных веществ), трудосберегающая (сокращается обслуживающий персонал), материалосберегающая (снижается расход топлива и металлоёмкость производства), простая и экономичная и др. Приготовленные смеси можно хранить в условиях, исключающих испарение воды. Транспортирование смесей к месту укладки в покрытие осуществляется автосамосвалами. Дальность и время транспортирования не зависят от температуры окружающего воздуха.

Технология исследована в рамках кандидатских диссертаций доц. Иванова А.Ф. (1986 г.), доц. Потапова А.В. (1988 г.), Пыжова А.С. (2010 г.), доц. Никишина В.Е. (2000 г.), Страчкова К.М. (2008 г.), доц. Евтеевой С.М. (2009 г.), доц. Андронova С.Ю. (2011 г.).

Результаты исследования по технологии бетонов с дисперсными органическими вяжущими сформулированы в формуле патента на изобретение [2]

#### Библиографический список

1. А.с. 883221 (СССР) Способ приготовления битумоминеральной смеси / Горнаев Н.А., Калашников В.П., Иванов А.Ф. – опубл. в Б.И., 1981. – № 43.
2. Пат. 2351703 Российская Федерация. Способ приготовления холодной органоминеральной смеси для дорожных покрытий / Н. А. Горнаев, В. Е. Никишин, С. М. Евтеева, С. Ю. Андронов, А. С. Пыжов; заявл. 15.02.08; опубл. 10.04.09, Бюл. № 10. – 10 с.

### **ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ ДЕФОРМИРУЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Овчаренко А.Ю., Тутышкин Н.Д.  
*ТулГУ, г. Тула, Россия*

Общепризнано, что пластическая деформация металлов сопровождается непрерывным образованием и развитием микродефектов: пор и

микротрещин. Процесс образования микродефектов связывается с движением дислокаций вследствие пластической деформации и взаимодействием полей напряжений, окружающих дислокации.

Резюмируя обзор работ, посвященных исследованию разрушения, необходимо отметить следующее. Процесс пластической деформации сопровождается пластическим разрыхлением материала. На самых начальных стадиях это происходит за счет размножения дислокаций, в дальнейшем – за счет образования и развития микропор и микротрещин. Физическая концепция порообразования при больших пластических деформациях положена в основу многих современных работ по механике деформационной повреждаемости.

При пластической деформации основными параметрами нагружения являются: параметр трехосности напряженного состояния  $\bar{\sigma} = \sigma/\tau_i$  ( $\sigma$  – среднее напряжение,  $\tau_i$  – интенсивность касательных напряжений), параметр вида напряженного состояния  $\mu_\sigma = 2(\sigma_2 - \sigma_3)/(\sigma_1 - \sigma_3) - 1$  ( $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  – главные нормальные напряжения), термодинамическая температура  $T$  и скорость деформации сдвига  $H$ .

Пластичность металла характеризуется степенью деформации, накопленной материальной частицей к моменту нарушения сплошности или появления макротрещины. При значениях показателя  $\bar{\sigma}$  больше порога хрупкости ( $\bar{\sigma} > \bar{\sigma}_{i\bar{\sigma}}$ ) имеет место хрупкое разрушение. Существует пороговое значение показателя  $\bar{\sigma} = \bar{\sigma}_i$ , при котором проявляется неограниченная пластичность вследствие интенсивного залечивания пор и микротрещин. Пластичность зависит не только от параметров нагружения, но и от химического состава, типа кристаллической решетки, фазового состояния и структуры материала. Эти зависимости находятся из системы разнотипных опытов по пластическому деформированию образцов до момента разрушения. Мера пластичности (как материальная функция) входит в основные соотношения деформационной повреждаемости.

Пластичность материала в процессах пластического формоизменения при сложном нагружении описывается показателями, составленными из инвариантов напряжений. Исследования многих авторов показали, что пластичность металлов (предельная степень деформации) за-

висит от комбинации линейного инварианта  $I_1(T_\sigma)$  тензора напряжений  $T_\sigma$  и квадратичного и кубического инвариантов  $I_2(D_\sigma)$ ,  $I_3(D_\sigma)$  диватора напряжений  $D_\sigma$ , т.е.

$$\Lambda_{i\bar{0}} = \Lambda_{i\bar{0}}(I_1(T_\sigma), I_2(D_\sigma), I_3(D_\sigma))$$

Проф. В.Л. Колмогоров создал теорию деформируемости металлов при конечных пластических деформациях, основанную на систематизированных экспериментальных данных. Теория деформируемости Колмогорова позволяет оценивать ресурс пластичности обрабатываемых материалов и базируется на положениях современной физики и механики разрушения металлов при конечных пластических деформациях. С использованием принципа суперпозиции процессов развития и залечивания микродефектов в процессе пластической деформации, получено определяющее соотношение для повреждаемости (или степени использования запаса пластичности) деформируемого материала:

$$d\omega = B \frac{H}{\Lambda_{i\bar{0}}(\bar{\sigma})} dt$$

Или в интегральной форме:

$$\omega = \int_0^t B \frac{H}{\Lambda_{i\bar{0}}(\bar{\sigma})} dt, \quad (0 \leq \omega \leq 1),$$

где  $B$  – коэффициент, учитывающий соотношение между скоростью развития и залечивания микродефектов за время  $t$ .

Для оценки возможности появления дефектов в виде трещин на поверхности металла предлагаются критерии Макклинтока и Кокрофта-Латама. Критерий Макклинтока ( $\eta$ ) имеет вид:

$$\eta = \int_0^{\varepsilon_i} \left\{ \frac{2}{\sqrt{3}(1-n)} \sin \left[ \frac{\sqrt{3}(1-n)(\sigma_a + \sigma_b)}{2 \sigma_i} \right] + \frac{(\sigma_a + \sigma_b)}{\sigma_i} \right\} d\varepsilon_i,$$

где  $n$  – показатель, учитывающий влияние деформационного упрочнения;  $\sigma_a, \sigma_b$  – соответственно минимальный и максимальный компоненты поперечных напряжений (по терминологии работ Макклинтока);  $\sigma_i = \tau_i \sqrt{3}$ ,  $\varepsilon_i = \frac{\Lambda}{\sqrt{3}}$  – интенсивности напряжений и деформаций.

В современных конечно-элементных прикладных программах, для расчета процессов пластического формоизменения и проектирования

процессов оценки деформационной повреждаемости материала и опасности его разрушения применяется показатель Кокрофта-Латама  $D$  :

$$D = \int_{\varepsilon_{i0}}^{\varepsilon_i} \frac{\sigma_1}{\sigma_i} d\varepsilon_i ,$$

где  $\sigma_1$  – главное максимальное нормальное напряжение;  $d\varepsilon_i$  – приращение интенсивности деформации,  $\varepsilon_{i0}$  – предшествующая деформация.

Существенные результаты в некоторых научных исследованиях получены по созданию термодинамически согласованных тензорных моделей повреждаемости. Здесь важное значение имеет созданная термодинамически согласованная теория о мультипликативном разложении тензора метрического преобразования. Однако проблемой остается обоснованный выбор физической природы тензорных переменных, описывающих состояние повреждаемости. Определяющие соотношения для внутренних переменных (девиатора скорости деформации  $\dot{\varepsilon}_{ij}$  и тензора повреждаемости  $\dot{\omega}_{ij}$ ) следуют из потенциала диссипации  $F$ , являющегося функцией ассоциированных переменных: девиатора напряжений  $s_{ij}$  и тензора  $Y_{ij}$ , характеризующего скорость высвобождения плотности энергии, связанной с ростом и изменением формы пор.

Согласно опубликованным экспериментам Бонора и др., потенциал  $F$  строится в виде суммы:

$$F = \Phi + \Omega ,$$

где  $\Phi$  – пластический потенциал;  $\Omega$  – потенциал повреждаемости.

На основе проведенного обзора опубликованных работ можно сделать вывод о том, что использование теории деформационной повреждаемости и деформируемости металлов на базе современных положений мезомеханики является перспективным подходом к исследованию и моделированию процессов пластической деформации металлоизделий с высокими эксплуатационными свойствами.

Оценка ресурса пластичности и повреждаемости обрабатываемых материалов позволяет проводить расчеты и проектирование процессов пластической деформации изделий с рациональным использованием пластических свойств их материала и технологическим обеспечением требуемых эксплуатационных характеристик. Успешное решение этой проблемы тре-

бует использования связанного физико-механического подхода с прогнозированием макро- и мезоструктурных параметров деформируемых материалов на основе современных положений теории пластичности и механики деформационной повреждаемости материалов.

## **СОВРЕМЕННЫЕ КРИТЕРИИ ПРОЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЕГО НДС ПРИ РАСЧЁТЕ В РАМКАХ МКЭ**

Павлова Н.С., Цуканов А.А., Теличко В.Г.  
*ТулГУ, г. Тула, Россия*

Для построения достоверной модели расчёта напряжённо-деформированного состояния железобетона необходим учёт изменения прочностных свойств материала при разрушении. Сложность явлений, происходящих при разрушении структурно неоднородного материала, существенно затрудняет попытки создания полностью физически обоснованного критерия прочности, учитывающего все характерные особенности механической работы материала. В связи с этим в данной области получили развитие теории, основанные преимущественно на феноменологическом подходе.

Исследования прочности бетона при сложном напряжённо-деформированном состоянии проводятся уже более 40 лет. Несмотря на это, на сегодняшний день нет однозначного определения для критерия прочности железобетона: существует большое количество, используемых в рамках различных теорий критериев прочности. Расчёт напряжённо-деформированного состояния конструкций из железобетона целесообразно проводить с использованием численных методов, а именно метода конечных элементов. На данный момент существует большое количество программных комплексов для расчёта элементов строительных конструкций и зданий в целом.

Такие программные комплексы как ANSYS и ABAQUS отлично подходят для решения задачи о нахождении НДС конструкций. Однако, применяемый в них критерий прочности Willam-Warnke [1], учитывающий трёхосное напряжённое состояние бетона не позволяет полностью смоделировать все особенности реальной работы железобетона. Так, например, коэффициент отвечающий за учет работы материала в условиях образования трещин необходимо определять эмпирическим путем индивидуально для каждой задачи.

В ходе проведённой работы получено два основополагающих вывода. *Во-первых*, для применения теории, описанной в работе [2], критерий прочности Willam-Warnke подходит с недостаточной точностью. *Во-вторых*, для построения достоверной модели расчёта НДС конструкций необходимо использование критерия прочности более адаптированного к теории [2].

Использование данного критерия позволит существенно упростить процесс расчёта НДС железобетона в рамках метода конечных элементов без создания значительных погрешностей в результатах.

#### Библиографический список

1. Willam, K.J., Constitutive model for the triaxial behavior of concrete / E.D. Warnke, K.J. Willam // Seminar of concrete structures subjected to triaxial stresses. – Bergamo. Italy. 1974. – V. 19. – P. 3-11.

2. Трещёв, А.А. Теория деформирования и прочности материалов, чувствительных к виду напряженного состояния. Определяющие соотношения / А.А. Трещёв. – М., Тула: РААСН, изд-во ТулГУ, 2008. – 264 с.

### УСТОЙЧИВОСТЬ БАЛОК ИЗ ЛСТК ПОД ДЕЙСТВИЕМ РАВНОМЕРНО РАСПРЕДЕЛЁННОЙ НАГРУЗКИ

Павлова Н.С., Нехаев Г.А.

*ТулГУ, г. Тула, Россия*

Современная, успешно зарекомендовавшая себя в строительстве технология использования ЛСТК, становится все более популярной и востребованной. На данный момент существует несколько подходов к определению несущей способности изгибаемых элементов из ЛСТК.

В рамках данной работы произведён расчёт несущей способности балки из спаренных профилей типа ЛС [1] пролётом 6 метров на действие равномерно распределённой нагрузки по нормативным документам [2, 3].

Расчёт в соответствии с требованиями [2] проводился по формуле:

$$\frac{M_x}{\varphi_b \cdot W_c \cdot R_y \cdot \gamma_c} \leq 1,0,$$

где  $\varphi_b$  – коэффициент устойчивости при изгибе, определяемый по приложению Ж [1],  $W_c$  – момент сопротивления сечения относительно оси х-х, вычисленный для сжатого пояса

В результате описанного выше расчёта определена несущая способность балки. Однако сравнение результатов данного расчёта с аналогичными результатами, полученными при использовании норм [4] существенно разнятся для

всех профилей типа ЛС [1]. Это обусловлено отсутствием учёта локальной потери устойчивости элемента конструкции в отечественных нормативных документах.

Таким образом существующая нормативная база расчёта несущей способности балки из тонкостенных стальных профилей не позволяет получить однозначного результата.

#### Библиографический список

1. Нехаев, Г.А. Проектирование элементов балочной клетки из горячекатаных и холодногнутых профилей: учебное пособие / Г.А. Нехаев. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2011. – 123 с.
2. СП 16.13330.2011. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-3-81\*. – М.: Мин-во регионального развития РФ, 2011. – 172 с.
3. СП 20.1330.2011. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\*. – М.: Мин-во регионального развития РФ, 2010. – 80 с.
4. ТКП EN 1993-1-1-2009 (02250). Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий. – Республика Беларусь: Минстройархитектуры, 2009.
5. Нехаев, Г.А. Легкие металлические конструкции / Г.А. Нехаев. – М: ПрофСтальДом, 2012 – 86 с.

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ НДС ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ПОМОЩИ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Павлова Н.С., Теличко В.Г.

*ТулГУ, г. Тула, Россия*

Во всём мире железобетон используются как один из основных строительных материалов. На сегодняшний день действующие нормативные документы регламентируют проведение расчётов железобетонных конструкции по двум группам предельных состояний с учётом характерных стадий напряжённо-деформированного состояния и фактически сводят все виды сооружений к линейным (стержневым) элементам [1].

Однако существует строительные конструкции, для которых трудно, а иногда и невозможно, выделить характерные стадии работы. Расчёт таких конструкций все чаще выполняется методом конечных элементов с использованием общих принципов нелинейной механики деформируемого твёрдого тела.

Применение данной методики позволяет избежать недостатков, присущих другим численным методам решения такого рода задач. Однако для получения достоверных результатов необходимо использование усовершенствованных конечных элементов (КЭ).

В рамках задачи о расчёте напряжённо-деформируемого состояния конструкций целесообразно моделирование железобетона объёмными конечными элементами, а именно КЭ в форме тетраэдра с тремя степенями свободы в каждом узле, разработанном на основе существующего КЭ [2]. Это позволит оценивать прочность конструкций, находящихся под воздействием полного комплекса силовых факторов исходя из объёмного напряжённо-деформируемого состояния материала.

Матрица жёсткости полученного КЭ содержит в себе компоненты, позволяющие учитывать особенности деформирования физически-нелинейных разносопротивляющихся материалов. Для моделирования физической нелинейности железобетона в рамках рассматриваемой модели использована теория Трещёва [3].

#### Библиографический список

1. Клованич, С.Ф. Методы конечных элементов в нелинейных расчётах пространственных железобетонных конструкциях / С.Ф. Клованич, Д.И. Безушко. – Одесса: Изд-во ОНМУ, 2009. – 90 с.
2. Клованич, С.Ф. Метод конечных элементов в нелинейных задачах инженерной механики/ С.Ф. Клованич. – Запорожье: Изд-во "Світ геотехніки", 2009. – 400 с.
3. Трещёв, А.А. Теория деформирования и прочности материалов, чувствительных к виду напряженного состояния. Определяющие соотношения / А.А. Трещёв. – М., Тула: РААСН, изд-во ТулГУ, 2008. – 264 с.

#### **РЕГУЛИРОВАНИЕ НДС КОНСТРУКЦИЙ МЕТОДОМ СМЕЩЕНИЯ ОПОР**

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

Управление конструкциями имеет целью подчинение их НДС желаемым требованиям на различных стадиях функционирования. Концепция традиционного проектирования на самые невыгодные комбинации нагрузок и воздействий во многих случаях неэффективна. Управление НДС открывает новые качественные возможности для многих конструкций.

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

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

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

В данной работе мы хотели бы рассказать о методе регулирования НДС конструкций методом смещения опор с помощью ПЭВМ.

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

В результате решения задач получены новые эпюры продольных сил и моментов. Анализируя полученный результат, можно сделать вывод, что во всех задачах регулирования было получено уменьшение или уравнивание силовых факторов. Уменьшение усилий в элементах конструкций, рассмотренных в наших задачах, позволило бы уменьшить размер сечений, что дало бы возможность экономии материала (около 33%).

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

### **РЕГУЛИРОВАНИЕ НДС ЧЕТЫРЕХПРОЛЕТНОЙ ШАРНИРНОЙ НЕРАЗРЕЗНОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ФЕРМЫ**

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

*Дано:* четырехпролетная шарнирная неразрезная трапециевидная ферма (рис. 1).

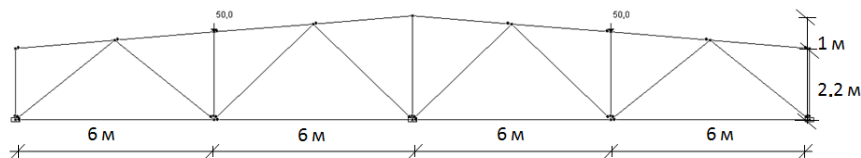


Рис. 1. Расчетная схема фермы

Сечение: уголок равнополочный 140×12. Ферма находится под действием симметричной нагрузки  $P=50$  кН (на 2 и 4 стойку). Материал: сталь обыкновенная.

Задача регулирования заключается в обнулении действия продольных сил в ближайших к центральной стойке раскосах.

*Решение:* Результат расчета по ПК SCAD в виде эпюры продольных сил (рис. 2).

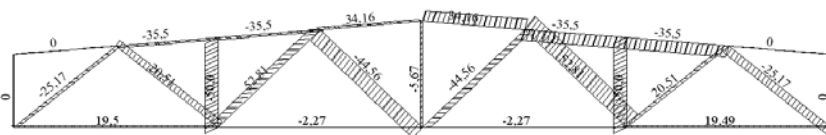


Рис. 2. Эпюра продольных сил

В качестве регулятора  $\Delta$  выбираем вертикальное смещение (осадку) промежуточной опоры 2.

После решения задачи отрегулированная эпюра продольных сил выглядит следующим образом (рис. 3):

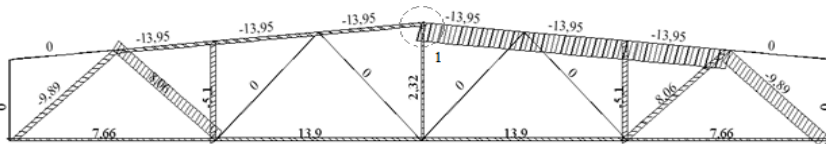


Рис. 3. Эпюра продольных сил после регулирования

Для подтверждения правильности расчета выполним статическую проверку узла 1:

$$F_y = 0 = -13,95 \cdot 0,083 \cdot 2 + 2,32 = 0.$$

Вывод: из эпюры рис. 3 видно, что цель регулирования достигнута, т.е. продольные силы в раскосах равны нулю. Кроме того, величины продольных сил в других стержнях так же уменьшились.

## ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО УТЕПЛЕНИЮ ФАСАДОВ ЗДАНИЙ

Панькин С.С.

*ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, Россия*

В XXI веке к стеновым строительным материалам предъявляются повышенные требования. Так как до 40% производимой в мире энергии потребляет ЖКХ, то одним из способов защиты жизни на Земле является сокращение тепловых выбросов через стены зданий. Частичное решение этой проблемы лежит в рамках утепления фасадов зданий.

Фасады зданий в настоящее время утепляют с помощью органических и минеральных теплоизоляционных материалов. К ним относятся минераловатные, пено- или газополимерные плитные изделия. У каждого из перечисленных материалов есть достоинства и недостатки.

Минераловатные изделия обладают низкой теплопроводностью, пожарной безопасностью, воздухопроницаемостью, но в силу волокнистой недостаточно жесткой структуры такие материалы в условиях эксплуатации слеживаются и утрачивают исходные свойства.

Ячеистополимерные изделия обладают прекрасными теплоизоляционными свойствами, однако паронепроницаемы и выделяют токсины при пожаре.

Изделия из ячеистых бетонов лишены перечисленных выше недостатков, однако обладают низкой прочностью на растяжение, хрупки и поэтому их практически не используют для утепления фасадов зданий, хотя широко применяют как современный энергоэффективный стеновой материал.

В ДГТУ разработана и совершенствуется технология изготовления пенобетона безавтоклавного твердения дисперсно армированного отрезками синтетических волокон (ФПБ). Этот материал при плотности  $300...500 \text{ кг/м}^3$  обладает свойствами, достаточными для его применения в качестве утеплителя фасадов зданий. Предлагаемый вариант за счет использования повышенной прочности ФПБ при растяжении позволяет изготавливать изделия такой формы, которая исключает возможность продувания стены после завершения изоляционных работ. Изменяя модификацию плиты с геометрическими размерами  $500 \times 300 \times 100$  мм, были получены различные вариации (рис. 1).



Рис. 1. Конструкционно-композиционный ряд

Такая технология получила название «пазл», она позволяет крепить плиты без использования связующих смесей и крепежных элементов. Их можно располагать как вертикально, так и горизонтально.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛАВНОЙ ЧАСТИ РЕШЕНИЯ ПРИ РАСЧЕТЕ ПОЛОГИХ ОБОЛОЧЕК

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

При расчете конструкций вариационными методами ответственным моментом является выбор (построение) таких аппроксимирующих функций, которые при расчете уже в первом приближении дали бы результаты, с точностью достаточной для технических приложений. Обычно повышение точности результатов достигается путем увеличения числа степеней свободы, то есть увеличением числа аппроксимирующих функций в разложениях искомых величин. Если при построении аппроксимирующих функций потребуем удовлетворения не только граничных условий, но и учтем другие параметры конструкции, такие, например, как характер распределения нагрузки, величина кривизны оболочки и т.д., то уже в первом, или в первых, приближениях можно будет получить решение, которое будет иметь точность, достаточную для технических приложений. Эту процедуру будем называть *улучшением качества* аппроксимирующих функций, а решение, полученное с применением таких аппроксимирующих функций, будет являться главной частью решения. В этом случае инженеру может быть предложена формула, с помощью которой он может легко анализировать влияние различных параметров конструкции на конечный результат, что облегчит ему создание оптимальной конструкции. На базе главной части решения легко могут быть построены дополнительные аппроксимирующие функции, с помощью которых можно повысить точность решения. Для решения поставленной задачи необходимо создать методику построения аппроксимирующих функций улучшенного качества.

Расчет оболочки сводится к решению системы дифференциальных уравнений [1], которую в безразмерном виде можно записать так

$$\left. \begin{aligned} \nabla^4 \psi + \frac{1}{4} \nabla_K^2 u = 0 \\ \frac{1}{12(1-\mu^2)} \nabla^4 u - \frac{1}{4} \nabla_K^2 \psi = \frac{1}{16} p_0 g(\xi, \eta) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $\nabla^4$  – бигармонический оператор,  $\nabla_K^2 = K_2 \frac{\partial^2}{\partial \xi^2} + K_1 \frac{\partial^2}{\partial \eta^2}$  – оператор Власова, зависящий от кривизн оболочки,  $\psi = \frac{\varphi}{Eh^3}$  – безразмерная функция усилий,  $u = \frac{W}{h}$  – безразмерный прогиб,  $\mu$  – коэффициент Пуассона,  $K_1 = k_x \frac{(2a)^2}{h}$ ,  $K_2 = k_y \frac{(2b)^2}{h}$  – безразмерные кривизны,  $p_0 = \frac{16q_0 a^2 b^2}{Eh^4}$  – характерный параметр нагрузки,  $g(\xi, \eta)$  – характер изменения нагрузки вдоль координат,  $\xi = \frac{x}{a}$ ,  $\eta = \frac{y}{b}$  – безразмерные координаты,  $a, b$  – размеры оболочки в плане,  $E$  – модуль упругости,  $h$  – толщина оболочки,  $k_x, k_y$  – главные кривизны оболочки, соответственно, в направлении координатных осей  $x, y$ ,  $W$  – прогиб,  $\varphi$  – функция усилий.

При построении аппроксимирующих функций берем за основу статический метод В.З. Власова, предложенный им для расчета пластинок вариационными методами [2, с. 83-84]. В соответствии с этим методом рассмотрим две квадратные в плане ортогональные цилиндрические оболочки, шарнирно опертые по контуру с кривизнами, равными главным кривизнам оболочки двойкой кривизны. В дальнейшем будем рассматривать, в качестве примера, случай когда  $K_1 = K_2 = K$ .

Чтобы построить функцию аппроксимирующую прогиб, рассмотрим уравнение «родственное», по определению Михлина С.Г. [3], уравнению изгиба цилиндрической оболочки. В качестве такого уравнения возьмем уравнение изгиба цилиндрической оболочки в условиях осесимметричного нагружения [4, 74-75], которое имеет вид

$$\frac{4}{3(1-\mu^2)} \frac{d^4 u_1(\xi)}{d\xi^4} + K^2 u_1(\xi) = p_0 g(\xi) \quad (2)$$

Решение этого уравнения будет первым приближением, оно учитывает граничные условия, характер распределения нагрузки в направлении образующей цилиндрической оболочки и наличие кривизны оболочки. Уравнение (2) совпадает по структуре с уравнением изгиба балки на упругом Винклеровском основании. Решение этого уравнения и выберем в качестве аппроксимирующей функции. В отличие от статического метода Власова, применяемого при расчете пластинок, уравнение (2) учитывает не только характер приложенной нагрузки, но и параметр кривизны оболочки. Поэтому качество аппроксимирующей функции должно улучшиться при использовании ее для расчета оболочек вариационными методами.

Для построения функции аппроксимирующей функцию усилий из уравнения неразрывности деформаций (первое уравнение системы (1)), выделим полоску в направлении оси  $\xi$ . Получим обыкновенное дифференциальное уравнение

$$\frac{d^4 \psi_1(\xi)}{d\xi^4} = -\frac{1}{4} K \frac{d^2 u_1(\xi)}{d\xi^2} \quad (3)$$

Для построения аппроксимирующей функции  $\psi_1(\xi)$  подставим в это уравнение найденную функцию  $u_1(\xi)$ . В результате получим уравнение, совпадающее по виду с уравнением изгиба балки под действием фиктивной нагрузки. Решение этого уравнения будет первым приближением функции  $\psi_1(\xi)$  аппроксимирующей функцию усилий.

Аналогичную процедуру следует выполнить, рассматривая вторую цилиндрическую оболочку.

Главную часть решения будем искать методом Бубнова-Галеркина в первом приближении

$$\begin{aligned} u(\xi, \eta) &= B u_1(\xi) u_2(\eta) \\ \psi(\xi, \eta) &= A \psi_1(\xi) \psi_2(\eta) \end{aligned} \quad (4)$$

где  $u_1(\xi)$ ,  $u_2(\eta)$ ,  $\psi_1(\xi)$ ,  $\psi_2(\eta)$  – аппроксимирующие функции улучшенного качества, построенные изложенным выше методом,  $A$ ,  $B$  – амплитуды искомых функций.

В качестве примера, рассмотрим предлагаемую методику построения аппроксимирующих функций улучшенного качества на примере задачи расчета квадратной в плане полой оболочки положительной гауссовой кривизны, шарнирно опертой по контуру под действием равномерно распределенной поперечной нагрузки интенсивностью  $p_0$ .

Так как оболочка, шарнирно оперта по всем сторонам, то в каждой точке контура должны выполняться следующие граничные условия

$$u = u'' = 0, \quad \psi = \psi'' = 0 \quad (5)$$

Решение уравнения (2) после удовлетворения граничных условий имеет вид

$$u_1(\xi) = \frac{p_0}{K^2} \left[ 1 + D_1 \cos(f\sqrt{2}\xi) \operatorname{ch}(f\sqrt{2}\xi) - D_2 \sin(f\sqrt{2}\xi) \operatorname{sh}(f\sqrt{2}\xi) \right] \quad (6)$$

Здесь приняты следующие обозначения

$$D_1 = -\frac{\cos(f\sqrt{2})}{\operatorname{ch}(f\sqrt{2})}; \quad D_2 = \frac{\sin(f\sqrt{2})}{\operatorname{sh}(f\sqrt{2})}; \quad f = \sqrt[4]{\frac{3}{64}(1-\mu^2)K^2} \quad (7)$$

Аналогичным образом находим аппроксимирующую функцию  $u_2(\eta)$ .

$$u_2(\eta) = \frac{p_0}{K^2} \left[ 1 + D_1 \cos(f\sqrt{2}\eta) \operatorname{ch}(f\sqrt{2}\eta) - D_2 \sin(f\sqrt{2}\eta) \operatorname{sh}(f\sqrt{2}\eta) \right] \quad (8)$$

Для построения аппроксимирующей функции  $\psi_1(\xi)$  подставим в уравнение (3) найденную функцию  $u_1(\xi)$ . В результате получим уравнение

$$\frac{d^4 \psi_1(\xi)}{d\xi^4} = \frac{f^2 p_0}{K} \left[ D_1 \cos(f\sqrt{2}\xi) \operatorname{ch}(f\sqrt{2}\xi) + D_2 \sin(f\sqrt{2}\xi) \operatorname{sh}(f\sqrt{2}\xi) \right] \quad (9)$$

с граничными условиями фиктивной балки, шарнирно опертой по концам. После интегрирования и удовлетворения граничным условиям получим следующую функцию

$$\psi_1(\xi) = Z_1 + Z_2 \xi^2 - Z_3 \left[ \cos(f\sqrt{2}\xi) \operatorname{ch}(f\sqrt{2}\xi) \right] - Z_4 \left[ \sin(f\sqrt{2}\xi) \operatorname{sh}(f\sqrt{2}\xi) \right] \quad (10)$$

где приняты следующие обозначения:

$$\begin{aligned}
 Z_1 &= \frac{1}{16f^4} \left[ (S_1 - 2S_2f^2) ch(f\sqrt{2}) \cos(f\sqrt{2}) + (S_2 + 2S_1f^2) sh(f\sqrt{2}) \sin(f\sqrt{2}) \right] \\
 Z_2 &= \frac{1}{8f^2} \left[ S_2 ch(f\sqrt{2}) \cos(f\sqrt{2}) - S_1 sh(f\sqrt{2}) \sin(f\sqrt{2}) \right] \\
 Z_3 &= \frac{1}{16f^4} S_1, \quad Z_4 = \frac{1}{16f^4} S_2, \quad S_1 = \frac{4f^2 p}{K} D_2, \quad S_2 = \frac{4f^2 p}{K} D_1
 \end{aligned} \tag{11}$$

Аналогичным образом найдем аппроксимирующую функцию  $\psi_2(\eta)$ .

$$\psi_2(\eta) = Z_1 + Z_2\eta^2 - Z_3 \left[ \cos(f\sqrt{2}\eta) ch(f\sqrt{2}\eta) \right] - Z_4 \left[ \sin(f\sqrt{2}\eta) sh(f\sqrt{2}\eta) \right] \tag{12}$$

Улучшение качества полученных выше аппроксимирующих функций заключается в том, что они удовлетворяют не только граничным условиям и характеру распределения внешней нагрузки, но и учитывают величины кривизн оболочки и величину коэффициента Пуассона.

Вариационное уравнение метода Бубнова-Галеркина для системы уравнений (1) имеет вид

$$\left. \begin{aligned}
 \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \left( A \nabla^4 \psi_1 \psi_2 + \frac{B}{4} \nabla_K^2 u_1 u_2 \right) \psi_1 \psi_2 d\xi d\eta &= 0 \\
 \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \left( \frac{B}{12(1-\mu^2)} \nabla^4 u_1 u_2 - \frac{A}{4} \nabla_K^2 \psi_1 \psi_2 - \frac{1}{16} p_0 \right) u_1 u_2 d\xi d\eta &= 0
 \end{aligned} \right\} \tag{13}$$

После вычисления интегралов получим систему линейных алгебраических уравнений для определения амплитуд искомым функций  $A, B$

$$\left. \begin{aligned}
 \alpha A + \beta B &= 0 \\
 -\beta A + \lambda B &= G
 \end{aligned} \right\} \tag{14}$$

Коэффициенты этой системы определяются по следующим формулам

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \psi_1 \psi_2 (\nabla^4 \psi_1 \psi_2) d\xi d\eta, \quad \lambda = \frac{1}{12(1-\mu^2)} \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 u_1 u_2 (\nabla^4 u_1 u_2) d\xi d\eta \\
 \beta &= \frac{1}{4} \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \psi_1 \psi_2 (\nabla_K^2 u_1 u_2) d\xi d\eta = \frac{1}{4} \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 u_1 u_2 (\nabla_K^2 \psi_1 \psi_2) d\xi d\eta \\
 G &= \frac{1}{16} p_0 \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 u_1 u_2 d\xi d\eta
 \end{aligned} \tag{15}$$

Решая систему алгебраических уравнений (14) получим формулы для определения амплитуд искомым функций

$$A = -\frac{\beta G}{\alpha\lambda + \beta^2}, \quad B = \frac{\alpha G}{\alpha\lambda + \beta^2} \quad (16)$$

В том случае, если точность полученных результатов нас не удовлетворяет, необходимо создать аппроксимирующие функции второго, третьего и последующих приближений метода Бубнова-Галеркина. Для построения таких аппроксимирующих функций используем прием, изложенный в работе [5, с. 106-108]. Решение во втором приближении метода Бубнова-Галеркина будем искать в следующем виде

$$\begin{aligned} u(\xi, \eta) &= u_1(\xi)u_2(\eta) \left[ B_1 + B_2 (\xi^2 - 1)^2 (\eta^2 - 1)^2 \right] \\ \psi(\xi, \eta) &= \psi_1(\xi)\psi_2(\eta) \left[ A_1 + A_2 (\xi^2 - 1)^2 (\eta^2 - 1)^2 \right] \end{aligned} \quad (17)$$

Решение в третьем приближении метода Бубнова-Галеркина будем искать в виде

$$\begin{aligned} u(\xi, \eta) &= u_1(\xi)u_2(\eta) \left[ B_1 + B_2 (\xi^2 - 1)^2 (\eta^2 - 1)^2 + B_3 (\xi^2 - 1)^4 (\eta^2 - 1)^4 \right] \\ \psi(\xi, \eta) &= \psi_1(\xi)\psi_2(\eta) \left[ A_1 + A_2 (\xi^2 - 1)^2 (\eta^2 - 1)^2 + A_3 (\xi^2 - 1)^4 (\eta^2 - 1)^4 \right] \end{aligned} \quad (18)$$

Первое приближение, полученное с применением аппроксимирующих функций улучшенного качества, будем называть главной частью решения. Следует отметить, что аппроксимирующие функции второго (17) и третьего приближения (18) также представляют собой функции улучшенного качества, так как они содержат в качестве множителя главную часть решения.

Ниже на рис. 1, 2, ввиду симметрии решения, приведены половины эпюр изгибающих моментов и осевых усилий в сечении  $\eta = 0$ . Результаты расчетов сравниваются с данными полученными методом Бубнова-Галеркина при удержании в разложениях прогиба и функции усилий по 64 члена ряда (кривые 1), где каждая из аппроксимирующих функций удовлетворяет только граничным условиям. Кривые 2 соответствуют главной части решения с аппроксимирующими функциями *улучшенного качества* (6), (8), (10), (12), кривые 3 получены во втором приближении метода Бубнова-Галеркина (17), кривые 4 получены в третьем приближении метода Бубнова-Галеркина (18).

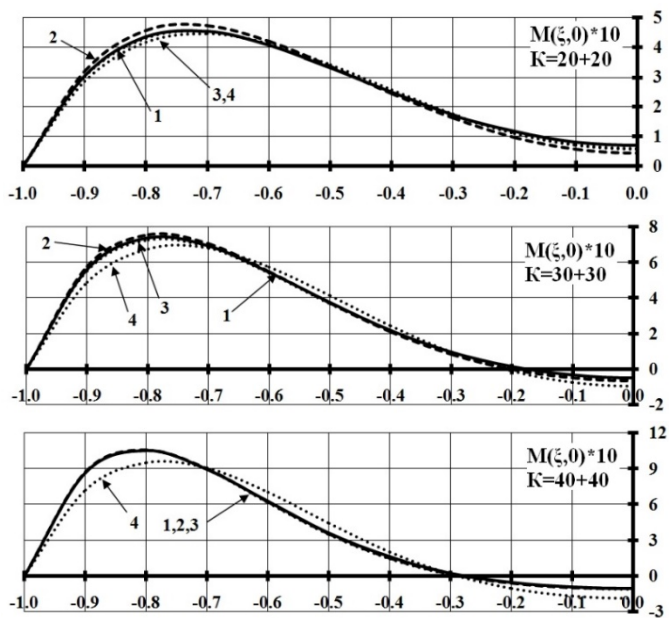


Рис. 1. Эпюры изгибающих моментов

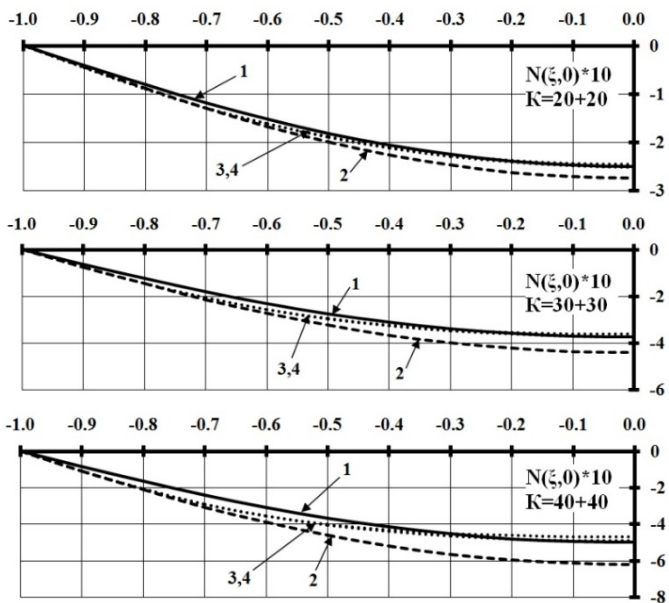


Рис. 2. Эпюры осевых усилий

В приведенной ниже таблице сравниваются результаты расчета пологих оболочек, полученные методом Бубнова-Галеркина при использовании предлагаемых аппроксимирующих функций, с результатами расчета, полученными методом Бубнова-Галеркина при удержании 64 членов ряда, которые берем за эталонные.

№ п/п	Приближение	K=20	K=30	K=40
$u_{\max}$				
1	64 члена ряда	0.100	0.100	0.104
2	I-е приближение	0.098	0.100	0.104
3	Отклонение, %	2.000	0.000	0.000
4	II-е приближение	0.099	0.100	0.102
5	Отклонение, %	1.000	0.000	1.920
6	III-е приближение	0.099	0.100	0.104
7	Отклонение, %	1.000	0.000	0.000
$M_{\xi \max}$				
8	64 члена ряда	0.453	0.738	1.050
9	I-е приближение	0.474	0.755	1.057
10	Отклонение, %	4.630	2.300	0.660
11	II-е приближение	0.453	0.728	1.054
12	Отклонение, %	0.000	1.350	0.380
13	III-е приближение	0.447	0.682	0.950
14	Отклонение, %	1.320	7.580	9.520
$N_{\xi \max}$				
15	64 члена ряда	0.250	0.374	0.499
16	I-е приближение	0.274	0.441	0.621
17	Отклонение, %	9.600	17.910	24.440
18	II-е приближение	0.246	0.362	0.469
19	Отклонение, %	1.600	3.200	6.010
20	III-е приближение	0.251	0.373	0.491
21	Отклонение, %	0.400	0.260	1.600

Таким образом, сравнение полученных результатов для пологой оболочки, имеющей одну или две степени свободы, по сравнению с эталонным решением для оболочки, имеющей 64 степени свободы, позволяет сделать следующие выводы:

1. Отклонение прогибов в пологой оболочке от эталонных значений при увеличении параметра кривизны и количества приближений остается в пределах 2 – 0%, что не превышает допустимого предела инженерной точности. Для получения достоверных результатов по прогибам

при расчете полой оболочки достаточно ограничиться главной частью решения.

2. Отклонение изгибающих моментов в полой оболочке от эталонных значений при увеличении параметра кривизны, во втором приближении, остается в пределах 4,63-0,38%. При использовании третьего приближения отклонения составляют 1,32-9,52%, что превышает предел инженерной точности в 5%. Поэтому для получения достоверных результатов при расчете полой оболочки можно ограничиться вторым приближением метода Бубнова-Галеркина.

3. При возрастании параметра кривизны увеличивается вклад осевых усилий в напряженно-деформированное состояние полой оболочки в связи с чем отклонения в первом приближении достигают 24,440%, но при увеличении количества приближений до трех, отклонения составляют всего 1,6%, что соответствует допустимому пределу инженерной точности в 5%. В итоге для получения достоверных результатов по осевым усилиям достаточно ограничиться в расчетах третьим приближением метода Бубнова-Галеркина.

Быстрая сходимость при расчете полой оболочки является результатом улучшения качества аппроксимирующих функций первого приближения, т.е. главной части решения.

#### Библиографический список

1. Власов, В.З. Избранные труды. Т. 1. / В.З. Власов. – М., Изд-во АН СССР, 1962. – 380 с.

2. Петров В.В. Теория и расчет пластинок и оболочек Ч. 1. Расчет упругих пластинок / В.В. Петров. – Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2014. – 164 с.

3. Михлин, С.Г. Численная реализация вариационных методов / С.Г. Михлин. – М.: Наука, 1966.

4. Петров, В.В. Теория и расчет пластинок и оболочек Ч. 2. Расчет упругих оболочек / В.В. Петров. – Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2015. – 132 с.

5. Петров, В.В. Выделение главной части решения при расчете полой оболочки вариационными методами / В.В. Петров, Р.В. Мищенко, Д.А. Пименов // Наука: 21 век. – 2015. – № 3(31). – С. 101-108.

**\*ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТАРЕНИЯ БЕТОНА  
НА ВЕЛИЧИНУ КОНТАКТНОЙ СИЛЫ  
И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
ПРИ УДАРЕ УПРУГОГО ШАРА ПО ВЯЗКОУПРУГОЙ БАЛКЕ**

Попов И.И., Россихин Ю.А., Шитикова М.В.  
*ВГАСУ, г. Воронеж, Россия*

В данной работе представлены результаты экспериментального исследования влияния старения бетона на величину контактной силы и времени контакта при ударе стального шара по бетонной балке.

*Экспериментальная программа.* Были исследованы три бетонные балки типа Тимошеко длиной 1000 мм, квадратного поперечного сечения со стороной 100 мм. Стальной шар диаметром 5 см свободно падал на балку с высоты 10 см. При этом ускорение балки записывалось помощью акселерометра PCB 352C33 и передавалось на ПК через систему обработки данных AD-LINK.

Время контакта определялось как полупериод первого колебания [1] из экспериментального сигнала. Контактная сила определена с помощью Второго закона Ньютона.

*Результаты и выводы.* Исследования были проведены при различных возрастах бетона: 7, 14, 28, 56, 91 и 182 дня. Установлено, что наиболее существенные изменения исследуемых параметров происходят в раннем возрасте бетона, до 28 дней, затем данные процессы замедляются. Среднее значение максимума контактной силы увеличивается на 20,34%, а среднее времени контакта уменьшается на 23,71%. Это связано со структурными изменениями бетона со временем: материал утрачивает вязкость, наращивая упругие свойства. При этом происходит снижение величины внутреннего трения материала, а, следовательно, и диссипации энергии удара, что является причиной сокращения времени контакта и увеличения контактной силы.

\*Работа выполнена при поддержке: РФФИ, грант № 14-08-92008-ННС-а; Национального научного фонда Тайваня, грант NSC 103-2923-E-011-002-MY3.

Библиографический список

1. ASTM C 1383-15. Standard Test Method for Measuring the P-Wave Speed and the Thickness of Concrete Plates Using the Impact-Echo Method. – West Con-shohocken, PA. –2015.

## **ВЗАИМОСВЯЗЬ КАЧЕСТВА СУШКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ И ПРОЧНОСТИ ДЕРЕВЯННЫХ КЛЕЕНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Прохорова А.В., Сычева Т.Н.

*ТулГУ, г. Тула, Россия*

Одним из новых направлений в производстве и применении деревянных клееных конструкций (ДКК) является создание сборных конструкций из унифицированных по размерам и качеству клееных элементов.

В связи с необходимостью расширения сырьевой базы производства деревянных конструкций проводилось комплексное изучение прочности и стойкости клеевых соединений из древесины даурской лиственницы, влияния на прочность конструкций неравномерного распределения технологической влажности по сечению клееных элементов.

Исходя из допускаемого нормами сушки разброса влажности пиломатериалов +3% и возможности их склеивания непосредственно после камерной сушки были изготовлены клееные элементы из четырех слоев лиственницы толщиной 20 мм влажностью 10% и 16%. Образцы разрушились через несколько дней после изготовления и выдерживания в нормальных температурно-влажностных условиях от действия растягивающих напряжений поперек волокон древесины.

Исследования продолжились при разбросе влажности пиломатериалов  $\pm 2\%$ . Конструкции первой серии склеивали из слоев с одинаковой влажностью 10%. Во второй серии балки имели перепад влажности 4%. Часть образцов первой и второй серий выдерживали при постоянных температурно-влажностных условиях, а другую часть экспонировали на открытом полигоне.

Испытания клееных конструкций с неравномерной начальной влажностью при выдерживании на полигоне в течение двух лет показали снижение их несущей способности, появление трещин и расслоений.

Проводились также расчетно-теоретические исследования напряженно-деформированного состояния клееных элементов из лиственницы при неравномерном изменении влажности древесины и оценке влияния допускаемого разброса влажности при изготовлении ДКК из этой древесины и возможного перепада влажности между слоями. Расчет на ЭВМ установлено, что наличие в конструкции перепада влажности 4% ведет к увеличению влажностных напряжений на 20% по сравнению с равномерным распределением начальной влажности.

Для достижения высокого качества сушки пиломатериалов из лиственницы требуется больший срок, чем при сушке других хвойных пород. Специально подобранные режимы сушки, контроль технологической влажности древесины являются необходимыми условиями для изготовления высококачественных ДКК и реализации в них высоких прочностных и эстетических качеств древесины лиственницы.

## **ХЛОРИДНАЯ КОРРОЗИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА СВОЙСТВА БЕТОНА**

Раткин В.В., Черных В.К.  
*СГТУ, г. Саратов, Россия*

Бетон, на сегодняшний день, является одним из самых широко используемых строительных материалов в различных сферах строительства (промышленное, гражданское строительство, транспортное строительство, гидротехнические сооружения и др.) К его достоинствам можно отнести универсальность, благодаря многообразию свойств, которых можно добиться, меняя его состав при помощи различных добавок. Также огромное достоинство состоит в том, что бетон имеет свойство набирать прочность со временем. Но, к сожалению, также имеют место и недостатки. Один из них – низкая коррозионная стойкость.

В транспортном строительстве одна из самых распространенных явлений – хлоридная коррозия. Это процесс проникания ионов хлора в поры бетона, которые снижают пассивирующие свойства бетона к арматуре, тем самым вызывая её коррозию. В свою очередь, стальная арматура окисляется, увеличивается в объеме и происходит постепенное разрушение конструктивного материала.

Возникнуть хлоридная коррозия может в случае применения противогололедных смесей (в транспортном строительстве), при эксплуатации сооружений в морской среде. Также хлориды в бетоне могут содержаться изначально в результате применения загрязненных материалов на стадии производства.

Было проведено испытание, где в качестве агрессивной среды был принят 1%-ный раствор соляной кислоты HCl, а также было изготовлено 4 образца, различающихся в зависимости от контакта с внешней окружающей средой:

- всестороннее воздействие раствора соляной кислоты;
- воздействие раствора соляной кислоты со стороны растянутой и сжатой зон сечения;

- воздействие раствора соляной кислоты только на сжатую часть сечения;

- образец, хранимый в нормальных термовлажностных условиях.

Образцы в агрессивный раствор погружались полностью, концентрация раствора соляной кислоты поддерживалась неизменной и постоянно контролировалась. Через 28 суток (затем через 180, 360, 540 и 720) проводились испытания, которые показали, что при длительном воздействии жидкой хлоридсодержащей среды вследствие диффузии агрессивных реагентов происходит изменение свойств бетона.

На основе данных испытаний (а также реальных примеров эксплуатации), можно сделать неутешительные выводы о вреде хлоридной коррозии, о её сильном влиянии на механические свойства конструктивного материала. Исходя из этого, становится понятным, что защиту от коррозии нужно предусматривать ещё на стадии проектирования конструкции.

## **КОМПЛЕКСНАЯ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНАЯ ДОБАВКА ДЛЯ БЕТОНОВ**

Резниченко Н.В., Рябов Г.Г., Рябов Р.Г.

*ТулГУ, г. Тула, Россия*

Сегодня невозможно представить себе качественное скоростное строительство без использования бетонов с суперпластификаторами. Разнообразие суперпластификаторов трудно перечислить. Под их влиянием не только повышается удобоукладываемость и соответственно уменьшается расход воды и увеличивается прочность бетонов, сокращаются сроки твердения, но и повышается внешний вид изделий за счёт предотвращения высолов.

В данной работе предлагаем комплексную органоминеральную добавку для бетонов, включающую – суперпластификатор полифункционального действия с основой натриевых солей полиметиленафталинсульфокислоты «ПФМ-НЛК», а также: содощёлочный плав – отход производства капролактами, тонкодисперсный бурый уголь – попутный отход, образующийся на дне вагонов при транспортировке или в основании складов при следующем соотношении: суперпластификатор 5,5-6%; содощёлочной плав 14-15% ; бурый уголь 7,3-8%; остальное вода.

Углеродсодержащий компонент способен повышать прочность цементно-песчаного бетона, взятых по массе 1:3, а точнее прочность состава вяжущего в состоянии испытания на прочность.

Усиление щелочной среды бетонной смеси ускоряет процесс схватывания, при условии, что щелочность среды создается щелочным катионом натрия.

Содержащиеся в составе содощелочного плава катионы железа (0,001-0,004%) выполняют роль центров кристаллизации, что способствует ускорению конца схватывания и прочности бетона

### **АКТУАЛЬНОСТЬ РАСЧЕТА НАДФУНДАМЕНТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ**

Рожков А.Ф., Мезенцев В.В., Хованский М.Е.  
*СФУ, г. Красноярск, Россия*

Современная тенденция городов «расти вверх» не обойдет ни один современный мегаполис. Кроме того, сегодня большая часть строительства осуществляется в условиях плотной городской застройки. Возникает вопрос о точности сложившегося подхода к проектированию высотных и уникальных зданий, а именно расчета конструкций здания без учета грунтового основания.

Проблемы, возникающие при проектировании и строительстве оснований и фундаментов высотных зданий обусловлены тем, что рост этажности и размеров здания в плане приводит к существенным качественным изменениям процесса формирования напряженно-деформированного состояния (НДС) основания, конструкций фундаментов и здания, а также совместной работы всей системы в целом. Так же следует учитывать нелинейный характер зависимости между сдвиговыми напряжениями и деформациями при моделировании работы грунта: при напряжениях, достаточно далеких от предела прочности деформации будут происходить достаточно медленно; при приближении к пределу прочности скорости деформации будут резко возрастать.

Расчет зданий и сооружений без учета грунтового основания может привести к неточности в определении нагрузки на грунт и его поведении. В следствие этого грунтовое основание может потерять свою устойчивость. Для подавляющего числа зданий и сооружений значительные смещения неприемлемы; следует точно выделять максимально

возможную нагрузку, действующую на массив грунта без потери устойчивости.

Следствием проектирования надфундаментных конструкций без совместного расчета системы «основание-фундамент-здание» становятся:

- искривление стен и появление трещин (при неравномерной осадке по длине фундамента);
- развитие крена;
- значительные смещения конструкций, которые ограждают массив грунта или заделаны в него;
- нарушение водостоков и трубопроводов;
- выпор грунта, сопровождающийся большой осадкой фундамента;
- выпучивание грунтов под пристройками к высотным зданиям, неравномерная их осадка (стилобаты).

## **ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ПОВРЕЖДАЕМОСТИ**

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

Физические представления, связанные с возникновением, развитием, иногда залечиванием деформационных дефектов, привлекаются для обоснования моделей пластического разрыхления и основанной на них методики расчёта параметров повреждаемости деформируемых материалов.

Для математического моделирования процесса повреждаемости и макроразрушения металлов существенное значение имеет величина предельной деформации (различают хрупкое, квазихрупкое и вязкое разрушение). В задачах технологической пластичности рассматривается вязкое разрушение, сопровождаемое большой пластической деформацией с образованием микропор, последующим их слиянием (коалесценцией) и формированием макропор (крупных полостных дефектов).

Детальное изучение видов микродефектов выявило сильное влияние микропор на прочность деформированных материалов [1]. Микроструктурные исследования показали, что разрушение происходит в ре-

зультате размножения, роста микропор и их объединения в крупные полостные дефекты. Крупные полостные дефекты в готовых изделиях под действием эксплуатационных нагрузок являются источником зарождения магистральных макротрещин, означающих разрушение материала.

Наиболее распространенным методом исследования разрушения металлов является оптическая микроскопия. Её преимуществом является возможность непосредственного наблюдения дефектов в поле зрения микроскопа и их дифференцирования по признакам определения и статистической оценки размеров и плотности распределения по локальным объемам металла.

Введение представления о макроэлементе как об элементарном объеме поврежденного дефектами материала позволяет воспроизводить в опытах над образцами конечных размеров (в М-опытах с М-образцами) состояние вещества в малом объеме, т.е. экспериментально проверять и развивать закономерности поведения деформируемой среды [2].

Таким образом, конструируемые определяющие соотношения повреждаемости металлических материалов должны соответствовать следствию из гипотезы макрофизической определенности.

#### Библиографический список

1. Zapara, M.A. A study of ductile damage and failure of pure copper – Part II: Analysis of the deep drawing process of a cylindrical shell / M.A. Zapara, N.D. Tutyshkin, W.H. Müller, R. Wille // *Technische Mechanik*. – 2012. – V. 32. – P. 631-648.

2. Ильюшин, А. А. Пластичность. Основы общей математической теории / А.А. Ильюшин. – М.: АН СССР, 1963. – 271 с.

#### **ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРУЕМОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ «ОБОЛОЧКА-ОСНОВАНИЕ»**

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

Рассмотрим расчет цилиндрической оболочки (рис. 1), взаимодействующей со слоистой средой, изотропную по координате  $\theta$  (в цилиндрической системе координат), к которой приложена равномерно распределенная нагрузка интенсивности  $q = 500 \text{ кН/м}$  (с шагом  $10 \text{ кН/м}$ ).

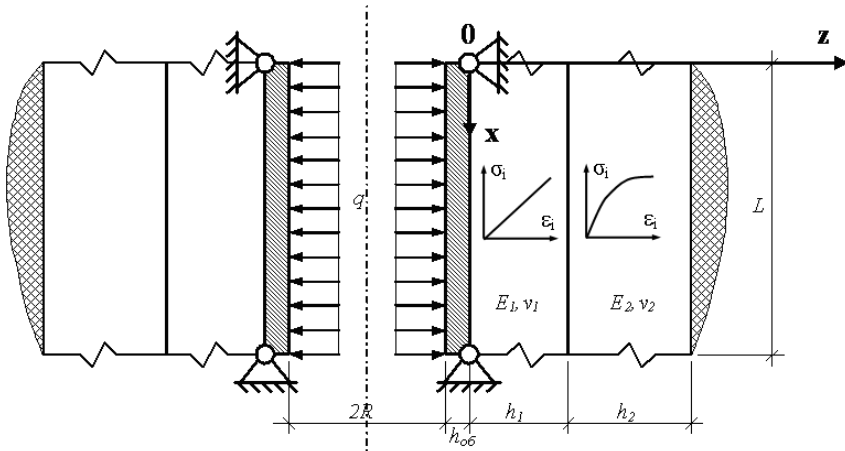


Рис. 1. Однородная цилиндрическая оболочка, равномерно нагруженная изнутри и взаимодействующая с нелинейно деформируемой слоистой средой

Длина оболочки  $L = 6 м$ , толщина стенки  $h_{об} = 0,5 м$ , радиус оболочки  $R = 6 м$ . Модуль упругости материала оболочки  $E_{об} = 18000 МПа$ , коэффициент Пуассона  $\nu_{об} = 0,35$ . Толщина 1-го слоя основания  $h_1 = 2 м$ , 2-го слоя –  $h_2 = 3 м$ . Начальный модуль деформации 1-го слоя основания  $E_1 = 35481 кПа$ , 2-го слоя –  $E_2 = 9845 кПа$ , коэффициент Пуассона основания  $\nu = 0,35$ .

Диаграмма  $\sigma_i \sim \varepsilon_i$  материала основания аппроксимируется экспоненциальной зависимостью  $\sigma_i = \sigma_s \left[ 1 - \exp\left(-\frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_s}\right) \right]$ , причем  $\sigma_s = 600 кПа$ .

Графики перемещений срединной поверхности оболочки, поверхности контакта 1-го и 2-го слоев основания, а также изгибающего момента представлены на рис. 2.

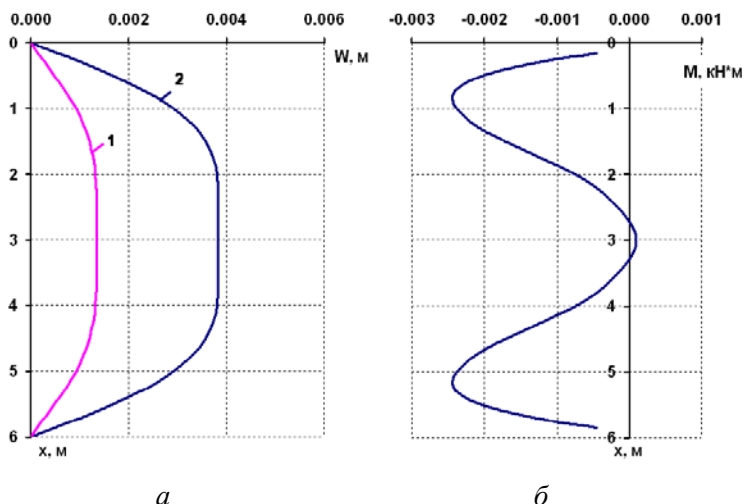


Рис. 2. Графики для однородной цилиндрической оболочки ( $q = \text{const}$ ):  $a$  – перемещений срединной поверхности оболочки (2) и поверхности контакта 1-го и 2-го слоев основания (1);  $b$  – изгибающего момента

### ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ НА РАБОТУ ГРУНТА МЕСТНОГО ЛИНЕЙНОГО УЧАСТКА ЗАМАЧИВАНИЯ, ПРОХОДЯЩЕГО В НЕПОСРЕДСТВЕННОЙ БЛИЗОСТИ ОТ ФУНДАМЕНТА

Селиванов Ф.С., Стрельцин Я.С., Арсентьев В.А.  
СГТУ, г. Саратов, Россия

Особую опасность для зданий и сооружений представляет неравномерная осадка грунта, которая, как правило, с течением времени лишь увеличивается. Причины возникновения неравномерной осадки – различные физико-механические свойства грунта под отдельными участками фундамента (отдельными фундаментами), неравномерное распределение нагрузки от здания.

При возникновении протечек труб ухудшаются несущие характеристики грунтового основания. Рассматривается случай расположения эпицентра замачивания на глубине 0,5 м в виде линейно протяжённого участка влажностью: 100% в радиусе 25 см; 50% в радиусе 25-75 см и 25% в радиусе 75-100 см.

Имеем следующие зависимости физико-механических характеристик супеси от влажности (рис. 1).

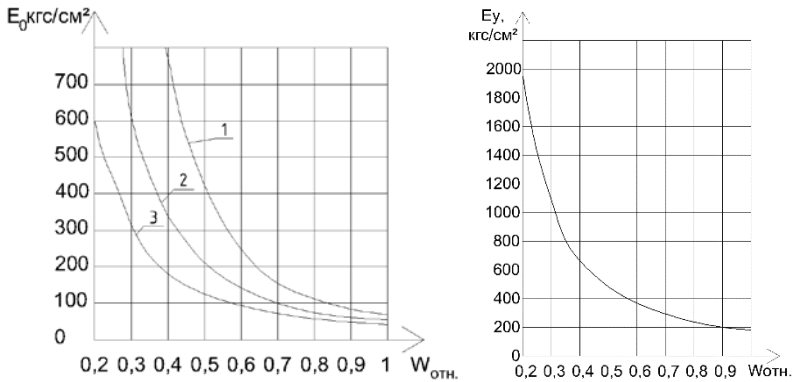


Рис. 1. Модули деформации (1, 2, 3 – при относительной деформации  $\lambda_0 = 0,01; 0,02; 0,03$ ) и модуль упругости

Для исследования в качестве основного грунта зададим супесь  $\lambda_0 = 0,03$ , влажность  $W = 20\%$ , коэффициент Пуассона  $V = 0,33$ , удельный вес  $R_0 = 2,7 \text{ т/м}^3$ . При этом получаем модуль деформации  $E = 600 \text{ кгс/см}^2$  ( $6000 \text{ т/м}^2$ ).

Для построения модели грунта зададим передачу вертикальной нагрузки в 20т через условный бетонный блок размером  $1 \times 1 \times 0,5 \text{ м}$ . Вес самого блока – 1 т. Однородные пласты основания ниже подошвы фундамента разделим на слои толщиной 0,5 м, количество слоев – 14. Напряжение от собственного веса грунта на уровне подошвы фундамента примем равным 0. Задаем закрепление точек: боковые грани закреплены шарнирно, нижняя плоскость-жесткая заделка.

Рассмотрим ситуацию с замачиванием линейного участка грунта на глубине 1,75 м на расстоянии в 0,25м от края блока (рис. 2).

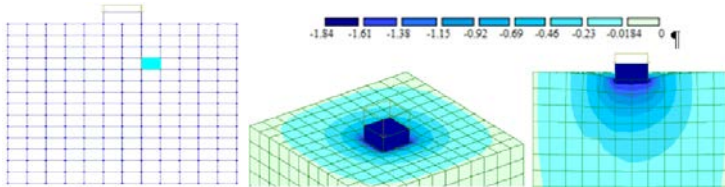


Рис. 2. Участок замачивания грунта и его влияние

Пусть в 1-м решении имеем участок сечением  $0,5 \times 0,5 \text{ м}$  влажностью  $W = 80\%$ , коэффициент Пуассона  $V = 0,33$ , удельный вес  $R_0 = 2,8 \text{ т/м}^3$ , модуль деформации  $E = 50 \text{ кгс/см}^2$  ( $500 \text{ т/м}^2$ ). В результате получаем

незначительное ухудшение основания с увеличением осадки (0,03 мм в условной задаче) – см рис. 2.

Рассмотрим распределение осадок и напряжений в грунте в разрезе (рис. 3).

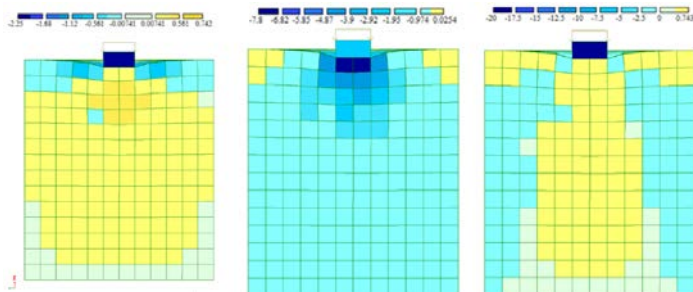


Рис. 3. Распределение напряжений по  $N_x$ ,  $N_y$ ,  $N_z$  ( $\text{т/м}^2$ )

Наблюдается незначительная асимметрия по нормальным напряжениям.

## ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ОСНОВАНИЯ ПРИ МЕСТНОМ ЗАМАЧИВАНИИ В НЕПОСРЕДСТВЕННОЙ БЛИЗОСТИ ОТ ОБОЛОЧКИ

Селиванов Ф.С., Стрельцин Я.С., Казарсян О.М.  
*СГТУ, г. Саратов, Россия*

Построены методика и алгоритм расчета оболочки (рис. 1).

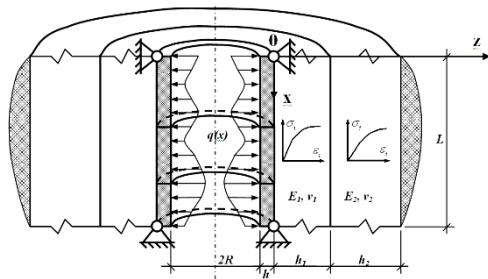


Рис. 1. Оболочка и двухслойный массив, находящиеся в условиях плоской деформации

Алгоритм предполагает возможность использования произвольной функциональной зависимости для аппроксимации диаграммы деформирования основания.

В качестве внешнего воздействия, вызывающего наведенную неоднородность свойств основания, рассматривалось дополнительное увлажнение грунтовой слоистой среды. При этом возмущение модуля деформации материала определялось уровнем влажности  $C$ , который рассматривается как параметр внешнего процесса.

При моделировании развивающейся неоднородности от увлажнения принята зависимость:

$$E(C) = E_0 f(C),$$

где  $f(C)$  – функция деградации,  $E_0$  – модуль деформации при начальном уровне влажности. Параметры диаграммы зависят от влажности  $C$ . Численные исследования выполнялись с кубической зависимостью

$$\sigma_i = E(C)\varepsilon_i - \frac{4E(C)^3}{27\sigma_s^2}\varepsilon_i^3$$

и экспоненциальной зависимостью

$$\sigma_i = \sigma_s(C) \left( 1 - \exp\left(-\frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_s}\right) \right),$$

где  $\sigma_s$ ,  $\varepsilon_s$  – предельное напряжение и соответствующая ему интенсивность деформации материала основания.

Алгоритм для численной оценки деформаций цилиндрической оболочки, заглубленной в слоистую среду, в условиях наведенной неоднородности физико-механических свойств, состоит в организации шагового численного процесса, где совместно реализуются следующие соотношения:

1) Нелинейные кинетические уравнения для описания функций деградации.

2) Нелинейная обобщенная диаграмма деформирования материала основания, зависящая от его деградации на данном шаге процесса.

3) Условия равновесия слоистого основания конечной толщины и цилиндрической оболочки, взаимодействующей с ним, относительно приращений перемещений с переменными значениями  $\{E_{ij}\}$  и  $\{\Gamma_{ij}\}$ ,

описывающими наведенную неоднородность свойств на данном шаге процесса.

При этом процесс деформирования состоит из двух последовательных этапов.

*Этап 1.* Определение деформаций поверхности (осадок) слоистой среды основания и изгибаемого конструктивного элемента, взаимодействующего с ним при нагружении.

*Этап 2.* Определение деформаций (осадок) при постоянной нагрузке, приложенной на поверхности слоистой среды или на конструктивный элемент, в условиях развития наведенной неоднородности физико-механических свойств среды, возникающей вследствие действия внешних возмущающих факторов (например, увеличения влажности).

На этапе 1 на каждом шаге увеличения нагрузки с использованием диаграммы деформирования происходит пересчет компонентов матрицы  $\{E_{ij}\}$  и решается краевая задача. При достижении заданного уровня нагружения с текущими значениями  $\{E_{ij}\}$  осуществляется переход к этапу 2.

На этапе 2 рассматривается возмущенный процесс деформирования, когда нагрузка остается постоянной, включается возмущающий фактор, описываемый кинетическими уравнениями. С использованием диаграммы деформирования происходит пересчет компонентов матриц  $\{E_{ij}\}$  и  $\{\Gamma_{ij}\}$  и решается краевая задача.

Для решения этой связанной нелинейной задачи в алгоритме используется одношаговый метод Рунге-Кутты для решения начальной задачи (с использованием кинетических уравнений для процесса увлажнения), метод Бубнова-Галёркина для решения краевой задачи в приращениях, численное интегрирование по формуле Симпсона для вычисления жесткостных характеристик слоистой среды, численное дифференцирование для получения деформаций по найденным из решения краевой задачи перемещениям.

## МОДЕЛЬ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ, ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩЕЙ С НЕЛИНЕЙНО ДЕФОРМИРУЕМЫМ ОСНОВАНИЕМ ПРИ НЕОДНОРОДНОЙ НАГРУЗКЕ

Селиванов Ф.С., Стрельцин Я.С., Касатов А.Ю.

*СГТУ, г. Саратов, Россия*

Рассмотрим расчет цилиндрической оболочки, взаимодействующей со слоистой средой (рис. 1), изотропную по координате  $\theta$  (в цилиндрической системе координат), к которой приложена нагрузка интенсивности  $q = 500 \text{ кН/м}$  (с шагом  $10 \text{ кН/м}$ ), которая увеличивается от 0 ( $x = 0 \text{ м}$ ) до  $500 \text{ кН/м}$  ( $x = 6 \text{ м}$ ).

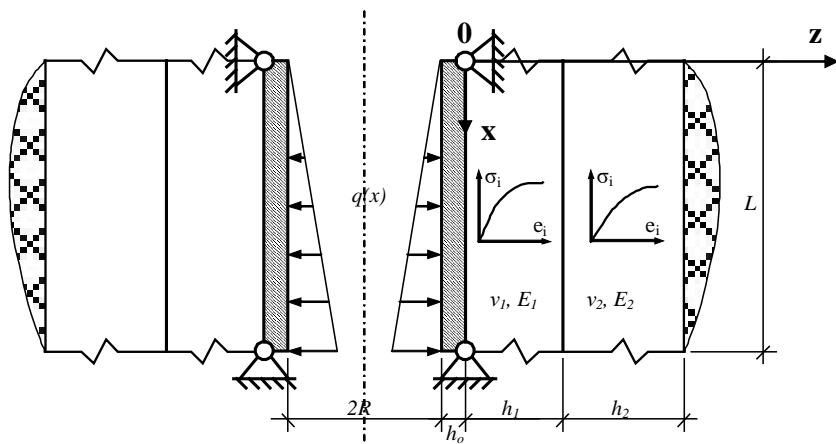


Рис. 1. Однородная цилиндрическая оболочка,  
равномерно нагруженная изнутри и взаимодействующая  
с нелинейно деформируемой слоистой средой

Длина оболочки  $L = 6 \text{ м}$ , толщина стенки  $h_{o\delta} = 0,5 \text{ м}$ , радиус оболочки  $R = 6 \text{ м}$ . Модуль упругости материала оболочки  $E_{o\delta} = 18000 \text{ МПа}$ , коэффициент Пуассона  $\nu_{o\delta} = 0,35$ . Толщина 1-го слоя основания  $h_1 = 2 \text{ м}$ , 2-го слоя –  $h_2 = 3 \text{ м}$ . Начальный модуль деформации 1-го слоя основания  $E_1 = 35481 \text{ кПа}$ , 2-го слоя –  $E_2 = 9845 \text{ кПа}$ , коэффициент Пуассона основания  $\nu = 0,35$ .

Диаграмма  $\sigma_i \sim \varepsilon_i$  материала основания аппроксимируется экспоненциальной зависимостью  $\sigma_i = \sigma_s \left[ 1 - \exp\left(-\frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_s}\right) \right]$ , причем  $\sigma_s = 600 \text{ кПа}$ .

Графики перемещений срединной поверхности оболочки, поверхности контакта 1-го и 2-го слоев основания, а также изгибающего момента представлены на рис. 2.

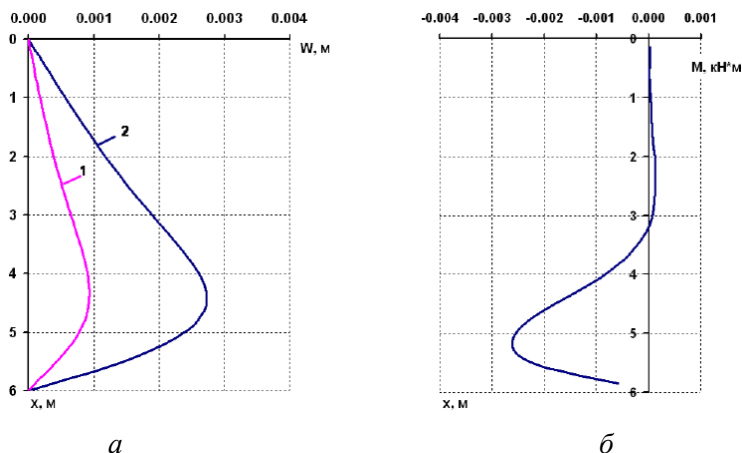


Рис. 2. Графики для однородной цилиндрической оболочки ( $q \neq \text{const}$ ):  $a$  – перемещений срединной поверхности оболочки (2) и поверхности контакта 1-го и 2-го слоев основания (1);  $b$  – изгибающего момента

### ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ НА РАБОТУ ГРУНТА МЕСТНОГО ЛИНЕЙНОГО УЧАСТКА ЗАМАЧИВАНИЯ, ПРОХОДЯЩЕГО В НЕПОСРЕДСТВЕННОЙ БЛИЗОСТИ ОТ ФУНДАМЕНТА

Селиванов Ф.С., Стрельцин Я.С., Миронов Г.В.  
СГТУ, г. Саратов, Россия

Особую опасность для зданий и сооружений представляет неравномерная осадка грунта, которая, как правило, с течением времени лишь увеличивается. Причины возникновения неравномерной осадки – раз-

личные физико-механические свойства грунта под отдельными участками фундамента (отдельными фундаментами), неравномерное распределение нагрузки от здания. В

При возникновении протечек труб ухудшаются несущие характеристики грунтового основания. Рассматривается случай расположения эпицентра замачивания на глубине 0,5м в виде линейно протяжённого участка влажностью: 100% в радиусе 25см; 50% в радиусе 25-75см и 25% в радиусе 75-100см.

Имеем следующие зависимости физико-механических характеристик супеси от влажности (рис. 1).

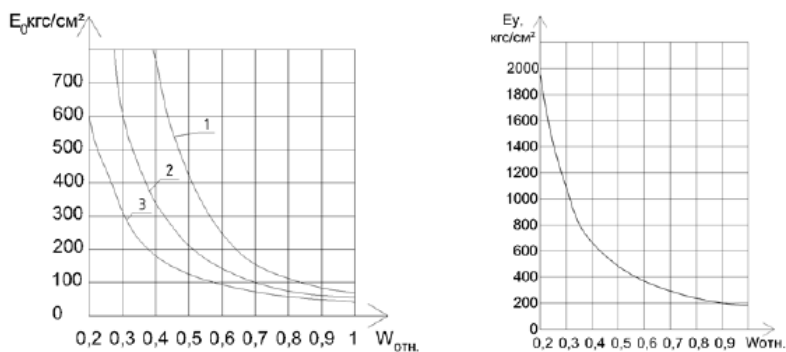


Рис. 1. Модули деформации (1, 2, 3 – при относительной деформации  $\lambda_0 = 0,01; 0,02; 0,03$ ) и модуль упругости

Для исследования в качестве основного грунта зададим супесь  $\lambda_0 = 0,03$ , влажность  $W = 20\%$ , коэффициент Пуассона  $\nu = 0,33$ , удельный вес  $R_0 = 2,7 \text{ т/м}^3$ . При этом получаем модуль деформации  $E = 600 \text{ кгс/см}^2$  ( $6000 \text{ т/м}^2$ ). Для построения модели грунта зададим передачу вертикальной нагрузки в 20 т через условный бетонный блок размером  $1 \times 1 \times 0,5 \text{ м}$ . Вес самого блока – 1 т.

Однородные пласты основания ниже подошвы фундамента разделим на слои толщиной 0,5 м, количество слоев – 14. Напряжение от собственного веса грунта на уровне подошвы фундамента примем равным 0.

Задаем закрепление точек: боковые грани закреплены шарнирно, нижняя плоскость – жесткая заделка.

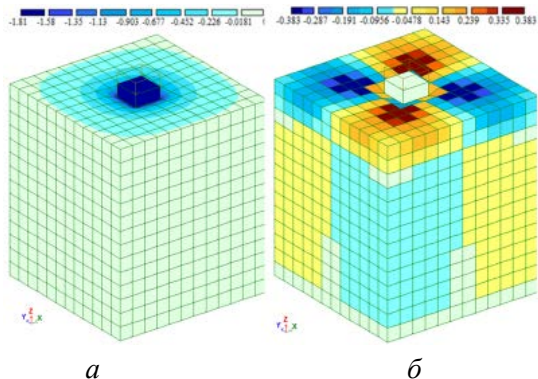


Рис. 2. Результаты расчёта:  
*a* – перемещения по *Z*, мм, *б* – мозаика напряжений по *Txz*, т/м<sup>2</sup>  
 Построена модель основания без учета фактора влажности.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ НЕЛИНЕЙНО-УПРУГИХ ПЛАСТИН, ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ С ТЕМПЕРАТУРНЫМ ПОЛЕМ

Семенов П.К., Воропаев А.В.  
 СГТУ, г. Саратов, Россия

Рассматриваются вопросы построения разрешающих уравнений для прямоугольных нелинейно-упругих пластин, взаимодействующих с температурным полем. Учет зависимости свойств нелинейно-упругого материала от температуры и времени осуществляется в компонентных соотношениях, которые принимаются в форме деформационной теории пластичности:

$$\sigma_x = \frac{4\sigma_i}{4\varepsilon_i} \left( \varepsilon_x + \frac{1}{2}\varepsilon_y - \frac{3}{2}\alpha T \right); \sigma_y = \frac{4\sigma_i}{4\varepsilon_i} \left( \varepsilon_y + \frac{1}{2}\varepsilon_x - \frac{3}{2}\alpha T \right); \tau_{xy} = \frac{\sigma_i}{3\varepsilon_i} \gamma_{xy} \quad (1)$$

Здесь  $\sigma_i, \varepsilon_i$  – интенсивности напряжений и деформаций соответственно;

$\alpha$  – коэффициент температурного расширения материала;  $T$  – температура. Функциональная зависимость  $\sigma_i = \sigma_i(\varepsilon_i, T, \tau)$  принимается в виде:

$$\sigma_i = E(T, \tau)\varepsilon_i - m(T, \tau)\varepsilon_i^3, \quad (2)$$

где  $\tau$  – время.

Функции  $E(T, \tau)$  и  $m(T, \tau)$  могут быть построены по результатам численной обработки нелинейных диаграмм деформирования и кривых ползучести при различных температурах и напряжениях, приведенных в справочной литературе для широкого класса конструкционных материалов [1]. Предлагаемая методика численной обработки экспериментальных данных основана на последовательном применении метода наименьших квадратов сначала для мгновенных диаграмм деформирования ( $\tau = 0$ ) при различных температурах и, далее, для кривых ползучести при различных напряжениях и температурах. Показывается [4], что в определенных справочными данными интервалах рабочих температур (до 500°C) и времен (до 100 ч) адекватно могут быть использованы полиномиальные зависимости

$$E(T, \tau) = E_0(\tau) + E_1(\tau)T + E_2(\tau)T^2; m(T, \tau) = m_0(\tau) + m_1(\tau)T + m_2(\tau)T^2. \quad (3)$$

Графики зависимости  $E$  и  $m$  от температуры в различные моменты времени показывают, что с течением времени функции  $E(T)$  и  $m(T)$  становятся практически линейными.

По результатам численной обработки экспериментальных данных зависимости  $E_0(\tau), E_1(\tau), m_0(\tau), m_1(\tau)$  принимаются в виде квадратичных полиномов. Таким образом, зависимость (2) принимает законченный аналитический вид, позволяющий получить последующие разрешающие соотношения в замкнутой форме. Отмечается [5], что пригодность (2) помимо диапазонов  $T$  и  $\tau$  определяется также положением его аналитического экстремума по  $\varepsilon_i$ , что реально соответствует значениям  $\varepsilon_i \leq 0,5\%$ . В соотношениях (1) необходимо также учитывать зависимость  $\alpha$  от  $T$ . Учитывая многочисленные справочные данные, принимается линейная зависимость

$$\alpha(T) = \alpha_0 + \alpha_1(T) \quad (4)$$

Построенные соотношения могут быть эффективно использованы для получения разрешающих уравнений математических моделей (расчетных схем) тонкостенных конструкций, находящихся в условиях термосилового нагружения в течение рассмотренного временного диапазона. Например, для тонких пластинок температура в любой точке объема может быть определена соотношением

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

Здесь  $T_0$  – температура срединной плоскости;  $\theta$  – температурный градиент. Для получения полной системы уравнений нелинейного термоупругого равновесия уравнениям (1) добавляются геометрические и статические уравнения. Полученная система вместе с граничными условиями порождает нелинейный оператор, линейаризация которого осуществляется построением дифференциала Фреше, в соответствии с известными положениями метода последовательных возмущений параметров [3]. Результирующее разрешающее дифференциальное уравнение в частных производных связывает приращения функций прогиба срединной плоской пластинки  $\Delta w$  интенсивности поперечной нагрузки  $\Delta q$ , температуры срединной поверхности  $\Delta T_0$ , температурного градиента  $\Delta \theta$  и времени  $\Delta \tau$ . С использованием обозначений операторной символики оно записывается в виде

$$\nabla_A^4 [\Delta \omega(x, y, z)] = \Delta q + \nabla_T^2 \Delta T_0 + \nabla^2 \Delta \theta + \nabla_\tau^2 \Delta \tau. \quad (5)$$

Наличие в правой части (5) приращений четырех ведущих параметров позволяет путем численного эксперимента исследовать различные программы нагружения, нагревания и разрушения рассматриваемой тонкостенной конструкции.

Приводятся результаты расчета НДС прямоугольных пластинок.

#### Библиографический список

1. Атлас диаграмм растяжения при высоких температурах, кривых ползучести и длительной прочности сталей и сплавов. – М.: Оборонгиз, 1957. – 173 с.
2. Власов, Б.Ф. Двусторонние оценки по энергии в задачах теории тонких упругих плит / Б.Ф. Власов // Тр. УДН им П. Лумумбы. – 1970. – Т48. – Вып. 6. – С. 9-81.
3. Петров, В.В. Метод последовательных нагружений в нелинейной теории пластин и оболочек / В.В. Петров. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1975. – 116 с.
4. Семенов, П.К. К вопросу использования метода последовательных возмущений параметров к расчету нелинейно-упругих пластин в условиях высокотемпературной ползучести / П.К. Семенов // Проблемы прочности элементов конструкций под действием нагрузки и рабочих сред: Межвуз. науч. сб. – Саратов: СГТУ, 2001, – С. 74.

## **РАСЧЕТ НЕЛИНЕЙНО-УПРУГИХ ПЛАСТИН МЕТОДОМ ВАРИАЦИОННЫХ ИТЕРАЦИЙ В СОЧЕТАНИИ С МЕТОДОМ ДВОЙНОЙ АППРОКСИМАЦИИ ПРИ ТЕРМОСИЛОВОМ НАГРУЖЕНИИ**

Семенов П.К., Воропаев А.В.  
*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 [1] и МДА [2] являются модификациями классического вариант метода Власова-Канторовича (МВК), свободными от ряда существенных ограничений: неравноправности координатных направлений и неодинаковой точности решения вдоль различных координат. Кроме того, МДА существенно расширяет класс решаемых задач в связи с возможностью выполнения статических граничных условий по всему контуру пластинки при взятии различных аппроксимирующих функций. Поэтому алгоритм решения, предусматривающий комбинацию МВИ и МДА, представляется перспективным с точки зрения построения экономичных и эффективных высокоточных методик расчета нелинейно-упругих пластин и автоматизации расчетов на ПЭВМ.

Сущность процедуры вариационных итераций заключается в следующем: искомые функции, определенные на предыдущей итерации, принимаются за аппроксимирующие функции на последующей итерации. Итерационный процесс повторяется до тех пор, пока искомые функции и их производные, определённые на соседних итерациях одинаковой четности, или параметры НДС пластинки на двух соседних итерациях не совпадут с достаточной степенью точности.

Существенным упрощающим обстоятельством является наличие в МДА двух однотипных вариационных уравнений, составленных вдоль обоих координатных направлений.

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. Для устойчивой сходимости вариационных итераций к стационарному значению во всех рассмотренных численных примерах расчета требовалось выполнение не менее 20 шагов по параметру предложения на отрезке  $[0, 1]$ .

Результаты, полученные при решении нелинейных задач расчета тонкостенных пространственных конструкций по методу вариационных итераций в сочетании с методом двойной аппроксимации, показывают следующее: при переходе к последующему этапу возмущения ведущего параметра задачи (нагрузки, температуры), в смысле реализации метода последовательных возмущений параметров, в качестве аппроксимирующих целесообразно брать функции, полученные на последней итерации предыдущего этапа.

Таким образом, 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.

В качестве примера рассмотрены квадратные в плане нелинейно-упругие пластины при задании различных условий закрепления на контуре. Численные данные расчетов свидетельствуют, что использование алгоритма метода вариационных итераций дополнительно к решению по методу двойной аппроксимации дает уточнение решения по прогибам до 3% и по изгибающим моментам до 7% по сравнению с вариантом решения задачи с использованием лишь алгоритма метода двойной (перекрестной) аппроксимации.

Выявлено, что сходимость вариационных итераций в сочетании с МДА не зависит от соотношения сторон пластинки в плане.

Численная реализация задач многопараметрического, например, термосилового, нагружения выявляет еще одну особенность использования сочетания МВИ с МДА (МВК). Исходное уравнение решаемых задач содержит при решении три ведущих параметра: внешнюю поперечную механическую нагрузку, температуру срединной плоскости пластинки и температурный градиент. С использованием данных параметров можно осуществлять различные программы нагружения и

нагревания пластинки. Численные расчеты показали, что при смене ведущего параметра целесообразно задавать новые аппроксимирующие функции из условий удовлетворения новому физическому содержанию задачи.

С целью исследования влияния процедуры вариационных итераций на удовлетворение статическим граничным условиям на свободном крае пластинки была решена задача расчета квадратной в плане пластинки с тремя жестко заделанными и одной свободной сторонами.

#### Библиографический список

1. Амельченко, В.В. Решение нелинейных задач теории пологих оболочек путем вариационных итераций / В.В. Амельченко, И.В. Неверов, В.В. Петров // Известия АН СССР. Механика твердого тела. – 1969. – № 3. – С. 62-68.
2. Власов, Б.Ф. Двусторонние оценки по энергии в задачах теории тонких упругих плит / Б.Ф. Власов // Труды УДН им. П. Лумумбы. – 1970. – Т. 48. – Вып. 6. – С. 9-81.

### **РАСЧЁТ ТЕРМОСИЛОВОГО НАГРУЖЕНИЯ СИСТЕМЫ «НЕЛИНЕЙНО-УПРУГАЯ ПЛИТА – ОСНОВАНИЯ» ВАРИАЦИОННЫМИ ИТЕРАЦИЯМИ**

Семёнов П.К., Воропаев А.В.  
*СГТУ, г. Саратов, Россия*

Рассматриваются вопросы численной реализации уравнений, описывающих процесс взаимодействия плиты прямоугольного очертания из нелинейно-упругого материала с неоднородным основанием при термосиловом нагружении плиты с учётом зависимости её механических характеристик от температуры. Физическая нелинейность материала плиты учитывается в компонентных соотношениях путем аппроксимации реальных нелинейных диаграмм деформирования при различных температурах полиномиальной зависимостью третьего порядка с коэффициентами, зависящими от температуры. Основание моделируется конечным числом слоев, работающих в условиях плоской задачи и описываемых соотношениями нелинейно-упругой среды. Для аппроксимации нелинейного закона деформирования принимается известная кубическая зависимость П.А. Лукаша. Итоговое разрешающее нелинейное уравнение в частных производных четвёртого порядка относительно функции прогиба срединной плоскости плиты линеаризу-

ется методом последовательных возмущений параметров Власова-Петрова. Линеаризованное инкрементальное уравнение в частных производных приводится к системе обыкновенных интегро-дифференциальных уравнений, решаемых вдоль координатных направлений, методом двойной аппроксимации. Последняя решается с использованием стандартных численных процедур решения двухточечных краевых задач для обыкновенных дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами в сочетании с вариационными интеграциями: искомые функции метода двойной аппроксимации на предыдущей итерации становятся аппроксимирующими на последующей. Процедура вариационных интеграций позволяет численно строить координатные функции метода двойной аппроксимации максимально удовлетворяющими физическому содержанию решаемой задачи. В соответствии с приведенной методикой выполнен расчёт квадратной плиты при статических граничных условиях с шарнирным закреплением угловых точек при различных программах последовательного возмущения ведущих параметров решаемой задачи: нагрузки, температуры, влажности основания.

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НЕЛИНЕЙНО-УПРУГОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ С МНОГОСЛОЙНЫМ НЕОДНОРОДНЫМ ОСНОВАНИЕМ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПОЛЗУЧЕСТИ**

Семенов П.К., Минаева Д.И.  
*СГТУ, г. Саратов, Россия*

Рассматриваются вопросы построения разрешающего уравнения и его численной реализации применительно к взаимодействию цилиндрической нелинейно-упругой оболочки с многослойным неоднородным основанием и температурным полем с учетом зависимости свойств нелинейно-упругого материала оболочки от температуры и времени эксплуатации осуществляется в компонентных соотношениях, которые принимаются в форме деформационной теории пластичности.

Функциональная зависимость нелинейной диаграммы деформирования материала оболочки принимается в виде:

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

Здесь  $T$ -температура,  $\tau$  – время. Такие зависимости предполагают одинаковые сопротивления материалов в растянутой и сжатой зонах и хо-

рошо описывают реальные свойства широкого класса конструкционных материалов. Распределение температуры по толщине оболочки считаем линейным. Функции  $E(T, \tau)$  и  $m(T, \tau)$  могут быть построены по результатам численной обработки нелинейных диаграмм ползучести при различных температурах и диаграмм ползучести при различных напряжениях и температурах. Установлено, адекватное использование зависимостей:

$$E(T, \tau) = E_0(\tau) + E_1(\tau)T + E_2T^2 \exp(-\tau),$$

$$m(T, \tau) = m_0(\tau) + m_1(\tau)T + m_2T^2 \exp(-\tau),$$

где  $E_0(\tau), E_1(\tau), m_0(\tau), m_1(\tau)$  принимаются в виде квадратичных полиномов от  $\tau$ . Основание моделируется конечным числом слоев, работающих в условиях плоской задачи и описываемых соотношениями нелинейно-упругой среды. Для аппроксимации нелинейных свойств слоев основания используется кубическая зависимость П.А. Лукаша.

Рассматривая систему «цилиндрическая оболочка – основание» и применяя к совокупности упомянутых нелинейных соотношений известные процедуры вариационного метода Власова и метода последовательных возмущений параметров Петрова, получаем разрешающее линейризованное дифференциальное уравнение осесимметричной деформации нелинейно-упругой цилиндрической оболочки, взаимодействующей с многослойным неоднородным основанием с учетом зависимости нелинейных свойств материала оболочки от температуры и времени эксплуатации.

Наличие приращений трех ведущих параметров (нагрузки, температуры, времени) в разрешающем уравнении позволяет численно моделировать реальные условия эксплуатации системы «оболочка-основание».

## **РАСЧЕТ НЕЛИНЕЙНО-УПРУГОЙ СТЕРЖНЕВОЙ ПЛАСТИНЫ, ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩЕЙ С НЕОДНОРОДНЫМ ОСНОВАНИЕМ**

Семенов П.К., Минаева Д.И.

*СГТУ, г. Саратов, Россия*

Данная задача представляет практический интерес в области расчета конструкций фундаментов с учетом реальных свойств материалов системы «конструкция-основание». Стержневая пластина представлена в виде регулярной системы перекрестных балок из физически нелинейного материала. Загруженной сосредоточенными силами в узлах. Численный анализ НДС таких систем эффективно реализуется методом

двойной аппроксимации, использование первого приближения которого обеспечивает достаточную точность решения. Материал элементов РСРБ считаем несжимаемым и нелинейно-упругим, процесс нагружения активным.

Нелинейные свойства элементов РСРБ учитываются в компонентных соотношениях зависимостью  $\sigma = E\varepsilon - m\varepsilon^3$ . Таким зависимостям удовлетворяют реальные диаграммы деформирования широкого класса конструкционных материалов, одинаково сопротивляющихся растяжению и сжатию в области малой физической нелинейности, представляющей интерес в строительных приложениях.

Применяя к исходным нелинейным соотношениям для РСРБ процедуру линеаризации в соответствии с методом последовательных нагружений получаем для каждого этапа нагружения линейное конечно-разностное уравнение относительно приращения функции узловых прогибов разложение в соответствии с первым приближением метода двойной аппроксимации и выполняя известные выкладки, получаем систему конечно-разностных уравнений для приращений искомым функций каждого направления.

Основание системы моделируется системой перекрестных сжимаемых слоев, в соответствии с структурой РСРБ, лежащих на недеформируемом скальном массиве. Функция осадки основания для слоя каждого направления, согласно вариационному методу Власова представляется разложением в виде произведения функций с разделенными переменными. Неоднородность среды основания определяется зависимостью его свойств от параметра влажности.

Система нелинейных конечно-разностных уравнений относительно искомым узловых перемещений линеаризуется на основе использования метода последовательных возмущений параметров. Выражая узловой отпор основания и подставляя его в систему линейных конечно-разностных уравнений для РСРБ получаем разрешающую линеаризованную систему конечно-разностных уравнений взаимодействия нелинейно-упругой стержневой плиты с неоднородным основанием для каждого этапа нагружения плиты.

Наличие приращений внешней узловой нагрузки и параметра влажности основания можно моделировать реальные условия эксплуатации и путем численного эксперимента исследовать НДС системы «стержневая плита – основание»

## **МОДИФИЦИРОВАННЫЙ КОРРОЗИОННОСТОЙКИЙ МЕЛКОЗЕРНИСТЫЙ БЕТОН С МИКРО- И НАНАДОБАВКОЙ МЕТАКАОЛИНА**

Семкина А.А, Рябов Г.Г., Рябов Р.Г.

*ТулГУ, г. Тула, Россия*

Создание современных гидротехнических, морских сооружений, промышленных зданий предъявляет высокие требования к технологическим и эксплуатационным характеристикам бетона.

Автором для получения коррозионностойких мелкозернистых бетонов в качестве микро- и нанодобавки использовали гидравлически активную добавку метаксаолин.

Метаксаолин является пуццолановой добавкой, представляющей аморфный силикат алюминия и имеющий химическую формулу  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ . Благодаря высокой удельной поверхности и пластинчатой морфологии частиц, метаксаолин заполняет пространства между более крупными, в сравнении с метаксаолином, частицами цемента, заполняет поры, при этом положительно влияет на удобоукладываемость бетонной смеси, повышает ее устойчивость к водоотделению и рассолению компонентов.

Следствие взаимодействия метаксаолина с компонентами цементного камня является ускорение химической реакции гидратации цемента, снижение содержания  $Ca(OH)_2$  и существенное уплотнение структуры, формирующихся при твердении цементного камня гидратных новообразований, что ведет к повышению прочности, плотности бетона, его водонепроницаемости, коррозионной стойкости и долговечности.

Авторами проведены исследования влияния расхода метаксаолина и добавкой суперпластификатора на прочность бетона и содержание  $Ca(OH)_2$  в цементном камне. В качестве добавки суперпластификатора применялся суперпластификатор Линамикс-ПК.

Установлено, что применение указанных добавок в мелкозернистом бетоне уменьшает содержание  $Ca(OH)_2$  с 25 до 18%, что и приводит к снижению I и II видов коррозии. При этом также повышается плотность и прочность бетона.

## **ВЛИЯНИЕ ВОДОРОДА НА СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ**

*Сергеева С.Б., Трещёв А.А.*

*ТулГУ, г. Тула, Россия*

Агрессивные среды, проникая в объем конструктивных элементов, как правило, приводят к значительным изменениям механических характеристик и сокращению их сроков службы. Разрушение деталей происходит под совместным воздействием нагрузки и среды, представляющей собой физико-химические процессы, происходящие на поверхности и в объеме исследуемых элементов.

Водород занимает особое место среди вредных технологических примесей, благодаря высокой подвижности в металле, как при высоких, так и при низких температурах. Так его коэффициент диффузии для черных металлов при 200С в 1012 превосходит соответствующую величину для углерода и азота.

Титан и его сплавы широко применяются для изготовления конструкций в авиационной, ракетной, химической и других отраслях промышленности. Эти сплавы, изначально обладая нечувствительностью к виду напряженного состояния, в процессе наводороживания приобретают свойства разнсопротивляемости, которые меняются в течение времени, что приводит к охрупчиванию и разрушению.

Различают высокотемпературную и низкотемпературную водородную коррозию (при температурах до 200<sup>0</sup>С).

Учет влияния высокотемпературной коррозии изучен достаточно подробно, что нельзя сказать о низкотемпературной. Это связано в первую очередь с недостаточностью экспериментальных исследований для прочностных расчетов и большим разбросом экспериментальных данных. Поэтому математическое моделирование низкотемпературных коррозионных процессов является подспорьем для дальнейших экспериментальных исследований.

Говоря о вредном влиянии водорода, надо отметить и о возможности использования такого отрицательного свойства водорода как, накапливание в объеме металла в решении экологических проблем. Так в монографии Колачева Б.А., Шалина Р.Е., Ильина А.А. дана классификация сплавов-накопителей водорода (СНВ). Эти материалы используют для хранения и транспортировки газа в форме гидридов, что является более легкой задачей по сравнению с хранением в жидком и газообразном состоянии. СНВ вызывают большой интерес, как источник водорода, и в

проблеме водородной энергетики. Этот газ считается топливом будущего, так как продукты сгорания его чище окружающей среды и, кроме того, запасы органического топлива постепенно иссекают. В мире уже налажен выпуск автобусов, работающих на водородном топливе. К СНВ относятся сплавы на основе титана, циркония, магния, кальция и др. металлов.

## **СПОСОБ УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЖАРОУПОРНОГО БЕТОНА**

Сигарев А.М., Рябов Г.Г., Рябов Р.Г.

*ТулГУ, г. Тула, Россия*

Значительные сдвиги, происходящие в последнее время в практике производства огнеупорных материалов, обусловлены расширением области применения жароупорных бетонов. Такой бетон незаменим в случаях производства фундаментов для тепловых конструкций, дымовых труб, футеровки тепловых агрегатов и т.д.

Рассматривается процесс утилизации отходов ферросплавного производства (микрокремнезем МК–85), а также отходов производства растворимого стекла, получаемого в результате вытяжки осадка, образующегося на дне емкостей, в которых растворяется силикат-глыба.

Для определения полученных свойств жароупорной бетонной смеси были проведены испытания по определению удобоукладываемости, прочности в возрасте 7 и 28 суток нормального твердения и остаточной прочности бетона после обжига при 800°С, испытания проводили в соответствии с ГОСТ 20910-90, ГОСТ 10180.

При исследовании были разработаны составы бетона, отвечающие требованиям поставленной задачи, т.е. класс по предельно допустимой температуре И8 (температура нагрева не выше 800°С), а остаточная прочность после обжига бетона при температуре 800°С более 30%. Основным результатом исследования стало применение кварцевого наполнителя в жаростойкой смеси. Экономическая целесообразность разработанных составов заключается в утилизации некоторых отходов, а именно: различных шлаков, отходов производства растворимого стекла.

Разработанный состав бетона может найти применение в производстве строительных материалов в качестве облицовочного материала для покрытия стен в пожароопасных помещениях, футеровки объектов с температурой нагрева до 800°С.

## ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ СТРОИТЕЛЬСТВА МАЛОГО ГРУНТОЗАСЫПНОГО АРОЧНОГО МОСТА С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Сидорова А.Ю.

*СГТУ, г. Саратов, Россия*

Одной из основных отличительных черт в технологии строительства арочного моста является малый вес конструкции и простота возведения. Это свойство является – одной из основных целей Американского проекта арочного моста.

Фундамент моста был задуман, как типовой железобетонный фундамент. Конструкция предполагала заложение четырех бетонных опор с применением строительного бетона двух классов, соответствующего стандартам главного министерства транспорта Америки [1].

Монтаж арок из углеволокна был одним из самых сложных этапов в строительстве, так как необходимо было учесть все нюансы и соблюсти симметрию конструкции, состоящей из 20-ти арок. Их заполнили самоуплотняющимся бетоном с помощью насоса. После схватывания бетона крайнюю арку установили концами в опалубочные короба на опоры и зафиксировали деревянными распорками по центру. Далее были использованы храповые ремни, чтобы перенести арки на фундамент и временно связать их вместе, до тех пор, пока сверху не будет установлен композитный профнастил. В монтаже арок было задействовано около пяти рабочих и один манипулятор со стрелой.

Профнастил был смонтирован за один день (рис.1).



Рис. 1. Монтаж профнастила

Композитные панели настила соединены с арками стальными саморезами. Рабочие подрезали панели настила со всех концов так, чтобы

он соответствовал 7-градусному уклону моста. Перед засыпкой верх настила залили бетоном, чтобы защитить его от больших камней в материале засыпки.

Для защиты арок под мостом, их закрыли листами стеклопластика. Этот материал хорошо зарекомендовал себя в подобных конструкциях. Монтаж занял меньше 30 минут, причем замеры для установки соединительных крепежей отняли гораздо больше времени. Пришлось очень аккуратно просверливать тройные отверстия для соединения с арками.

Строительство подпорных стенок и обратная засыпка – серьезные задачи в строительстве арочного моста. В качестве откосных крыльев арочного моста использовалась система Т-образных стенок из сборного бетона. Было применено 40 секций подпорных Т-образных стенок, по 10 на каждом углу.

Основа безопасности строительства и эксплуатации гибких засыпных конструкций – их совместная работа с грунтом обоймы вокруг оболочки. Сначала были опасения по поводу осадки и деформации профнастила от будущих нагрузок. К счастью современная расчетно-конструктивная база позволяет надежно проектировать и рассчитывать подобные конструкции с учетом односторонней работы грунта на сжатие и сдвиг. Проектировщиками были установлены оптимальные требования к физико-механическим свойствам грунта для засыпки настила такие, как: зерновой состав грунта, коэффициент уплотнения, модуль деформации грунтовой обоймы в зонах механического и ручного уплотнения [2].

Грунт засыпки, отвечающий необходимым требованиям, был отсыпан экскаватором выше отметки верхней части опоры. Уплотняли его с помощью ручных катков, виброплит и виброкатков. Уровень плотности контролировали при каждой отсыпке.

Асфальтирование арочного моста было проведено в ноябре (рис.2), а открытие дороги состоялось в конце ноября.



Рис. 2. Вид арочного моста после асфальтирования

В подобных проектах большое внимание следует уделять несущим конструкциям. В трубчатых углепластиковых арках, через заранее высверленные, отверстия необходимо внимательно отслеживать уровень заполнения бетоном. Можно также использовать приборы неразрушающего контроля. И очень важно соблюдать симметрию, монтируемой конструкции.

Библиографический список:

1. Edwin Nagy. Construction & Testing of the Neal Bridge in Pittsfield Maine / Edwin Nagy, Keenan Goslin, Dan Bannon, Melissa Landon, Larry Parent // The AEW Center University of Maine, October 2009. – P. 1-53.
2. Пупышев, А. Определение пригодности грунтов для засыпки металлических гофрированных сооружений / А. Пупышев // Дорожная держава. – 2016. – № 67.

## **ВЫСОКОПРОЧНЫЙ МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МЕЛКОЗЕРНИСТЫЙ БЕТОН ДЛЯ ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

Скоркин М.Е., Рябов Г.Г., Рябов Р.Г.

*ТулГУ, г. Тула, Россия*

Высокопрочные бетоны становятся все более востребованными. Они находят применение при строительстве высотных зданий и уникальных сооружений. Широкое применение такие бетоны нашли в транспортном строительстве.

В качестве заполнителя в таких бетонах используется высокопрочный щебень, который может быть дороже песка в два раза.

В связи с чем, одним из перспективных направлений эффективного применения высокопрочного и высококачественного бетона, является использование мелкозернистого бетона.

В таких бетонах в качестве заполнителя используется песок, а крупный заполнитель отсутствует.

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

Прочность мелкозернистого бетона зависит от количества и свойства вяжущих веществ, а также от характеристик заполнителя.

Проблема получения высокопрочных бетонов решается путем модифицирования различными добавками.

Известно, что на прочность бетона оказывает влияние прочность, плотность цементного камня, а также контактной зоны цементного камня и заполнителя.

Вопрос повышения прочности цементного камня и контактной зоны, было принято решение применить добавки, содержащие аморфный кремнезем и суперпластификатор.

Повышение прочности при введении аморфного кремнезема, объясняется тем, что аморфный кремнезем, в результате пуццоланических реакций, связывает гидроксид кальция, содержание которого в полностью гидратированном цементе составляет 20-25%. В результате образуются гидросиликаты кальция, которые имеют более плотную структуру, и высокую прочность.

Влияние суперпластификатора на прочность, объясняется тем, что снижается количество воды затворения вводимую в бетонную смесь. Это приводит к сокращению пор, и капилляр в теле цементного камня.

Результаты исследований показали, что введение добавки Линамик ПК в количестве 2%, микрокремнезема 7% и белой сажи 0,3%, от массы цемента, позволяет получить высокопрочный мелкозернистый бетон, класса В60, при расходе цемента 514 кг/м<sup>3</sup>.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ СТЕРЖНЯ ЛСТК, СООТВЕТСТВУЮЩИХ ПОГРАНИЧНОМУ СОСТОЯНИЮ НАСТУПЛЕНИЯ ЛОКАЛЬНОЙ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ**

Слесарев П.В.

*ТулГУ, г. Тула, Россия*

В представленной работе рассмотрено решение задачи о несущей способности центрально сжатых тонкостенных стержней открытого профиля, не испытывающих местной потери устойчивости, и для них выполнен поиск эквивалентных сечений, испытывающих местную потерю устойчивости.

В качестве критериев эквивалентности сечений с местной потерей устойчивости и без неё, были выбраны площадь поперечного сечения стержня и его несущая способность.

Сечение стержня было представлено одним С-образным профилем с элементом жёсткости на стенке в виде канавки. Толщина профиля варьировалась от 0,7 мм до 2,5 мм. Длина стержня рассматривалась от 1,5 до 4 м с шагом 0,5 м.

Для определения несущей способности тонкостенного стержня была использована методика Еврокода 3 [1].

Для сечения без местной потери устойчивости в расчёт вводилась полная площадь поперечного сечения, тогда как при нахождении несущей способности эквивалентного стержня с местной потерей устойчивости использовалась редуцированная площадь сечения. При определении редуцированной площади поперечного сечения была учтена возможная потеря устойчивости формы сечения концевых и промежуточных элементов жёсткости [2].

Критические силы для определения понижающего коэффициента определялись для трёх форм общей потери устойчивости в упругой стадии:

- изгибной;
- крутильной;
- изгибно-крутильной.

Численное решение поставленной задачи осуществлялось посредством среды MathCAD.

#### Библиографический список

1. Eurocodes: Design of Steel structures/ EN 1993-1-3: 2013, Part 1-3: General rules. Supplementary rules for cold-formed members and sheeting. CEN. European Committee for standardization. – 2013. – 193 p.
2. Нехаев, Г.А. Лёгкие металлические конструкции / Г.А. Нехаев. – Тула: ПрофСталь-Прокат, 2012. – 86 с.

### **ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НДС ВЫПУКЛОЙ ПОЛОГОЙ ОБОЛОЧКИ ИЗ ОРТОТРОПНОГО РАЗНОСОПРОТИВЛЯЮЩЕГОСЯ МАТЕРИАЛА**

Спасская М.В., Трещёв А.А.  
*ТулГУ, г. Тула, Россия*

Рассматривается задача о нагружении пологой оболочки положительной Гауссовой кривизны равномерно распределенной нагрузкой, приложенной перпендикулярно к срединной поверхности оболочки, также оболочка воспринимает температурное воздействие. В качестве граничных условий принято жесткое защемление по контуру оболочки, т.е. прогибы и углы поворота равны нулю, в качестве начальных условий принята температура оболочки на обоих поверхностях  $0^{\circ}\text{C}$ .

Основные этапы решения задачи:

1) Получение разрешающих дифференциальных уравнений, описывающих напряженно-деформированное состояние выпуклой пологой ортотропной разнсопротивляющейся оболочки, в рамках теории Трещёва А.А. [1, 2].

2) Получение системы алгебраических уравнений с помощью метода конечных разностей.

3) Разработка прикладной программы на ПК для решения задачи по определению напряженно-деформированного состояния выпуклой пологой ортотропной оболочки, выполненной из разнсопротивляющегося материала.

4) Решение задачи по определению НДС выпуклой пологой ортотропной разнсопротивляющейся оболочки в условиях термоупругого нагружения, при использовании разработанной математической модели и прикладной программы расчёта.

5) Сравнение результатов решения задачи с учетом и без учета температурного воздействия.

Исходные данные для расчёта: материал оболочки графит АТJ-S, толщина оболочки  $h = 0,03$  м, радиусы срединной поверхности оболочки  $R_1 = R_2 = 0,3$  м, размеры в плане  $L_1 = L_2 = 1,5$  м; нагрузка на оболочку равномерно распределенная  $q = 600$  кПа; на внутренней поверхности оболочки температура поддерживается постоянной  $10^\circ\text{C}$ ; на внешней поверхности оболочки температура также поддерживается постоянной  $40^\circ\text{C}$ ; в начальный момент времени оболочка имеет температуру  $0^\circ\text{C}$ .

Расхождение в значениях максимальных прогибов с учетом и без учета температурного воздействия составляет 21,4%. Для нормальных напряжений на внутренней поверхности оболочки значения, полученные без учета изменения температуры, в заделке превышают результаты, полученные с учетом температурного воздействия на 16,9%, кроме того, максимальные расхождений, полученные с учетом изменения температуры и без нее составляют 64,8%. С повышением температурного перепада растут прогибы, а также увеличиваются значения

напряжений. При повышении перепада температур на 10°C прогибы увеличиваются на 4...6%, а напряжения на 3,5...4,5%.

Проанализировав результаты, можно сделать вывод, что учет температурного воздействия при расчёте выпуклой пологой оболочки значительно влияет на параметры напряженно-деформированного состояния.

#### Библиографический список

1. Трещёв, А.А. Анизотропные пластины и оболочки из разносопротивляющихся материалов / А.А. Трещёв. – М., Тула: РААСН, ТулГУ, 2007. – 160 с.

2. Трещёв, А.А. Теория деформирования и прочности материалов с изначальной или наведенной чувствительностью к виду напряженного состояния. Определяющие соотношения: монография / А.А. Трещёв. – М., Тула: РААСН, ТулГУ, 2016. – 328 с.

### ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ КОНСТРУКЦИЙ СТОЕК ОПАЛУБКИ

Сурнин А.А., Сурнина Е.К., Моргун В.А.  
*СГТУ, г. Саратов, Россия*

При установлении причин обрушения конструкций опалубки и возводимого монолитного перекрытия одного из объектов, перед авторами возникла задача по определению устойчивости сжатого стержня стойки опалубки. При этом было установлено, что фактическое закрепление нижнего и верхнего концов стоек опалубки нельзя классифицировать как жесткое закрепление. Наиболее достоверной для рассматриваемого случая была определена расчетная схема стойки как стержня со ступенчатым изменением жесткости и шарнирным закреплением нижнего и верхнего концов.

Определено, что определяющими факторами, оказывающими влияние на устойчивость стержня, являются значения площадей поперечного сечения  $A$  верхней и нижней частей стойки, а также параметры моментов инерции  $J$ .

Установлено, что соотношению  $\sqrt{J_1/J_2}$  соответствует безразмерный параметр  $\varphi$ , учет которого в известной формуле  $N_3 = \varphi^2 Ei/l^2$  позволяет определить критическое усилие на стержень (стойку).

Было установлено, что все стойки опалубки в каждой типовой ячейке подвергались воздействию вертикальных нагрузок, значительно превышающих допустимое значение.

Натурным исследованием установлено, что фактически ни верхние, ни нижние концы стоек опалубки на объекте (то есть, фактическое конструктивное решение опалубки) не имеют жесткого закрепления с основанием или с конструкциями опалубочных балок и конструкцией палубы. Этот фактор значительно снижает устойчивость сжатых стержней (стоек опалубки). Кроме того, выявлен факт установки части стоек опалубки со значительным отклонением от вертикали, что приводит к возникновению эксцентриситетов от прилагаемых нагрузок, возникновению изгибающих усилий, и, следовательно, к потере устойчивости стержней (стоек опалубки). Сопоставительный анализ материалов натурного исследования и результатов поверочного расчета выявил, что количество фактически установленных стоек опалубки недостаточно для конкретных условий производства работ по устройству железобетонной монолитной плиты.

## **РАСЧЕТЫ НАДЕЖНОСТИ ЛИНЕЙНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

Сурнин А.А., Сурнина Е.К., Сабаев Р.М.  
*СГТУ, г. Саратов, Россия*

Расчеты надежности линейных сооружений – расчеты, предназначенные для определения количественных показателей надежности рассматриваемой инженерной системы. Они проводятся на различных этапах разработки, создания и эксплуатации линейных объектов.

На этапе проектирования расчет надежности производится с целью прогнозирования (предсказания) ожидаемой надежности проектируемой системы. Такое прогнозирование необходимо для обоснования предполагаемого проекта, а также для решения организационно-технических вопросов:

- выбора оптимального варианта структуры;
- способа резервирования;
- глубины и методов контроля;
- количества запасных элементов;
- периодичности профилактики.

На этапе испытаний и эксплуатации расчеты надежности проводятся для оценки количественных показателей надежности. Такие расчеты носят, как правило, характер констатации. Результаты расчетов в

этом случае показывают, какой надежностью обладали объекты, прошедшие испытания или используемые в некоторых условиях эксплуатации. На основании этих расчетов разрабатываются меры по повышению надежности, определяются слабые места объекта, даются оценки надежности и влияния на нее отдельных факторов.

Расчет функциональной надежности трубопроводных систем – определение показателей надежности выполнения заданных функций (например, вероятность того, что система очистки газа будет работать заданное время, в заданных режимах эксплуатации с сохранением всех необходимых параметров по показателям очистки). Поскольку такие показатели зависят от ряда действующих факторов, то, как правило, расчет функциональной надежности, задачей которого является определение функциональной надежности сложных резервированных систем с учетом восстановления их работоспособности и различных законов распределения времени работы и времени восстановления, базируется на элементном расчете, то есть, расчете аппаратурной надежности простых изделий, нерезервированных, без учета восстановлений работоспособности.

При этом установлено, что время работы системы до отказа практически всегда подчинено экспоненциальному распределению.

## **ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ФАКТОРЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЛИНЕЙНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

Сурнин А.А., Сурнина Е.К., Сабаев Р.М.  
*СГТУ, г. Саратов, Россия*

Национальная безопасность напрямую зависит от техногенной безопасности. Поэтому динамичное развитие интеллектуальных и производственных технологий с учетом методики обеспечения техногенной безопасности способны поменять негативную тенденцию в данной отрасли человеческой деятельности.

Статистические данные закономерно показывают связь аварийности со сроком эксплуатации. Инженерная система испытывает как статические, так и динамические нагрузки, возникающие при рабочих условиях функционирования системы, а также при ошибочных действиях обслуживающего персонала. Неконтролируемый процесс развития повреждения или дефекта может привести к аварии, если не будут вовремя приняты меры по пресечению ее.

В процессе изучения материалов по отказам функционирования линейных сооружений указывает на перечень основных причин аварий. Он остается, в целом, постоянным и включает в себя:

- воздействие внешних сил и повреждение при работах. Эти аварии вызваны внешними воздействиями, которые повреждают и перегружают систему. Причиной их возникновения могут быть как природные явления (землетрясения), так и проводимые строительные работы;

- воздействие транспортируемой среды. Эти аварии образуются за счет действия транспортируемой среды на материал. Сюда можно отнести коррозионное растрескивание, внутреннюю и внешнюю коррозию;

- дефекты сырья и производства. Эти аварии вызваны дефективным сырьем, из которого изготавливается линейное сооружение. Ошибки при монтаже;

- ошибки эксплуатации линейного сооружения. Несоблюдение действующих СНиПов, ГОСТов, СП, и иных нормативных документов по эксплуатации, ошибки обслуживающего персонала.

В России в течении последних десяти лет наблюдаются участвовавшие случаи аварий, различных техногенных катастроф, разрушение инженерных сооружений, что напрямую оказывает негативное влияние на окружающую среду нашей страны и подвергает опасности жизни наших граждан. Уже сейчас можно наблюдать ущерб от данных событий, который сопоставим с ВВП страны (если учитывать динамику снижения производства). Данный показатель является одним из главных при разработке стратегий для снижения рисков и обеспечения эксплуатационной надежности инженерных систем.

## **РАЗРУШЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ МОСТОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ХЛОРИДОВ**

Тарасов А.А., Черных В.К., Раткин В.В.  
*СГТУ, г. Саратов, Россия*

В зимнюю и неустойчивую погоду и гололед, автомобильные дороги и искусственные сооружения на них активно подвергаются воздействию антиобледенительных солей, большая часть которых представляет собой не что иное, как хлоридсодержащую среду. Такая среда оказывает значительное влияние на механические и другие характеристики материала, что может привести к изменению поведения конструкции и к разрушительным последствиям в целом.

В качестве реального примера приведем материалы недавнего обследования мостового сооружения через водосливную плотину на реке Перетенка в городе Окуловка Новгородской области. Данный мост был введен в эксплуатацию более ста лет назад, в 1914 году. В 1985 году сооружение было реконструировано под современные (по тем временам) нагрузки Н-30 и НК-80. Пролетные строения (по схеме 18+18) представляют собой пять объединенных Т-образных сборных железобетонных балок, выполненных по типовому проекту 710/5.

По результатам обследования данного сооружения было принято решение о реконструкции. Большая часть дефектов, влияющих на способность сооружения продолжать функционировать, представляла собой разрушение железобетона под воздействием хлоридсодержащей среды. Первопричинами этого процесса являются:

1. Отсутствие антикоррозионной защиты. Мост реконструировался 30 лет назад, и не предпринималось никаких попыток его защитить от внешних воздействий, тем более типовыми проектами тех лет это не предусматривалось.

2. Негерметичность деформационных швов, что приводит к попаданию воды вместе с агрессивной средой на конструктивный материал.

3. Нарушение гидроизоляции мостового сооружения и трещины в дорожной одежде, что опять же приводит к попаданию воды с хлоридами на железобетонные несущие балки.

Мост, по сути являясь городским, многократно подвергался действию антиобледенительных солей. Железобетонные балки беспрепятственно омываются хлоридами, причем не малыми порциями. Чтобы понять, насколько данный процесс деструктивен, было рассмотрено влияние хлоридсодержащей среды на механические характеристики железобетона.

Ионы хлора, проникая в поры бетона, снижают его пассивирующие свойства к арматуре, тем самым вызывая её коррозию. В свою очередь, стальная арматура окисляется, увеличивается в объеме и происходит постепенное разрушение конструктивного материала.

Мостовое сооружение, упомянутое выше, является не единственным в своем роде с такими проблемами. К сожалению, в России тысячи таких мостов и путепроводов, построенных по типовым проектам, в которых не предусмотрена защита от агрессивных сред. Зачастую, экономические проблемы не позволяют решить задачу сохранности железобетонных пролетных строений от воздействия хлоридов (применение

которых неизбежно для обеспечения безопасности движения на дорогах), недостаточно современной нормативной литературы, которая регулировала бы эти процессы. Но, тем не менее, уже разработан ряд моделей прогнозирования поведения железобетонных конструкций как раз под таким влиянием, изучаются и внедряются инновационные меры по защите железобетонных конструкций. Необходимо разработать цикл мер для решения этой проблемы.

## **ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО КЭ ДЛЯ РАСЧЕТА ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД**

Теличко В.Г., Ходорович П.Ю.

*ТулГУ, г. Тула, Россия*

Для современного дорожного строительства необходимо правильно оценивать прочность, долговечность и деформативность дорожного основания.

Согласно [1] анизотропные грунты и породы широко распространены в коре и в верхней мантии Земного шара. Кроме того, они обладают разносопротивляемостью [2]. Многие исследователи, не без основания, высказывают мнение, что все грунты обладают анизотропией свойств, с учетом того, что при формировании в прошлые геологические эпохи они испытывали сложное нагружение, сформировавшее неоднородное и анизотропное напряженное состояние. Анизотропия в грунтах – скорее правило, чем исключение. К грунтам, у которых она ярко выражена, относятся ленточные глинистые отложения, лёссы и лёссовидные грунты, торфянистые, мерзлые, солонцеватые и некоторые другие разновидности. Анизотропия присуща многим полускальным и скальным породам в силу преимущественной ориентации минералов и свойств текстуры породы (слоистость, полосчатость и т. п.), трещиноватости, наличия дефектов структуры и др.

Для демонстрации влияния учета вышеописанных свойств, на результаты расчета дорожного основания, авторы предлагают решить задачу об определении напряженно-деформированного состояния слоистого полупространства, нагруженного на участках распределенной нагрузкой, используя модифицированную конечно-элементную модель, построенную на базе объемного изопараметрического элемента, использующую положения и гипотезы общей трехмерной теории упругости и учитывающего свойства разносопротивляемости [3].

Проведенные авторами исследования показали, что предлагаемый подход вполне адекватен и обладает рядом преимуществ над существующими теориями благодаря повышенной точности и более полному учету физики грунтовых оснований. Подтверждено, что при проведении расчетов пренебрегать учетом явления разносопротивляемости никак нельзя, так как это может привести к значительным погрешностям в определении параметров напряженно-деформированного состояния (до 30% по напряжениям и деформациям).

#### Библиографический список

1. Бугров, А.К. Анизотропные грунты и основания сооружений / А.К. Бугров, Голубев А.И. // СПб.: Недра, 1993. – 245 с.
2. Вялов, С.С. Реологические основы механики грунтов: Учеб. пособие для строительных вузов / С.С. Вялов // М.: Высш. школа, 1978. – 447 с.
3. Трещёв, А.А. Конечно-элементная модель расчета пространственных конструкций из материалов с усложненными свойствами / А.А. Трещёв, В.Г. Теличко, А.Н. Царев, П.Ю. Ходорович // Известия ТулГУ. Технические науки. – Тула: Изд-во ТулГУ. – 2012. – Вып. 10. – С. 106-115.

### **ОБ ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКИ, ПОЛУЧЕННЫХ В СРЕДЕ САПР**

Теличко Г.Н.

*ТулГУ, г. Тула, Россия*

При параметрическом решении задач линейной строительной механики стержневых систем результаты, получаемые в среде САПР, имеют числовую форму. Однако соответствующие значения не всегда имеют определённый физический смысл [1]. Например, при решении задачи устойчивости, получаемое значение является не значением критической нагрузки, а только сомножителем в её выражении, которое формируется в производных единицах измерения, выбранных для параметрического описания заданной расчётной схемы.

Поэтому для получения численных значений в физических единицах измерения, требуется установить связь между ЭВМ-результатом

параметрического решения, с одной стороны, и комбинацией из производных единиц измерения и обозначения конкретной характеристики напряжённо-деформированного состояния.

Выражения, которые определяют искомую связь, могут быть получены на основании теоретических решений типовых задач строительной механики. Например, используем в качестве производных единиц измерения:  $a$  – для длины;  $\varphi$  – для угла поворота;  $F$  – для площади;  $J$  – для момента инерции на изгиб;  $E$  – для модуля упругости;  $\alpha$  – для коэффициента линейного расширения;  $^{\circ}\text{C}$  – для температуры;  $q$  – для интенсивности распределённой нагрузки;  $P$  – для сосредоточенной силы (в узлах фермы или в сжатом участке рамы при продольном изгибе);  $\omega$  – для частоты собственных/вынужденных колебаний; и др.

Поставим задачу установить связь между ЭВМ-результатом и комбинацией параметров, описывающих задачу продольного изгиба рамы при узловой сжимающей нагрузке.

Расчётная схема, устойчивость которой исследуется, однозначно определяется габаритными размерами, кинематическими характеристиками внутренних и опорных узлов, изгибными жесткостями участков и сжимающими силами участков. В системе единиц, назначенной выше, построение КЭ-модели будет заключаться в задании размеров в масштабе  $k_i a$ , связей в узлах, изгибных жесткостей в масштабе  $m_j EJ$ , сжимающей нагрузки в масштабе  $n_s P$ . Здесь  $k_i$ ,  $m_j$ ,  $n_s$  – числовые множители,  $i$  – число участков различной длины,  $j$  – число участков с различной изгибной жёсткостью,  $s$  – число узловых сил различной величины. При формировании КЭ-модели в среде САПР значения всех перечисленных параметров вводятся в виде числовых значения коэффициентов  $k_i$ ,  $m_j$ ,  $n_s$ .

Поскольку рассматривается линейная упругая задача, воспользуемся обобщённой формулой Эйлера для выражения критической силы в виде  $P_{cr} = (\pi/\mu l)^2 EJ$ . Выразим переменные в этой формуле через введённые параметры, а затем запишем полученное выражение в виде равенства комбинации числовых множителей (безразмерное значение) и введённых единиц измерения»

$$\eta = EJ/(P_{cr} \cdot a^2).$$

Отсюда получаем, что параметр  $P$  критической силы выражается через ЭВМ-решение  $\eta$  соотношением

$$P_{cr} = \eta \cdot EJ/a^2.$$

Определение связей других характеристик НДС заданной расчётной схемы в статике и динамике упругих стержневых систем также проводится с использованием теоретических результатов. Некоторые из них для вариантов статической нагрузки приведены в табл. ниже.

Тип нагрузки	Характер-ка НДС	Множитель при $\eta$
С-нагрузки ( $u$ ), изгиб,	$M, Q$ или $N$	$u \cdot EJ/a^2, u \cdot EJ/a^3$
	$u, \varphi$ -перемещения	$u, u/a$
С-нагрузки ( $\varphi$ ), изгиб,	$M, Q$ или $N$	$\varphi EJ/a, \varphi EJ/a^2$
	$u, \varphi$ -перемещения	$a \varphi, \varphi$
С-нагрузки ( $u$ ), раст/сжатие	$N$	$u \cdot EF/a$
	$u$ -перемещения	$u$
Т-нагрузки ( $^{\circ}C$ ), изгиб	$M, Q$ или $N$	$^{\circ}C \cdot \alpha \cdot EJ/h, ^{\circ}C \cdot \alpha \cdot EJ/(a \cdot h),$
	$u, \varphi$ -перемещения	$^{\circ}C \cdot \alpha \cdot a^2/h, ^{\circ}C \cdot \alpha \cdot a/h$
Т-нагрузки ( $^{\circ}C$ ), раст/сжатие	$N$	$^{\circ}C \cdot \alpha \cdot EF$
	$u$ -перемещения	$^{\circ}C \cdot \alpha \cdot a$

#### Библиографический список

1. Теличко, Г.Н. Параметрическое моделирование в среде САПР / Г.Н. Теличко // Актуальные проблемы строительства, строительной индустрии и промышленности: сб. мат. XVII Межд. науч.-техн. конф. – Тула, 30 июня – 3 июля 2015. – С. 129-131.

### РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА С ПРИМЕНЕНИЕМ ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДОСОДЕРЖАЩЕГО ОТХОДА

Тихонов А.Д., Рябов Г.Г.  
ТулГУ, г. Тула, Россия

В настоящее время тяжелый бетон не производят без модификации его различными добавками. К таким добавкам относят нано – и микро-добавки, супер – и гиперпластификаторы. Пластификаторы добавляют с целью снизить водоцементное отношение, что дает возможность повышения прочности бетона до 30% и более.

К основным свойствам тяжелого бетона, кроме прочности, относят пористость, деформативность (модуль упругости, ползучесть, усадку),

яводонепроницаемость, морозостойкость, теплофизические свойства, которыми можно управлять, применяя композиционные добавки. Исходя из этого нам важно, чтобы наш бетон, с применением пластификатора, улучшил свои свойства или не потерял их. В состав пластификатора входят: графитовая пыль, солидол, уайтспирит.

Целью данного исследования является утилизация углеродосодержащих отходов машиностроительных производств и снижение себестоимости производства бетона.

Исследования проводились с использованием методов математического планирования эксперимента. На основании полученных математических зависимостей прочности и плотности установлено, что применение исследуемого пластификатора позволяет получить тяжелый бетон плотностью 2300-2450 кг/м<sup>3</sup>, прочностью при сжатии 59-70 МПа, на растяжение при изгибе 7-9 МПа.

Применение отходов производства и углеродных добавок в составе композиционных смесей способствует охране окружающей среды и снижению себестоимости.

## **ПОТЕНЦИАЛ ДЕФОРМАЦИЙ ДЛЯ ОРТОТРОПНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ К ВИДУ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ**

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

Определяющие соотношения для ортотропных материалов, чувствительных к виду напряженного состояния можно представить не только в виде прямой связи тензоров деформаций и напряжений [1], но и через потенциал деформаций:

$$W = A_1\sigma_{11}^2 + A_2\sigma_{22}^2 + A_3\sigma_{33}^2 + A_4\sigma_{11}\sigma_{22} + A_5\sigma_{22}\sigma_{33} + A_6\sigma_{33}\sigma_{11} + A_7\tau_{12}^2 + A_8\tau_{23}^2 + A_9\tau_{13}^2 \quad (1)$$

Коэффициенты, входящие в разложение (1), не являются константами, а представляют собой функции от комбинаций нормированных напряжений [2]:

$$a_{ij} = \sigma_{ij} / S, \quad (i, j = 1, 2, 3) \quad (2)$$

и зависят от параметров материала, которые подлежат экспериментальному определению,

$$\text{где } S = \sqrt{\sigma_{ij}\sigma_{ij}} = \sqrt{\sigma_{11}^2 + \sigma_{22}^2 + \sigma_{33}^2 + 2\tau_{12}^2 + 2\tau_{23}^2 + 2\tau_{31}^2}; \quad \alpha_{ij}\alpha_{ij} = 1.$$

Параметры  $A_k$  представляются следующими функциями

$$A_k = A_{kk} + B_{kk}\alpha_{kk} \quad \text{при } k = 1, 2, 3;$$

$$A_k = A_{mn} + B_{mn}(\alpha_{mm} + \alpha_{nn}) \quad \text{при } k = 4, 5, 6 \text{ и } m, n = 1, 2, 3; \quad (3)$$

$A_k = A_{pq} + B_{pq}\alpha_{pq}$  при  $k = 7, 8, 9$  и  $p, q = 1, 2, 3$  (первый вариант представления параметров);  $A_k = 1/2G_{pq}$  при  $k = 7, 8, 9$  и  $p, q = 1, 2, 3$ , (второй вариант представления параметров).

Уравнения связи компонентов тензоров деформаций и напряжений для ортотропных материалов, чувствительных к виду напряженного состояния определяются по известным формулам Кастильяно:

$$e_{ij} = \frac{\partial W}{\partial \sigma_{ij}}. \quad (4)$$

Констант потенциала деформаций можно определить по результатам обработки данных испытания образцов ортотропного материала на одноосное растяжение и одноосное сжатие поочередно вдоль главных осей анизотропии и под углом  $45^\circ$  к ним (первый вариант представления материальных функций) или – из испытаний на сдвиг в главных плоскостях анизотропии (второй вариант представления материальных функций) с использованием метода наименьших квадратов.

Предложенный потенциал деформаций достаточно точно описывают диаграммы деформирования широкого круга ортотропных материалов, механические характеристики которых зависят от вида напряженного состояния.

#### Библиографический список

1. Амбарцумян С.А. Теория анизотропных пластин: прочность, устойчивость, колебания / С.А. Амбарцумян. – М.: Наука, 1967. – 266 с.
2. Трещёв, А.А. Теория деформирования и прочности материалов с изначальной или наведенной чувствительностью к виду напряжённого состояния. Определяющие соотношения: монография / А.А. Трещёв. – М., Тула: РААСН, Изд-во ТулГУ, – 2016. – 328 с.

## ДЕФОРМИРОВАНИЕ ПОЛОГОЙ СФЕРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ ИЗ МАТЕРИАЛОВ, СВОЙСТВА КОТОРЫХ ЗАВИСЯТ ОТ ВИДА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ ПОЛЗУЧЕСТИ

Трещёв А.А., Захарова И.А., Злобин С.Ф.

*ТулГУ, г. Тула, Россия*

В современной технике получили широкое распространение оболочки, изготовленные из материалов, реологические свойства которых не 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 во времени. 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 и к гидростатическому давлению. К таким материалам относится полиметилметакрилат (ПММА), политетрафторэтилен (ПТФЭ) и полиэтилен высокой плотности (ПЭВП). Дилатансия для таких материалов является функцией времени, развиваясь в процессе ползучести в зависимости от вида напряженного состояния. Влияние гидростатического давления на деформацию сдвига не может быть учтено классическими теориями ползучести.

В представленном докладе рассматривается задача поперечного изгиба тонкой сферической оболочки, базирующаяся на потенциале ползучести для изотропных дилатирующих разносопротивляющихся материалов. Гипотезы Тимошенко считаются справедливыми. Для описания процесса ползучести указанных материалов при отсутствии упрочнения использовался потенциал скорости деформаций в виде:

$$W = (A + B\xi + C\eta)\tau^n, \quad (1)$$

где  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $n$  – константы материала, определяемые в результате обработки экспериментальных данных по исследованию ползучести при одноосном растяжении, сжатии и простом сдвиге;  $\xi = \sigma/S_0$ ,  $\eta = \tau/S_0$  – нормированные нормальные и касательные напряжения на девиаторной плоскости;  $S_0 = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2}$  – норма пространства.

В результате использования методики ассоциированного закона течения на основе потенциала (1) устанавливаются зависимости между скоростями деформаций и напряжениями:

$$\dot{\epsilon}_{ij} = \frac{\partial W}{\partial \sigma_{ij}} = \frac{\partial W}{\partial \sigma} \cdot \frac{\partial \sigma}{\partial \sigma_{ij}} + \frac{\partial W}{\partial \tau} \cdot \frac{\partial \tau}{\partial \sigma_{ij}}, \quad (2)$$

которые положены в основу исследования ползучести сферической оболочки при поперечном изгибе. Здесь  $\dot{\epsilon}_{ij}$  – компоненты тензора скоростей деформаций.

Рассмотрен изгиб жестко заземленных по контуру оболочек при малых прогибах, и в результате решения конкретных задач обнаружен ряд количественных эффектов, связанных с разноползучестью материала оболочки.

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

Трещёв 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 микроразрушений. Материал при этом моделируется сплошной средой с соответствующими эффективными деформационными характеристиками.

В представленном докладе исследуются трещины продольного сдвига в нелинейно ортотропных материалах, для которых не выполняются соотношения классической теории, обычно принимаемые в линейной механике разрушения. Рассматривается случай плоского напряженного состояния. Для конкретного вида функций, входящих в определяющие соотношения, находят асимптотические распределения

напряжений, деформаций и перемещений в окрестности вершины трещины. Исследуются условия начала роста трещины.

В качестве определяющих соотношений для ортотропного разносопротивляющегося материала приняты нелинейные зависимости, предложенные в работах А.А. Трещёва 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.

### **ПЛОСКОЕ НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ДЛЯ ПЛАСТИНКИ С ДВУМЯ ЭЛЛИПТИЧЕСКИМИ ОТВЕРСТИЯМИ, ОРИЕНТИРОВАННЫМИ ПОД УГЛОМ $45^\circ$ , ВЫПОЛНЕННОЙ ИЗ ОРТОТРОПНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Трещёв А.А., Ромашина А.В.  
*ТулГУ, г. Тула, Россия*

Известно, что одним из практически важных классов задач механики деформируемого твердого тела являются задачи о концентрации напряжений вокруг эллиптических отверстий в пластине с учетом их взаимного влияния в зависимости от их взаимной ориентации. Указанная задача часто служит объектом апробации различных вариантов новых определяющих соотношений.

В представленном докладе рассмотрены задачи деформирования однородных пластинок с двумя ориентированными под углом  $45^\circ$  эллиптическими отверстиями. Пластины выполнены из ортотропных композитов 16К9-27/АТJ-S, AR и PR и при решении задач рассматриваются с учетом разносопротивляемости материала. Для этой цели принята конечно-элементная модель пластинок с двумя степенями свободы в узле. Основу этой модели составляют треугольные симплексные конечные элементы. Общая формулировка МКЭ принята на основе вариационного принципа Лагранжа.

При решении задачи принимались технические гипотезы: а) поверхность пластинок покрывалась сетью плоских треугольных конечных

элементов; б) нагружение считалось простым при активной деформации, поэтому для описания свойств основного материала принимался нелинейные уравнения состояния, представленные через параметры нормированного пространства [1].

Решение системы алгебраических уравнений рассматриваемых задач с учетом соответствующих граничных условий производилось методом Гаусса. Исходная нелинейная задача решалась итерационным методом переменных параметров упругости.

Результаты расчёта анализировались на примере деформирования прямоугольных пластин с двумя ориентированными под углом  $45^\circ$  эллиптическими отверстиями с учетом варьирования расстояния между ними и их размерами, нагруженных по краям равномерно распределенными растягивающими или сжимающими нагрузками. При этом ориентация отверстий по отношению к контуру пластин менялась дискретно поворотом на определенный угол ( $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ).

В результате расчёта прямоугольных пластин с отверстиями, выполненных из ортотропных композитов, установлено, что неучет свойств их разно-сопротивляемости может привести к погрешности в определении основных нормальных напряжений в наиболее напряженных сжатых волокнах до 22...78%, а в растянутых – 29...78%. Погрешность классической теории при определении касательных напряжений находится в пределах 19...42%.

#### Библиографический список

1. Трещёв, А.А. Теория деформирования и прочности материалов с изначальной или наведенной чувствительностью к виду напряжённого состояния. Определяющие соотношения: монография / А.А. Трещёв. – М., Тула: РААСН, Изд-во ТулГУ, – 2016. – 328 с.

### **АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА НДС ПЛИТ С УЧЕТОМ ДЕГРАДАЦИИ ЗАЩИТНОГО ПОЛИМЕРБЕТОННОГО СЛОЯ ПОД ДИФфуЗИОННЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ ИОНОВ ХЛОРА**

Трещёв А.А., Башкатов А.В., Теличко В.Г.  
*ТулГУ, г. Тула, Россия*

Агрессивные эксплуатационные среды являются одним из основных негативных факторов, влияющих на работоспособность инженерных сооружений из железобетона. Наиболее распространенной, является

хлоридсодержащая среда, основными источниками которой являются: хлоридсодержащие средства-антиобледенители; морская вода и солевой туман, которые контактируют с поверхностью армированных конструкций, технологические хлоридсодержащие среды.

Авторами данной работы проведен расчетный анализ напряженно-деформированного состояния плит из экспериментов, данные о которых приведены в работах Г. Баха и О. Графа, В. Гелера и Х. Амоса. Для анализа выбраны плиты под №№ 711, 825, 844, 863. Исходные данные и условия эксперимента описаны в работе [1]. Для защиты от воздействия агрессивной среды использован слой из эпоксидного полимербетона на основе смолы ЭД-5.

Для численного анализа применена ранее предложенная конечно-элементная модель [2]. Указанная модель имеет ряд преимуществ перед существующими, например, реализован учет разнотвердости основного материала, а также учет «размазанного» армирования и изменения механических характеристик материала под влиянием НДС.

Расчеты плит под №№ 711, 825, 844, 863 в широком диапазоне изменения воздействия механических нагрузок и интенсивности влияния диффузии ионов хлора на защитный слой, зафиксировали необходимость учета как можно более широкого спектра особенностей и механических свойств бетонов для получения достоверных результатов.

Учет влияния воздействия агрессивной среды привел существенным изменениям в вычисленных характеристиках напряженного-деформированного состояния для плит под №№ 711, 825, 844, 863. В частности, изменения величин прогибов составили до 20 процентов, горизонтальных перемещений до 16 процентов, напряжений и деформаций до 50-70% для слоев материала подверженных влиянию хлоридсодержащей среды.

#### Библиографический список

1. Карпенко, Н.И. Теория деформирования железобетона с трещинами / Н.И. Карпенко. – М.: Стройиздат, 1976. – 208с.
2. Трещёв, А.А., Теличко В.Г., Башкатов А.В. Построение математической модели деформирования комплексной железобетонной плиты с полимербетонным слоем под действием агрессивной / А.А. Трещёв, В.Г. Теличко, А.В. Башкатов // Периодическое научное издание Вестник МГСУ. Научно-технический журнал. – М.: Издательство МИСИ-МГСУ, 2014. – № 3. – С. 126-132.

## РАЗРЕШАЮЩИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ ДЛЯ ОРТОТРОПНЫХ ПЛАСТИН СРЕДНЕЙ ТОЛЩИНЫ ИЗ НЕЛИНЕЙНЫХ РАЗНОСОПРОТИВЛЯЮЩИХСЯ МАТЕРИАЛОВ ПРИ МАЛЫХ ПРОГИБАХ

Трещёв А.А., Державина, А.А.

*ТулГУ, г. Тула, Россия*

Получаем систему разрешающих уравнений для прямоугольных ортотропных пластин, используя, определяющие соотношения [1] и гипотезы Тимошенко[2]: 1) перемещение  $w$  нормальное к срединной плоскости не зависит от координаты  $x_3$ ; 2) после деформации нормаль к срединной плоскости поворачивается на угол  $\psi_1$  и  $\psi_2$  относительно осей  $x_1$  и  $x_2$  соответственно; 3) пренебрегаем влиянием нормальных напряжений  $\sigma_3$ .

$$\begin{aligned} & B_{11} \cdot u_{1,1} - B_{12} \cdot u_{2,2} - K_{11} \cdot \psi_{2,1} + K_{12} \cdot \psi_{1,2} + \\ & + L_{12} \cdot [u_{1,2} + u_{2,1} - x_3 \cdot (\psi_{1,1} + \psi_{2,2})] = 0; \\ & -B_{21} \cdot u_{1,1} - B_{22} \cdot u_{2,2} + K_{21} \cdot \psi_{2,1} + K_{22} \cdot \psi_{1,2} + \\ & + L_{12} \cdot [u_{1,2} + u_{2,1} - x_3 \cdot (\psi_{1,1} + \psi_{2,2})] = 0; \\ & L_{31} \cdot (\psi_1 + w_{,2}) + L_{23} \cdot (\psi_2 + w_{,1}) = -q; \\ & F_{11} \cdot u_{1,1} - G_{11} \cdot \psi_{2,1} - F_{12} \cdot u_{2,2} + G_{12} \cdot \psi_{1,2} + P_{12} \cdot (u_{1,2} + u_{2,1}) - \\ & - P_{22} \cdot (\psi_{1,1} + \psi_{2,2}) - Q_i = 0; \\ & -F_{21} \cdot u_{1,1} + G_{21} \cdot \psi_{2,1} - F_{22} \cdot u_{2,2} + G_{22} \cdot \psi_{1,2} + P_{12} \cdot (u_{1,2} + u_{2,1}) - \\ & - P_{22} \cdot (\psi_{1,1} + \psi_{2,2}) - Q_i = 0, \end{aligned}$$

где  $u_{1,1}, u_{2,2}, u_{1,2}, u_{2,1}$  – перемещения в срединной поверхности;

$\psi_{1,1}, \psi_{2,2}, \psi_{1,2}, \psi_{2,1}$  – производные углов поворота;

$w_{,1}, w_{,2}$  – прогибы;

$B_{11}, B_{12}, B_{21}, B_{22}, K_{11}, K_{12}, K_{21}, K_{22}, K_{11}, L_{12}, L_{31}, L_{23}, F_{11}, F_{12}, F_{21}, F_{22},$

$G_{11}, G_{12}, G_{21}, G_{22}, P_{12}, P_{22}$  – интегралы от функций по толщине.

### Библиографический список

1. Трещёв, А.А. Определяющие соотношения для ортотропных нелинейно-упругих разнородных материалов / А.А. Трещёв,

Д.А. Ромашин // Эффективные строительные конструкции: теория и практика: Сборник статей X Международной научно-технической конференции. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2010. – С. 271-272.

2. Трещёв, А.А. Анизотропные пластины и оболочки из разносопротивляющихся материалов: монография / А.А. Трещёв. – М., Тула: РААСН, ТулГУ, 2007. – 160 с.

## НДС ПЛАСТИНЫ С ЭЛЛИПТИЧЕСКИМ ОТВЕРСТИЕМ ИЗ ОРТОТРОПНОГО РАЗНОСОПРОТИВЛЯЮЩЕГОСЯ МАТЕРИАЛА

Трещёв А.А., Ромашина А.В.

*ТулГУ, г. Тула, Россия*

В качестве объекта исследования выбрана квадратная пластина размером  $200 \times 200$  мм, толщиной  $h = 20$  мм с эллиптическим отверстием с полуосями  $r_1 = 10$  мм и  $r_2 = 30$  мм, нагруженная в направлении оси  $X_1$  равномерно распределенной растягивающей нагрузкой интенсивностью  $P$  и выполненная из полимера ПЗ6-50[1].

Для того, чтобы оценить влияние усложненных механических свойств материала ПЗ6-50 на разных уровнях их проявления были приняты три характерных уровня нагрузки:  $P_1 = 5$  МПа,  $P_2 = 7,5$  МПа,  $P_3 = 10$  МПа.

На начальных этапах нагружения интенсивностью  $P_1$  при деформировании слабо проявляются свойства разносопротивляемости полимера ПЗ6-50. При этом уровне нагрузки напряжения  $\sigma_{11}$  и  $\sigma_{22}$  не сильно отличаются от данных классической теории для ортотропных материалов. Максимальная разница при уровне нагрузки  $P_1$  в значениях напряжений  $\sigma_{11}$  по элементам 716-1396 не превышает 19,1%, при  $P_2$  – 28,9%, при  $P_3$  – 38,4%. На элементах 714-674 разница в напряжениях при нагружении силой  $P_1$  более заметна при приближении к элементу, находящемуся у отверстия. Максимальная разница напряжений при уровне нагрузки  $P_3$  составляет 14,3%. По мере увеличения действующей нагрузки влияние разносопротивляемости полимера на распределение напряжений становится более существенным.

Около отверстия отличие напряжений  $\sigma_{11}$  при растяжении от данных классической теории достигает 8,7-8,9% при значении нагрузки  $P_2$ , а при нагрузке  $P_3$  – 13,8-38,4%. Разница напряжений в аналогичной зоне может достигать 43,4%, но их величины ниже  $\sigma_{11}$  в 1,9-3,3 раза.

Результаты решения задачи типа Кирша без учета разнородности материала, и решение, полученное в ANSYS 16.0, неплохо согласуются между собой. Разница для  $\sigma_{11}$  в зоне концентрации не превышает 5,6% .

Из полученных результатов можно сделать вывод, что учет явления разнородности материала приводит к значительным погрешностям при вычислении основных характеристик напряженно-деформированного состояния перфорированных элементов конструкций и деталей машин, подвергающихся одноосному растяжению.

#### Библиографический список

1.Трещёв, А.А. Теория деформирования и прочности материалов, чувствительных к виду напряженного состояния. Определяющие соотношения: монография / А.А. Трещёв. – М., Тула: РААСН, ТулГУ, 2008. – 264 с.

### **ПОДХОД К РЕШЕНИЮ НЕСВЯЗАННОЙ ТЕРМОУПРУГОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ ПОЛОГОЙ СФЕРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ ИЗ АНИЗОТРОПНЫХ РАЗНОСОПРОТИВЛЯЮЩИХСЯ МАТЕРИАЛОВ**

Трещёв А.А., Спасская М.В.  
*ТулГУ, г. Тула, Россия*

Рассматриваем пологую сферическую оболочку, выполненную из анизотропного разнородного материала. На оболочку действует разность температур: температура внутренней  $T_1$  и наружной  $T_2$  поверхности, а также равномерно распределенная нагрузка  $q$ . Оболочка по периметру имеет жесткую заделку, поэтому принимаем на контуре радиальные перемещения и прогибы равными нулю, а в центре оболочки поворот нормали к срединной поверхности и радиальные перемещения равными нулю.

При решении задачи о пологой оболочке пренебрегаем разницей между длиной дуги срединной поверхности и ее проекцией на плоскость, также делаем допущение о постоянстве главных радиусов кривизны срединной поверхности оболочки в пределах ее плана. Рассматриваем тонкую оболочку, при этом будем использовать технические гипотезы Кирхгофа-Лява.

В качестве физических зависимостей используем соотношения, предложенные в работе А.А. Трещёва [1]. Для конкретизации структурной анизотропии материала оболочки принимаем ортотропное тело.

Для вывода системы разрешающих дифференциальных уравнений подставим в уравнения равновесия соотношения для усилий и моментов с учетом правил интегрирования напряжений, также учитываются соотношения связей напряжений и деформаций, деформаций и перемещений.

Рассматриваем несвязанную задачу термоупругости, поэтому она распадается на две независимые задачи: механики сплошной среды и термодинамики. Процесс теплопередачи описывается классическим уравнением теплопроводности. Так как рассматриваем тонкую оболочку и коэффициент температуропроводности анализируемых материалов относительно велик, то установление линейного распределения температуры по толщине оболочки наступает достаточно быстро. Поэтому рассматриваем момент времени, когда распределение температуры установилось.

Так как задача является нелинейной как физически, так и геометрически, проводим линеаризацию двухшаговым методом последовательных нагружений В.В. Петрова [2]. Полученные линеаризованные разрешающие дифференциальные уравнения достаточно сложны, поэтому для их решения используем метод конечных разностей. Таким образом, выводим систему линейных алгебраических уравнений, решение которой дает представление о напряженно-деформированном состоянии анализируемой оболочки.

#### Библиографический список

1. Трещёв, А.А. Теория деформирования и прочности материалов с изначальной или наведенной чувствительностью к виду напряжённого состояния. Определяющие соотношения: монография / А.А. Трещёв. – М., Тула: РААСН, Изд-во ТулГУ, – 2016. – 328 с.
2. Петров, В.В., Кривошеин И.В. Методы расчета конструкций из нелинейно деформируемого материала: учеб. пособие / В.В. Петров, И.В. Кривошеин. – М.: Изд-во АСВ, 2009. – 208 с.

## ГИПСОПОЛИСТИРОЛБЕТОННЫЕ СТЕНОВЫЕ КАМНИ

Трищенко И.В., Каклюгин А.В., Чижова Я.С.  
*ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, Россия*

Современным тенденциям в развитии промышленности строительных материалов отвечает производство и использование энергоэффективных низко-теплопроводных стеновых материалов.

Авторы настоящей публикации в течение ряда лет исследуют возможность и эффективность производства гипсополистиролбетонных

стеновых камней. Назначение таких камней – для возведения внутренних стен и межкомнатных перегородок, а также для использования в качестве утеплителя в слоистых строительных конструкциях.

Отличительные особенности, присущие гипсополистиролбетонным стеновым камням, обусловлены преимуществами исходных материалов для их изготовления. К ним можно отнести:

- гигиеничность, экологическую безопасность низкообжиговых гипсовых вяжущих, а вследствие этого – и материалов на их основе;
- самые низкие теплопроводность и насыпную плотность органического заполнителя из вспененных гранул полистирола.

Дополнительными преимуществами являются особенности технологий производства исходных материалов и изготовления изделий на их основе. Так, производство низкообжиговых гипсовых вяжущих и получение полистирола, вспененного гранулированного в сравнении соответственно с производством цемента и пористых заполнителей на основе минерального сырья менее энергоемко. Кроме того, для твердения камней, отформованных из гипсополистиролбетонной смеси, не требуется тепловая обработка. Отмеченное свидетельствует об экологической безопасности производства таких камней.

Экспериментальными исследованиями установлена техническая возможность получения гипсополистиролбетона с требуемыми показателями назначения: марок по средней плотности D300-D450 и пределом прочности на сжатие до 1,1 МПа.

Технико-экономическими расчетами доказана эффективность инвестиций в организацию производства гипсополистиролбетонных стеновых камней.

Анализ и обобщение результатов, проведенных экспериментальных и теоретических исследований, позволили сделать заключение о технической, экономической эффективности и экологической конкурентоспособности производства гипсополистиролбетонных стеновых камней.

На основе полученных положительных результатов сформулированы задачи дальнейших исследований. Важнейшей из них следует считать поиск способов повышения водостойкости гипсополистиролбетона, что позволит расширить область применения изделий на его основе.

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ВОДОПРОПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В АРКТИЧЕСКИХ ЗОНАХ**

Трофимов В.И., Акушко А.С., Михайлов А.И.

*ТвГТУ, г. Тверь, Россия*

Эффективное освоение уникальных и стратегически важных для страны нефтегазовых месторождений, расположенных в Арктических зонах, а также надежная их защита требуют скорейшего формирования развитой транспортной сети. В свою очередь создание эффективной и надежной транспортной сети невозможно без строительства водопропускных сооружений (ВПС).

Поскольку освоение новых северных территорий идет полным ходом и сопряжено с огромными финансовыми и материальными затратами, то необходимо разрабатывать новые технологии, снижающие эти затраты. Для ускоренного строительства дорог, мостов и водопропускных сооружений оптимальным решением на сегодняшний день признано использование разборных конструкций, собираемых на месте строительства. При этом вторым важным моментом повышения эффективности строительства в Арктических зонах является улучшение эксплуатационных свойств водопропускных сооружений, в частности, повышение водонепроницаемости и морозостойкости бетона.

В настоящее время применяется в основном два способа возведения ВПС – путем укладки готовых стальных или железобетонных труб с отверстиями круглого, прямоугольного или овального сечения на подготовленное основание. Основными недостатками таких способов строительства является использование труб с ограниченным размером их поперечного сечения, а также необходимость учета сложных условий транспортировки и монтажа. При этом с экономической точки зрения стальные трубы значительно дороже железобетонных труб.

В последнее время широко внедряется технология быстровозводимых ВПС, которая базируется на сборно-разборной конструкции стальных гофрированных труб. На место строительства доставляются отдельные сегменты трубы, которые затем скрепляются болтами, проверяются и в виде готовой трубы краном устанавливаются на подготовленное основание дороги. Такой способ строительства ВПС ускоряет и облегчает весь технологический процесс, однако отличается большой

стоимостью, при этом необходимо тщательно контролировать контактные швы между сегментами, что снижает, в целом, эффективность данного технического решения.

Выполненный анализ современного уровня дорожного строительства в Арктических зонах, показал, что применяемые конструкции ВПС и технологии их возведения требуют своего дальнейшего совершенствования с учетом повышенных к ним требований.

Предлагается новая конструкция и технология безопалубочного формирования быстровозводимых водопропускных сооружений, с учетом дисперсного армирования бетонной матрицы трубы новой полимерной многоанкерной фиброй.

В основе предлагаемого метода лежит идея изготовления непосредственно на месте строительства дороги без использования стальной арматуры на основе спирального полимерного каркаса многоканальной монолитной трубы с элементами дисперсного армирования новой фиброй повышенного сцепления с бетонной матрицей. Такой метод позволяет значительно сократить сроки и стоимость строительства, упростить саму технологию возведения ВПС в отличие от существующих технических решений. При этом эффективность предложенного технического решения повышается также за счет улучшения физико-механических свойств бетона путем использования особым образом новой полимерной многоанкерной фибры для его дисперсного армирования.

Выполненные испытания бетонных образцов, армированных полимерной жесткой многоанкерной фиброй, с учетом их водонасыщения показали, что прочность армированных водонасыщенных бетонных образцов, по сравнению с неводонасыщенными – не снизилась, что позволяет говорить о выявленном положительном эффекте, связанным с реальной работой полимерной многоанкерной фибры не только в сухих бетонах, но и в обводненных.

В заключение можно сказать, что на основе выполненного анализа существующих методов строительства быстровозводимых водопропускных сооружений в сложных природно-климатических условиях Арктических зон и выявленных при этом недостатков предлагается новая технология их безопалубочного формирования в виде спиральных многоканальных труб с использованием нового дисперсноармирующего компонента бетона – полимерной многоанкерной фибры.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛИМЕРНОЙ ФИБРЫ С ПОВЫШЕННОЙ АНКЕРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТЬЮ ДЛЯ ДОРОЖНОГО И АЭРОДРОМНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В АРКТИЧЕСКИХ ЗОНАХ**

Трофимов В.И., Михайлов А.И., Акушко А.С.  
*ТвГТУ, г. Тверь, Россия*

Современное строительство дорог и аэродромов, а также возведение уникальных мостов, особенно работающих в сложных природно-климатических условиях Арктических зон, требуют применения бетонов с улучшенными эксплуатационными свойствами, в частности, повышенной прочности.

Однако известно, что значительное увеличение прочности бетона повышает его чувствительность к трещинообразованию. В этом случае дисперсное армирование дорожного бетона новой фиброй – полимерной многоанкерной фиброй (патент №2582254) можно рассматривать, как эффективное средство улучшения его прочностных и деформационных свойств, с целью снижения количества формируемых трещин на всех уровнях его структуры.

Были проведены комплексные испытания и разработаны составы, с целью оценки возможности применения полимерной многоанкерной фибры, полученной из отходов производства москитных сеток, для дисперсного армирования дорожного бетона.

Для моделирования работы армированного дорожного бетона использовался модельный состав из цементно-песчаного раствора, из которого изготавливались стандартные балочки (40×40×160 мм) и кубики (100×100×100 мм), армированные полимерной многоанкерной фиброй.

В качестве вяжущего был применен цемент ПЦ500Д0, а в качестве заполнителя использовался мелкий песок с модулем крупности  $M_{кр} = 2,5$ . Также в составы смесей вводилась полимерная многоанкерная фибра длиной: 0, 5, 10, 15, 20 мм и шириной 3 мм с процентным соотношением 5%. Время твердения бетонных образцов задавалось 28 суток.

Выполненные комплексные испытания модельного дисперсноармированного бетона, показали, что наибольший эффект упрочнения бетонной матрицы дает состав бетона с включением полимерной многоанкерной фибры длиной 15 мм. В этом случае прочность бетона при изгибе возрастает на 15% по сравнению с линейным армированием и на 13% при сжатии по сравнению с базовым – неармированным бетоном.

В заключение можно отметить, что выявлена оптимальная длина полимерной многоанкерной фибры– 10-15 мм для получения дорожного бетона с улучшенными прочностными и деформационными свойствами.

Результаты выполненных испытаний показали, что бетон, армированный полимерной многоанкерной фиброй, отличается повышенной трещиностойкостью, позволяющий его рекомендовать к использованию для строительства дорог и аэродромов в суровых природно-климатических условиях Арктических зон.

## **ANALYSIS OF PROCESSES WITH AXISYMMETRIC PLASTIC FLOW OF METALS**

Tutyshkin N.D.

*Tula State University, Tula, Russia*

Müller W.H., Wille R.

*Berlin University of Technology, Berlin, Germany*

Products of complex axisymmetric shape and high operational properties are widely used in Metal Forming (MF) technologies. Methods of applied plasticity theory are used for developing the manufacturing processes. These methods allow to calculate stress and strain fields and the related technological parameters for preset conditions as well as to predict structural and mechanical properties of the finished product material. A reliable determination of the Stress-Strain State (SSS) in MF processes becomes especially important when studying a volume distribution of strains, mechanical properties, as well as damage induced by micro-defects in order to predict the limit state of the workpiece material. For example, the limit state in the intense strain zones essentially depends on the history of deformation, stress triaxiality, and the local heat generation related to the dissipated energy of plastic

deformation. All of this indicates that a problem of reliable determination of the SSS is still an ongoing topic for MF techniques.

State-of-the-art Finite Element (FE) codes successfully solve technological problems of MF. They create huge and constantly increasing opportunities of numerical modeling of deformation. However, if a more in-depth understanding of MF operations is required methods closely related to the physical behavior of plastic deformation are advantageous. Such a technique is the slip line method which is used for studying processes with plane plastic flow [1]. Application of this method to the analysis of processes with axisymmetric deformation is reasonable from a scientifically-cognitive point of view, for example, for an investigation of strain induced damage. It is experimentally established that large defects (voids) generate microscopic slip bands [2]. Therefore, a determination of slip line (band) fields is necessary for the prediction of damage and of the limit state of the material before its macro-destruction. Actually, the approach developed by the authors can be considered as the slip line method modernized for the analysis of the SSS and related structural and mechanical parameters in processes with axisymmetric flow.

It is known that the system of the fundamental equations describing axisymmetric plastic deformation is locally statically indetermined as only three equations for the stresses are available but four nonzero components of the stress tensor exist, namely two differential equilibrium equations and the plasticity condition [3]. As a result there is a problem of determination the interconnected stress and velocity fields for preset forming conditions. The method for solving this problem suggested here is based on yield zone mapping in a special representation stress space related to A.A. Iljushin's stress deviator concept [4]. This space allows us to find an initial approximate solution in stresses and velocities using a "flexible" additional condition for the normalized deviator. The subsequent exact solution of the arising boundary problems is found by the method of hyperbolic approximations.

The correct information on stress and velocity fields for different stages of the studied forming process is then used for calculating technological parameters and for solving the kinetic equations for the structural and mechanical parameters of the processed material. Our approach is especially important for modeling processes with large deformation, *e.g.*, forging, which is widely used in metal forming, as well as for a reliable prediction of the structural damage of deformed materials. The compressive regime of the stress state during forging promotes high ductility of the processed materials

and, accordingly, a greater operational deformation. Therefore, forging provides high strength properties of products due to strain hardening. However, the factor that limits admissible deformation is clearly a very high pressure on the working tool. The components manufactured by cold forging are widely used in aerospace, motor car, and power engineering industry.

Because of the outlined difficulties many complicated problems in research and development of MF techniques can only insufficiently be investigated for products with irregular shape. In particular, for forging, where the processed material is under complex loading with strong variations of the stress state, it is very difficult to analyze and optimize the full process. In this context, forging requires thorough research and modeling. Here we present a new solution method for the analysis of typical axisymmetric MF processes. The underlying equations and their solution will be described in the next two sections. It should be emphasized that we construct the fundamental solution in stresses and velocities concurrently and an iterative scheme yields an almost exact solution. For solvability it is temporarily necessary to modify the basic equations so that they become a determinate system, separately in stresses and in velocities. Such an additional condition is formulated in Section 3 by means of the maximum shear stress trajectories in characteristic cross-sections of the plastic zone. We conclude with the analysis of forging of a case-shaped part.

Axisymmetric plastic flow of materials in MF processes can conveniently be described in a cylindrical coordinate system where  $r$ ,  $z$ ,  $\theta$  denote the radial, the axial, and the circumferential direction, respectively. The deformed material is considered as a rigidly-plastic solid because plastic strains amount to 70-90% at MF being  $\approx 10^2$  larger than elastic strains in metal forming processes (*e.g.*, drawing, die forging, extrusion). The calculation of the stress-strain state and related parameters of forming processes by using the model of rigid-plastic solid leads to quite satisfactory results corresponding to experimental data. The evolution of strain damage results in plastic dilatation. According to test data plastic dilatation of engineering materials does not exceed 2-5% even at large processing deformations. This fact enables one to make an assumption concerning the incompressibility of the material when determining the fields of plastic flow velocities. The basic equations of plasticity are given by the differential equations of equilibrium:

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} = 0, \quad \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial r} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\tau_{rz}}{r} = 0, \quad (1)$$

the von Mises yield surface:

$$(\sigma_r - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_\theta)^2 + (\sigma_\theta - \sigma_r)^2 + 6\tau_{rz}^2 = 6\tau_y^2, \quad (2)$$

the condition of coaxiality of the strain rate deviator,  $\dot{e}_{ij}$ , and the stress deviator,  $s_{ij}$ :

$$\frac{\partial v_r / \partial z + \partial v_z / \partial r}{2\tau_{rz}} = \frac{\partial v_r / \partial r - \partial v_z / \partial z}{\sigma_r - \sigma_z}, \quad (3)$$

the condition of similarity of the deviators  $\dot{e}_{ij}$  and  $s_{ij}$  (4), *i.e.*, of coincidence of their Lode angles,  $\phi_e$  and  $\phi_\sigma$  ( $I_2$  and  $I_3$  being the second and third invariant of the corresponding symmetric tensors):

$$\sqrt{\frac{I_2(\dot{e}_{ij})}{I_2(s_{ij})}} = \sqrt[3]{\frac{I_3(\dot{e}_{ij})}{I_3(s_{ij})}}, \quad (4)$$

the incompressibility condition:

$$\frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{\partial v_z}{\partial z} + \frac{v_r}{r} = 0, \quad (5)$$

and kinetic equations for parameters related to the meso-structure,  $\mu_k$ :

$$\frac{d\mu_k}{dt} = \dot{\mu}_k(\sigma_{ij}, T, \chi_s, \mu_k), \quad (6)$$

where  $\sigma_r$ ,  $\sigma_z$ ,  $\sigma_\theta$ ,  $\tau_{rz}$  are nonzero components of the stress tensor  $\sigma_{ij}$ ,  $\tau_y$  is the yield stress for shear,  $v_r$  and  $v_z$  are the components of the vector of plastic flow velocity,  $I_2(\dot{e}_{ij}) = \dot{e}^2$ ,  $I_3(\dot{e}_{ij})$ ,  $I_2(s_{ij}) = s^2$ ,  $I_3(s_{ij})$  are the second and the third invariant of deviatoric strain rates  $\dot{e}_{ij}$  and deviatoric stresses  $s_{ij}$ , respectively,  $\dot{e}$ ,  $s$  denote the equivalent deviatoric strain rate and stress,  $\mu_k$  are parameters of the meso-structure,  $e_{ij}$  are deviatoric strains,  $T$  is the thermodynamic temperature,  $\chi_s$  are parameters connected with deviatoric strains  $e_{ij}$ , and  $t$  denotes time.

As physico-structural parameters  $\mu_k$  we will specifically choose a micro-defect damage parameter  $\omega$ , the grain size  $D$  of the polycrystal, and the energy characteristic  $u^{(\mu)}$  of irreversible changes of the crystal lattice (*viz.*, a density of the internal energy of hardening,  $u_h$ ). For the parameters  $\chi_s$ , which are associated with the deformation, the intensity of shear strain rate,  $\dot{A}$ , and the cumulative shear strain,  $A$ , or Odquist parameter, are used:

$$\dot{A} = \sqrt{2\dot{e}_j^i \dot{e}_i^j}, \quad A = \int_{s(t)} \sqrt{2\dot{e}_j^i \dot{e}_i^j} dt, \quad (7)$$

where  $\dot{e}_j^i$  denote the mixed components of the strain rate deviator. The parameters  $\dot{A}$  and  $A$  are connected by the non-holonomic equation  $dA/dt = \dot{A}$ . For each strain path,  $s(t)$ , the parameter  $A$  can be determined by integration according to Eqn. (7) provided that strain rates  $\dot{e}_j^i$  are known.

The axisymmetric SSS has the following features. For the stress components we have  $\tau_{z\theta} = \tau_{\theta r} = 0$ ,  $\nu_\theta = 0$ . The hoop stress  $\sigma_\theta$  is a principal stress. Two special classes of plane problems follow from Eqns. (1)-(6): If the axial deformation vanishes in  $z$ -axis direction (*i.e.*,  $e_z = 0$ ) Eqns. (1)-(6) describe a state of plain strain with circular boundaries. If the hoop strain vanishes,  $e_\theta \rightarrow 0$ , then, according to the flow rule, it follows for the hoop stress that  $\sigma_\theta \rightarrow \langle \sigma \rangle = (\sigma_r + \sigma_z + \sigma_\theta)/3$ , and Eqns. (1)-(6) describe plane flow in meridian cross-sections (with the normal  $n_\theta$ ) of the blank. The second special case can be applied to the analysis of deep-drawing of thin-walled axisymmetric shells. As is shown by Hill [1], if the ratio between thickness,  $s$ , and diameter,  $d$ , of the shell is  $s/d \leq 0.05$  then its deformation during deep-drawing is plane since the hoop stress  $\sigma_\theta$  is infinitely small. In order to represent the axisymmetric SSS completely it will be sufficient to determine a field of stresses and flow velocities in one of the meridian cross-sections of the deformed solid.

For the analysis of axisymmetric MF processes with rapidly changing SSS we propose a method based on a concurrent construction of the initial approximate solution in stresses and velocities which is followed by an iterative process resulting in the exact solution. For solvability it is reasonable to temporarily modify Eqns. (1)-(6) so that they are written separately in stresses and in velocities, *e.g.*, by using additional conditions in terms of stresses. It allows us to transform the basic equations to a set of equations of the hyperbolic type with two sets of characteristics in a meridian cross-section of the deformed solid and to use some physical properties of slip lines. A similar approach was applied in the solution of axisymmetric problems by fixation of the Lode angle  $\phi_\sigma$ . However, the use of a "rigid" additional condition by fixing the Lode angle  $\phi_\sigma$  for the initial approximate solution may contradict the condition (4). Therefore, the use of a "flexible" additional condition is to be preferred. It does not limit the phase of stresses and strain

rates in the fundamental solution, *i.e.*, the Lode angle  $\phi_\sigma$ , and it is more effective. Moreover, from the theoretical point of view an additional condition should be universal and invariant for the hydrostatic stress  $\langle \sigma \rangle$ , and it should allow us to recover known solutions as well as experimental results of processing problems. Such an additional condition can be formulated by means of differential geometry and will be described in detail in the following section.

The required additional condition can be formulated for the parameters that determine the differential geometry of slip lines in the meridian cross-sections of the plastic zone. Two mutually orthogonal directions,  $\alpha$  and  $\beta$ , exist in each point of the meridian cross-section. Along these directions the tangential stresses  $\tau_{\beta\alpha}$  and  $\tau_{\alpha\beta}$  assume extreme values and the normal stresses are equal, *i.e.*,  $\sigma_\alpha = \sigma_\beta$ . The directions  $\alpha$  and  $\beta$  form two families of mutually orthogonal lines in the meridian cross-section of plastic zone:

$$\frac{dz}{dr} = \tan\delta_\theta \text{ (at line } \alpha \text{)}, \quad \frac{dz}{dr} = -\cot\delta_\theta \text{ (at line } \beta \text{)}, \quad (8)$$

where  $\delta_\theta$  is the angle between the  $r$ -axis and the line  $\alpha$ . The angle  $\delta_\theta$  is connected with the stress components by the following relation:

$$\tan(2\delta_\theta) = -\frac{\sigma_r - \sigma_z}{2\tau_{rz}}, \quad (9)$$

which can be used in the initial approximate solution as the additional condition in terms of stresses.

It was shown by Tutyshkin *et al.* [5] that the geometry of the slip lines strongly depends on the boundary conditions, *e.g.*, on the geometry and on the conditions of the contact surface of the working tools. This allows us to determine the function  $\delta_\theta(r, z)$  in Eqns. (8) by known approximate solutions or by experimental determination of slip line trajectories. Slip line trajectories can be successfully found by experiments using the special technique for preparing a polished micro-section. An advantage of this technique is the possibility to detect slip line trajectories in any cross-section of test specimens without losing their continuity during deformation.

A comparison of the stress fields in the processes with axisymmetric and plane deformation indicates a geometric similarity of their slip line trajectories. This occurs when the boundary conditions are similar both in the meridian cross-section of the axisymmetric process and in the flow surface of the plane process (*e.g.*, when embedding conical and wedge punches, metal

flow in convergent axisymmetric and wedge dies, compression (upsetting) of a thin layer). This property of trajectories  $\alpha$ ,  $\beta$  allows us to determine angle parameter  $\delta_\theta^{(0)}$  in the initial approximate solution of problems for axisymmetric strain states by the solutions of corresponding problems for plane strain states, *i.e.*, to assume  $\delta_\theta^{(0)}$  in the initial approximate solution as a known function of meridian coordinates  $\delta_\theta(r, z)$ :

$$\delta_\theta^{(0)} = \frac{1}{2} \arctan \left( -\frac{\sigma_r - \sigma_z}{2\tau_{rz}} \right) = \delta_\theta(r, z). \quad (10)$$

The two differential equations of equilibrium (1), the yield condition (2), and the additional condition (10) form a local statically determinate system of equations for the four unknown stress components  $\sigma_r$ ,  $\sigma_z$ ,  $\sigma_\theta$ ,  $\tau_{rz}$ . Thus the solution of the equations (1), (2), and (10) gives an admissible tensor field of stresses.

#### References

1. Hill, R. The Mathematical Theory of Plasticity / R. Hill. – Oxford Univ. Press. – 1950.
2. Yokobori, T. An Interdisciplinary Approach to Fracture and Strength of Solids / T. Yokobori. – New York: Gordon & Breach, Pub. – 1968.
3. Kachanov, L.M. Fundamentals of the Theory of Plasticity / L.M. Kachanov. – Dover Publications. – 2004.
4. Iljushin, A.A. Plasticity: Fundamentals of the General Mathematical Theory / A.A. Iljushin. – Moscow. – 1963.
5. Tutyshkin, N.D. Complex Problems of the Plasticity Theory / N.D. Tutyshkin, A.E. Gvozdev, V.I. Tregubov, Y.V. Poltavets, E.M. Selyodkin, A.S. Pustovgar. – Tula: Tul'skiy Polygraphist. – 2001.

### **ОЦЕНКА СИСТЕМ ВНЕШНЕГО АРМИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ КОМПОЗИЦИОННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ**

Федоров М.В., Омелина А.А.  
СГТУ, г. Саратов, Россия

Сегодня вместе с ростом объема строительства новых современных зданий и сооружений отмечен рост и объема работ по восстановлению существующих жилых домов, общественных зданий различного назна-

чения, а также памятников градостроительства и архитектуры. Величина этого направления определяется условиями эксплуатации конструкций.

Необходимость усиления железобетонных строительных конструкций возникает в результате разных причин: проведение реконструкции, технического перевооружения объектов или возникновение физического износа конструкций. Композит применяют как армирующий материал, который обладает большой прочностью на растяжение при низком удельном весе.

Композиты в 5 раз легче стали и до 10 раз прочнее. По прогнозам их прочность достигнет 30-ти кратного запаса стали. Можно выделить 5 направлений таких систем: армирование бетона при строительстве, усиление при реконструкции несущих конструкций, ремонт мостовых конструкций, усиление сейсмостойких и прибрежных конструкций, ремонт резервуаров, градирен и труб.

При технико-экономическом сравнении таких систем экономический эффект достигает 45%. Фактическая нагрузка на конструкцию в отдельных случаях после усиления может вырасти в 3-4 раза. Основой композитной арматуры как изделия является материал из композитного волокна (базальтового, стеклянного, арамидного, углеродного) и связующего – термореактивной синтетической смолы (пластика).

Одним из способов усиления конструкций является приклеивание эпоксидной, полиэфирной или винилэфирной смолой композитного материала в виде ткани или ламината к конструкции. Возможные варианты внешних систем – устройство «бандажей»; наклейка в виде многослойной ленты на место усиления; применение конструкции усиления; наклейка ленты на горизонтальные поверхности снизу (на поверхность плит, балок); наклейка ленты на вертикальные поверхности (стен, колонн и др.).

Расчёт по предельным состояниям конструкции в целом, а также отдельных её элементов следует производить для всех стадий: изготовления, транспортирования, возведения и эксплуатации; при этом расчётные схемы должны отвечать принятым конструктивным решениям с учетом всех вариантов усиления несущих железобетонных систем внешнего дополнительного армирования композитами.

## **МОНИТОРИНГ ПРИЧИН ФИЛЬТРАЦИИ ВОДЫ ПО ПОВЕРХНОСТИ СТЕН ПОДВАЛА В КОТТЕДЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

Федоров М.В., Снарский С.В.

*СГТУ, г. Саратов, Россия*

Для исследования процессов фильтрации воды через стены подвала коттеджей являются верховодка и грунтовые воды, уровень воды может подняться выше уровня пола подвала. В этом случае пригодны различные виды горизонтальной и вертикальной гидроизоляции, а также дренаж. Для оценки процесса деформирования и нарушения гидроизоляции во времени используют шурф с внешней стороны здания.

При обследовании здания выявляют фактические многочисленные конструктивные и природные причины. Природные причины: высокий уровень грунтовых вод; сезонная влага, скапливающаяся в верхнем слое грунта; капиллярный подъем влаги. Конструктивные причины: отсутствие горизонтальной гидроизоляции под фундаментной плитой, некачественные технологические швы при бетонировании (стена-стена, стена-фундаментная плита, фундаментная плита – фундаментная плита, отсутствие защитной мембраны внешней гидроизоляции по стенам подвала, некачественно обустроенные технологические швы при устройстве вертикальной гидроизоляции (нахлест полос  $> 10$  см)), отсутствие отмостки, отсутствие дренажа.

Горизонтальный трубчатый дренаж, может прорезать водоносный горизонт полностью и прорезать его частично. По форме дренаж классифицируют на отсекающий (перехватывающий поток грунтовых вод с верхней стороны здания и с боков) или кольцевой (окаймляющий строение со всех сторон). Последний вариант более надежен. Дренаж рекомендуется выполнить из готовых гофрированных и перфорированных дренажных полотен с фильтром из геотекстиля (не глубже 2-2,5 м). Рекомендуется организовать отвод воды в водоем или коллектор. Часто выполняют отмостку с уклоном от здания, отводя воду на 1-1,2 м от стен. Рекомендуется специальная профилированная мембрана. При наличии трещин в конструкции – сшивку трещины делают и ее герметизация за счет быстротвердеющих шовных материалов типа Epaco Fast Tixo или Mastersear 590. Для максимальной эффективности рекомендуют производить гидроизоляцию рабочих швов и примыканий:

стена-пол, стена-стена, плита-плита (если производится гидроизоляция пола) составом ПЕНЕКРИТ, а для поверхности подвала стен-раствор «ПЕНЕТРОН» наносится дважды на очищенную и увлажненную поверхность стен.

## **ЗАЩИТА ОТ ЭЛЕКТРОКОРРОЗИИ ФУНДАМЕНТОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Федоров М.В., Бондаренко Е.Р.  
*СГТУ, г. Саратов, Россия*

Блуждающие токи в железобетонных конструкциях становятся опасными тогда, когда они превышают определенный предел. Величина этого предела определяется условиями эксплуатации конструкций. В зависимости от величин потенциалов, опасных при воздействии блуждающих токов, все железобетонные конструкции можно разбить на две группы. К первой группе относятся железобетонные конструкции, находящиеся в условиях воздействия сред невысокой агрессивности: конструкции цехов электролиза, фундаменты, трубопроводы, коллекторы, резервуары и условия воздействия грунтовых вод с содержанием  $S_1$ -ионов не более 0,2 г/л. Для второй группы опасными считают блуждающие токи любых величин, т. е. любое отклонение потенциала арматуры от нуля в положительную сторону: подземные железобетонные конструкции наземные конструкции цехов электролиза водных растворов, подвергающиеся увлажнению и обливанию различными технологическими растворами, агрессивными по отношению к арматуре. В этом случае арматура находится на границе устойчивости пассивного состояния или даже в зоне активного растворения, и поэтому практически всякий блуждающий ток ускоряет процесс коррозии. При оценке опасности блуждающих токов по их величине за верхний безопасный предел тока может быть принято значение плотности анодного тока. Однако потенциал арматуры для оценки наличия и опасности блуждающих токов более удобен.

На основании исследований использованы 3 критерия присутствия блуждающего тока и рекомендации. Защита должна проектироваться одновременно с проектом конструкций и выполняться при строительстве. Толщина защитного слоя бетона должен быть не менее требований норматива и не менее величин: для плоских и ребристых плит – 20; для стенок и стеновых панелей – 20; для балок, ферм, колонн – 25. для фундаментных балок и фундаментов – 30 мм. Токонесущие устройства

необходимо изолировать от строительных конструкций. Надо использовать приспособления для прерывания «струй электролитов», для отвода токов из электролитов. Делать электроизоляционные вставки на металлических трубопроводах, устраивать продольные и поперечные разрывы и железобетонных конструкциях, гидроизоляцию и электрическую изоляцию фундаментов; дренажи для отвода грунтовых вод от железобетонных фундаментов и других железобетонных подземных конструкций, а также асфальтовые отмостки внешних железобетонных стен корпусов.

### **ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ МОДЕЛИ ПЕРЕМЕННОГО НАГРУЖЕНИЯ ТОНКОЙ ПЛАСТИНКИ**

Федоров М.В., Казаков Д.И.  
*СГТУ, г. Саратов, Россия*

Исследование сходимости численного решения для задачи упруго-пластического деформирования пластинок является достаточно сложной математической задачей при переменном нагружении. О точности применяемого алгоритма обычно судят по результатам численных расчетов. Чаще всего исследуют влияние различных параметров разностной схемы (шаг сетки, шаг по времени) на получаемые результаты. В отдельных случаях, возможно, что в исходной постановке задачи эти параметры отсутствуют, тогда получаемые решения не должны от них зависеть. О сходимости алгоритма и точности получаемого результата можно судить по результатам решения тестовых задач упругопластического деформирования пластинок при переменном нагружении, которые получены другими авторами с помощью такого же или другого алгоритма. Исследовано влияние порядка точности, необходимого числа итераций и шага по времени на точность расчета гибкой прямоугольной в плане пластинки с параметрами нелинейно-упругого материала.

Как следует из сравнения графиков следующих параметров: прогиба, второй производной прогиба и функции усилий в центре пластинки, наибольшее влияние на точность получаемых результатов оказывает величина шага по времени.

Получены зоны, в которых порядок точности, необходимое число итераций практически не влияет на точность вычисления результата при неизменном шаге по времени. Графики параметров метода инте-

грирования обыкновенных дифференциальных уравнений на устойчивость результатов получены на пространственной сетке метода конечных разностей  $16 \times 16 \times 8$ .

Выполнено сравнение результатов расчета пластинки по предложенному алгоритму для трех значений нагрузки. Показаны результаты расчета такой пластинки, выполненные разными авторами, которые использовали метод переменных параметров упругости, метод упругих решений. Эти результаты для сравнения приведены безразмерно в процентах. Их сравнение показало, что отличие результатов невелико и вполне может быть объяснено различием в использованных методах. Тестирование полученных результатов для пластинки при действии импульсной нагрузки и сравнение их с результатами других авторов указывает на хорошее совпадение их по прогибам и некоторое различие в напряженно-деформированном состоянии.

### **К РАСЧЕТУ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ПЛАСТИНКИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ РАВНОМЕРНО РАСПРЕДЕЛЕННОЙ НАГРУЗКИ**

Федоров М.В., Пуд М.Г.  
*СГТУ, г. Саратов, Россия*

Для исследования процессов малоциклового упругопластического деформирования используются конечные соотношения между напряжениями и деформациями. Эти пригодны для случая циклического нагружения получены, используя принцип Мазинга, обобщенный В.В. Москвитиным. Для оценки процесса деформирования во времени использует шаговый метод интегрирования. Напряженно-деформированное состояние (НДС) пластинки рассчитывается для ряда последовательных шагов по времени, величина которых подбирается из условия устойчивости и сходимости вычислительного процесса. В данном случае условия динамического равновесия соблюдаются в отдельные моменты времени, соответствующие началу и концу шага. Нарушением условия динамического равновесия между этими моментами пренебрегаем. Жесткостные характеристики находятся в каждом из узлов конечно-разностной сетки по плану оболочки.

Значение интенсивности напряжений в  $n$ -ном цикле равно удвоенному значению интенсивности напряжений при первом нагружении,

соответствующей половине значения интенсивности деформаций на диаграмме деформирования первого нагружения. Полученные соотношения интенсивности напряжений на  $n$ -ном цикле учитывают гипотезу об упругопластической разгрузке. Приняты гипотезы Кирхгофа-Лява. Получены уравнения колебания оболочки в смешанной форме. Для решения уравнений использованы граничные и начальные условия.

Рассмотрена задача расчета пластинки на прямоугольном плане при циклическом деформировании упругопластического материала. Выполнен расчет прямоугольной пластинки под действием равномерно распределенной нагрузки. В процессе расчета исследовано распределение полей пластических деформаций по объему пластинки для параметров:  $q = 60; 70,3; E_2/E_1 = 0,57735; S = 30,35; a = 0,1; a/h = 50; e^T = 0,98 \cdot 10^{-3}$ .

Для нелинейно упругого материала и упругопластического материала выполнен «мониторинг» роста объемных полей пластических деформаций пластинки для  $q = 60; t_k = 0,6$ . Получены графики условного деления зон деформаций: упругих, упругопластических при росте деформаций и упругой «разгрузки». Видно отличие по значениям и характеру положения пластических зон по объему конструкции. При снижении уровня нагрузки при расчете по разным моделям материала различия условного деления зон деформаций уменьшаются.

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОГНОЗА ДОЛГОВЕЧНОСТИ БИТУМНЫХ КРОВЕЛЬ С УЧЕТОМ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА**

Федоров М.В., Рыбалка А.С.  
*СГТУ, г. Саратов, Россия*

Поиск оптимальных значений параметров является одной из важных задач, решаемых при создании новых технических систем, управлении производством или технологическими процессами в строительстве. Реализация задачи оптимизации, основанная на применении теории планирования эксперимента, как и любой задачи экспериментального исследования, начинается с определения объекта анализа, цели исследования, изучении сущности исследуемого процесса, анализе имеющихся ресурсов, возможности проведения экспериментов с изучаемым объектом в необходимом диапазоне изменения факторов.

Объектом анализа выступает заданный критерий эффективности исследуемой системы, рассматриваемый как функция от существенных параметров системы и внешней среды. Система может представлять собой реальный физический объект или его модель – физическую или математическую (имитационную, сложную аналитическую). Для ряда битумно-полимерных композитов построены диаграммы, позволяющие без расчетов определить долговечность для заданных основных параметров эксплуатации (напряжения и температуры).

Изучение процесса функционирования объекта выявляет факторы, оказывающие существенное влияние на функцию отклика. Изучена методика прогнозирования долговечности кровельных битумно-полимерных материалов с учетом конкретных условий эксплуатации.

Приведены значения прогнозируемой прочностной и деформационной долговечности для всех исследованных материалов. Выбор существенных переменных потенциально определяет степень достижения объективности получаемой модели: отсутствие в исходном перечне существенных параметров, также и произвольно меняющихся в ходе эксперимента, не позволяет правильно решить задачу оптимизации.

Включение «несущественных» параметров усложняет модель, вызывает значительное увеличение объема экспериментов, хотя по результатам исследования «несущественность» соответствующих параметров будет выявлена и определена достаточно точно.

Для контроля качества битумного кровельного материала в процессе его производства вводят в нормативные значения механических характеристик предельные величины разброса, рассчитанные по кривым нормального распределения с учетом срока службы.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОПАНЕЛЕЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

Хабибова Р.Р., Яшина А.С., Егорова В.Е.  
*НЧФ КазФУ, г.Набережные Челны, Россия*

На сегодняшний день на отечественном рынке материалов, предназначенных для высококачественной отделки фасадов, одно из ведущих мест занимают термопанели, обладающие: превосходными теплоизоляционными качествами, удобством крепежа; отличным дизайном.

Фасадные термопанели имеют трехслойную структуру. Первый слой – клинкерная плитка, выполняющая роль наружного слоя, она мо-

жет быть изготовлена по методу сухого прессования или методом экструзии. Второй слой обеспечивает жесткость конструкции. Он состоит из кварцевого песка, либо спрессованной деревянной щепы. Третий слой пенополиуретан. Преимущества термопанелей – это эффективная теплоизоляция; широкая цветовая гамма; облицовка под кирпич; экологическая безопасность; надежная защита от атмосферных осадков; не требуют дополнительных фундаментов; продолжительный срок службы 50-100 лет; точность и чистота монтажа. Недостатки: необходимость выравнивания поверхности стен; высокая стоимость угловых элементов, контроль качества производства материала.

Требования, предъявляемые к термопанелям: высокие эстетические свойства; морозостойчивость; стойкость к действию ультрафиолета.

Провели исследования термопанели на:

- водопоглощение при атмосферном давлении (температура воды  $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ ) по ГОСТ 7025-91. В качестве испытательного оборудования использовали весы электронные лабораторные GAS MWP-600. Анализ результатов исследований выявил, что образцы клинкерной плитки немецкого и китайского производства соответствуют стандарту DIN EN 121 и имеют водопоглощение в среднем  $\leq 3\%$ ;

- морозостойкость при объемном замораживании по ГОСТ 7025-91. В качестве испытательного оборудования использовали весы электронные лабораторные GAS MWP-600, штангенциркуль, климатическую камеру МКТ115 моделирования климатических условий фирмы. BINDER, линейку металлическую ГОСТ 427-75. Все образцы термопанелей с клинкерной плиткой немецкого и китайского производства после 50 циклов замораживания-оттаивания не имеют визуальных дефектов и изменения цвета;

С целью снижения себестоимости изготовления и выполнения указов президента по импортозамещению (Указ Президента РФ от 06.08.2014 г.) необходимо применение отечественного местного сырья при производстве термопанелей, по качеству не уступающего лучшим зарубежным аналогам.

## ПЛОСКОЕ НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТОЛСТОСТЕННОГО КОЛЬЦА ИЗ РАЗНОМОДУЛЬНОГО ИЗОТРОПНОГО МАТЕРИАЛА

Ходорович П.Ю.  
*ТулГУ, г. Тула, Россия*

В современных областях машиностроения и строительной индустрии все чаще находят свое применение материалы, чьи механические характеристики зависят от вида напряженного состояния. Подобная зависимость обнаружена не только у новых материалов, используемых в технике, каковыми являются различные композитные составы, полимеры, графиты, стеклопластики, но и у традиционных конструкционных материалов типа чугуна, бетонов и керамики. Большинство из новых материалов обладают такими свойствами как высокая химическая и коррозионная стойкость, высокие показатели жесткостных характеристик, а также простота и изготовления и низкая шероховатость поверхности. Но в настоящее время для конструкций из таких материалов не существует общепринятой теории расчета. В работах [1-5] представлены определяющие соотношения для разносопротивляющихся материалов.

Автором была решена задача об определении напряженно-деформированного состояния плоского кольца с использованием определяющих соотношений, о которых говорилось выше, а также проводилось сравнение с классическим решением (механические характеристики взяты для сжатия). Исходные данные для расчетов принимались следующие: внутренний радиус кольца  $r_i = 1$  м, внешний радиус кольца  $r_e = 1$  м, внутреннее давление  $p_i = 1000$  кН/м<sup>2</sup>, механические характеристики графита ВПП:  $E^+ = 5900$  МПа,  $E^- = 7400$  МПа,  $\nu^+ = 0,212$ ,  $\nu^- = 0,28$  [1].

Разница в результатах расчета между моделью, предложенной в [1], и классическим решением (механические характеристики взяты для сжатия) достигает 7% по напряжениям, 11% по деформациям и 12% по перемещениям. Это доказывает необходимость учета явления разносопротивляемости.

### Библиографический список

1. Трещёв, А.А. Теория деформирования и прочности материалов, чувствительных к виду напряженного состояния. Определяющие соотношения / А.А. Трещёв. – М., Тула: РААСН, ТулГУ, 2008. – 264 с.

2. Амбарцумян, С.А. Разномодульная теория упругости / С.А. Амбарцумян. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982. – 320с.

3. Шапиро, Г.С. О деформациях тел, обладающих различным сопротивлением растяжению и сжатию / Г.С. Шапиро // Инж. журн. МТТ. – 1966. – № 2. – С.123-125.

4. Матченко, Н.М., Шерешевский Л.А., Легнау Н.А. Вариант построения уравнений разномодульной теории упругости / Н.М. Матченко, Л.А. Шерешевский, Н.А. Легнау. – Тула: ТПИ, 1982. – 7 с. – Деп. в ВИНТИ 20.05.81, №2352-81.

5. Толоконников, Л.А. Механика деформируемого твердого тела: Учеб. пособие для вузов / Л.А. Толоконников. – М.: Высш. школа, 1979. – 318 с.

### **ВЛИЯНИЕ ШИРИНЫ ПОЛОК ПРОФИЛЯ НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ БАЛОК ИЗ ПРОФИЛЕЙ ЛСТК**

Цуканов А.А., Нехаев Г.А.

*ТулГУ, г. Тула, Россия*

В представленной работе определяется влияние ширины полок профиля на величину равномерно распределённой нагрузки, воспринимаемой статически определимыми шарнирно опёртыми по концам балками, пролётом 6 метров, выполненными из спаренных профилей типа ЛС300, ЛС350 и ЛС400.

Решение поставленной задачи осуществлялось в соответствии с рекомендациями, приведёнными в [1], для определения общей устойчивости изгибаемых элементов 4 класса сечения. Геометрические характеристики сечения принимались по таблице П10 [2]. Материал сечения – сталь С375, физические характеристики принимались в соответствии с [3].

В результате проделанных вычислений был построен график, приведённый в соответствии с рис. 1.

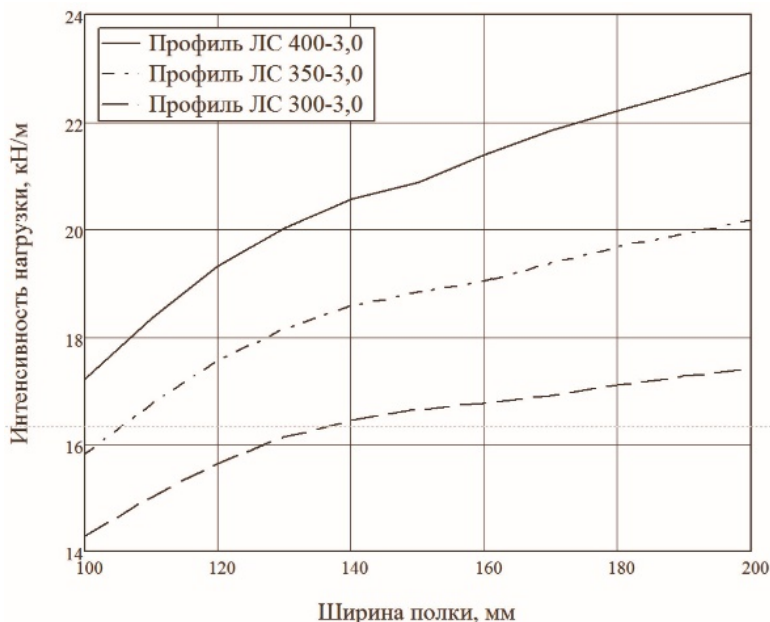


Рис. 1. График зависимости величины равномерно распределённой нагрузки от ширины полок

Анализ графиков показал, что необходимо скорректировать ширину полок всех профилей для более эффективного использования сечения.

#### Библиографический список

1. ТКП EN 1993-1-1-2009 (02250). Еврокод 3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий. – Республика Беларусь: Минстройархитектуры, 2009
2. Нехаев, Г.А. Проектирование элементов балочной клетки из горячекатаных и холодногнутых профилей: учебное пособие / Г.А. Нехаев. – Тула: ТулГУ, 2011 – 123 с.
3. СП 16.13330-2011. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81\*; введ. 20-05-2011. – М. Минрегион России: 2010. – 173 с.

## **О РАСЧЁТЕ ЗДАНИЙ ИЗ МОНОЛИТНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА ПЛОСКИМИ КОНЕЧНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ В ПРОГРАММЕ MATLAB**

Цуканов А.А., Теличко В.Г.  
*ТулГУ, г. Тула, Россия*

В представленной работе рассмотрена реализация расчёта жилого многоэтажного здания, выполненного из монолитного железобетона с учётом усложнённых свойств материала, описанных в работе [1], на языке программирования высокого уровня в среде программы MATLAB в рамках метода конечных элементов (МКЭ).

Для решения поставленной задачи приняты основные допущения:

- 1) Расчётная модель здания состоит только из горизонтальных и вертикальных несущих элементов монолитного железобетонного каркаса.
- 2) Влияние физико-механических свойств основания не учитывается – принимается, что вертикальные несущие элементы жёстко заземлены в основание.
- 3) Все узлы сопряжения элементов каркаса между собой приняты абсолютно жёсткими.
- 4) Здание подвержено только поперечным равномерно распределённым нагрузкам.
- 5) Толщина всех элементов каркаса принимается одинаковой; 6) рассматриваемые несущие элементы каркаса здания представляются тонкими пластинами.
- 7) Несущие элементы представляются слоистыми с выраженной анизотропией, по причине наличия арматуры, что заставляет учитывать деформации поперечного сдвига.
- 8) Деформирование горизонтальных и вертикальных элементов несущего каркаса происходит практически вплоть до разрушения при малых прогибах.

Для расчёта здания из монолитного железобетона использовалась конечно-элементная модель, разработанная в работе [2] в рамках теории [1]. Дополнительно при написании программы использовались технические гипотезы, приведённые в работе [3].

В ходе проделанной работы выявлено, что разработанное программное обеспечение на базе комплекса MATLAB вполне подходит для решения указанного класса задач, однако существует необходимость разработки отдельного алгоритма дискретизации элементов конструкции

на конечные элементы, что требует дополнительного тщательного контроля при решении задачи.

#### Библиографический список

1. Трещёв, А.А. Теория деформирования и прочности материалов, чувствительных к виду напряжённого состояния. Определяющие соотношения: монография / А.А. Трещёв. – М., Тула: РААСН, изд-во ТулГУ, 2008. – 264 с.
2. Теличко, В.Г. Гибридный конечный элемент для расчёта плит и оболочек с усложнёнными свойствами / В.Г. Теличко, А.А. Трещёв // Изв. вузов. Строительство. – 2003. – №5. – С. 17-23.
3. Теличко, В.Г. Расчёт напряжённо-деформированного состояния трубчатых железобетонных оболочек при чистом кручении методом конечных элементов / В.Г. Теличко, А.А. Трещёв // Железобетонные конструкции: Исследования, проектирование, методика преподавания. – М.: МГСУ, 2012. – С. 409-416.

### **АГРЕССИВНЫЕ СРЕДЫ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА СТРОИТЕЛЬНЫЕ СТАЛИ**

Черных В.К.

*СГТУ, г. Саратов, Россия*

При проектировании промышленных объектов, действие агрессивных сред нормативными документами, к сожалению, не учитываются. До сих пор до конца не исследовано коррозионное поведение широко применяемых строительных сталей, имеющих в своем составе незначительное количество легирующих добавок. Низколегированные стали, по сравнению с низкоуглеродистыми, обладают пониженной стойкостью к газам, содержащимся в атмосфере ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  и др.) При повышенной влажности воздуха (более 60-70%) их применение вообще не допускается.

Без окрашивания могут применяться стали марок 10ХНДП, 15ХСНД, 10ХСНД, 08ХГСДП (называемые также атмосферостойкими). Но их применение ограничено лишь неагрессивной, либо слабоагрессивной средой. В сильноагрессивных средах они также будут корродировать, поэтому требуется нанесение защитного слоя.

Промышленные среды по своему составу и содержанию весьма разнообразны, и даже для однотипных производств, расположенных в разных географических зонах их характеристики не бывают одинаковыми.

В жидких агрессивных средах эксплуатируются конструкции наливных сооружений (резервуары, емкости), и подземные конструкции при наличии грунтовых вод. Твердые агрессивные среды (пыль, аэрозоль) находятся в атмосфере во взвешенном состоянии. Совместное действие конденсата и твердой пыли (например,  $MgCl_2$  или  $NaCl$ ) представляет собой раствор солей, обладающий высокой коррозионной активностью.

Соединения, содержащие серу – одни из основных источников повышенной агрессивности атмосферы. Соединения азота образуются при горении, а также при производстве удобрений. Опасными являются и галогеносодержащие соединения (хлористый водород, хлор, фтористый водород и др.) Неблагоприятно для промышленных сталей действие твердых, хорошо растворимых гигроскопических солей:  $NaCl$ ,  $Na_2SO_4$ ,  $Na_2CO_3$ ,  $KCl$ ,  $K_2SO_4$  и др. На элементы конструкций они попадают в виде аэрозолей.

Наиболее опасные агрессивные среды присутствуют в химической промышленности. Самая высокая скорость коррозии наблюдается на травильных и гальванических производствах. Травильни являются неотъемлемой частью металлургических предприятий, но содержат в себе сильноагрессивную среду. Ее порождают травильные растворы, выполненные на основе серной и соляной кислот. Гальванические же производства, в свою очередь, дают твердые отходы (гидроксиды, оксиды, соли), которые совместно с водой также становятся агрессивными по отношению к металлам.

## **ВОЗДЕЙСТВИЕ АГРЕССИВНОЙ СРЕДЫ НА МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОЛЛОНЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ**

Черных В.К.

*СГТУ, г. Саратов, Россия*

Воздействие коррозии на конструкции промышленных объектов до сих пор в полной мере не изучено. На отдельных производствах происходит повышение температур и давлений; усложняются технологические процессы, в связи с чем, используются более активные щелочи и кислоты.

Большинство элементов промышленных сооружений выполняются из металла: бункеры, резервуары, галереи, башни, вентиляционные трубы, шахтные конструкции и др.

Влияние агрессивной среды на металлы довольно разрушительно. В данной статье рассматривается влияние коррозионных среды на металлические конструкции колонн промышленных зданий.

Стальные колонны применяются как в бескрановых зданиях, так и в зданиях, оборудованных кранами любой грузоподъемности при различных вариантах поперечного сечения пролета. Сечение стальной колонны может быть выполнено либо в виде одного профиля, либо составлено из двух профилей, объединенных решеткой. В зданиях высотой до 9,6 м включительно и кранами грузоподъемностью до 20 т применяются стальные колонны постоянного сечения из сварных двутавров. В зданиях от 10,8 м до 18,0 м и кранами грузоподъемностью до 50 т устанавливаются двухветвевые колонны ступенчатого очертания.

По сравнению с другими конструкциями, стальные колонны функционируют в более благоприятных условиях, т.к. работают преимущественно на сжатие и не подвержены сильному воздействию динамических и вибрационных нагрузок, соответственно в них не возникает хрупких разрушений. При обследовании колонн выяснилось, что даже при большом сроке их службы состояние остается удовлетворительным, а случаев разрушения не зафиксировано.

Тем не менее, на колонны все же воздействует агрессивная среда совместно с температурами (например, в зоне складирования горячего металла) и динамическими ударами оборудования. Локальной коррозии подвергаются отдельные узлы, особенно те, которые соприкасаются с грунтом, либо с местом стыковки скатов крыши (лоток для сбора воды) и внутренних водостоков с неисправной гидроизоляцией при протечке технических жидкостей. К этим узлам относятся оголовки колонн, узлы опирания подкрановых балок, а также базы колонн и крепления вертикальных связей, которые не забетонированы и расположены ниже отметки пола.

## **ПРОЛЕТНОЕ СТРОЕНИЕ МОСТА ИЗ СТАРОГОДНЫХ ТРУБ**

Черных В.К., Трибунский М.М.

*СГТУ, г. Саратов, Россия*

Задачей научной работы является создание защищенного от агрессивных сред пролетного строения моста из старогодных труб с неболь-

шой металлоемкостью, обладающего простотой конструкции и возможностью быстрого возведения в труднодоступных местах из старогородных материалов.

Поставленная задача решается следующим образом. В качестве главных балок выступают трубчатые элементы, использовавшиеся ранее в нефте- и газопромышленности, что позволяет значительно экономить металл, а также трудозатраты на изготовление из него профилей.

Главные балки объединяются между собой болтовыми соединениями, что уменьшает общий объем сварочных работ, а также делает конструкцию менее жесткой, более восприимчивой к динамическим нагрузкам.

Со сборной железобетонной плитой проезжей части главные балки соединяются посредством приваренных к ним упоров в виде штырей, которые входят в заранее изготовленные пазы плиты, которые затем омоноличиваются, что исключает дополнительные бетонные работы на строительной площадке

На плите проезжей устраивается гидроизоляция из распрыаемого двухкомпонентного пластика – полиуреи, которая надежно защищает от агрессивных сред, обладает отличной адгезией к бетону, не требует никакого дополнительного ухода, достаточно быстро наносится, экономит трудозатраты.

К каждой балке понизу приварен швеллер, который увеличивает момент инерции и посредством которого балка опирается на опорную часть.

В опорных зонах каждая трубчатая балка совместно со швеллером закрывается цельной металлической заглушкой, что защищает от попадания в пустоты трубы, а также пустоты между швеллером и трубой агрессивной среды. Помимо этого, посредством заглушки усиливается зона опирания, что важно, т.к. труба является тонкостенной конструкцией.

Пролетное строение содержит главные балки, которые являются старогородными (некондиционными) трубами, объединяемыми между собой болтовым соединением. Сверху, над балками располагается сборная плита проезжей части с отверстиями, в которые вставлены жесткие упоры, приваренные поверху к главным балкам, и которые затем омоноличиваются. В опорной зоне (по низу балок) к каждой трубе приварен швеллер для опирания на опорные части. В опорных зонах к балке совместно со швеллером приварена металлическая заглушка.

Данное пролетное строение может служить при строительстве малых мостов, в тех местах, где требуется возведение большого количества мостовых сооружений с достаточной экономией на материале. Пролетное строение воспринимает автомобильные и пешеходные нагрузки: плита проезжей части распределяет их по главным балкам – трубам, которые через швеллер, а затем через опорные части передают нагрузку на опору и фундамент.

По данному виду пролетного строения подана заявка на патент № 2016119833 (правообладатель – СГТУ им. Ю.А. Гагарина).

## **О ВЫБОРЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ СИЛОВЫХ СХЕМ ПЛАСТИНЧАТО-СТЕРЖНЕВЫХ ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПУТЕМ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ФОРМЫ**

Черняев А.А.  
*ОГУ, г. Орёл, Россия*

Поиск рациональных силовых схем любых конструкций, в том пластинчатых и пластинчато-стержневых представляет собой важную техническую задачу в различных областях техники: строительстве и машиностроении.

В работах [1] было показано, что форму плоской области (пластины, мембраны, поперечного сечения стержня) можно определять с помощью некоторой обобщённой характеристики. С ее помощью можно производить качественное и количественное сравнение отдельных параметров напряженно-деформированного состояния. Это свойство позволяет предположить, что такой прием может быть полезен при решении задач, связанных с выбором геометрической формы области элемента конструкции получаемых на заданные ограничения. Требования, которые предъявляют к конструкциям это прочность, жесткость, устойчивость и другие.

В работе [2] была рассмотрена задача по определению вариантов заполнения силовой панели с двумя параллельными направляющими лонжеронами пластинами различных форм, которые обладали заданным ограничением по жесткость (максимальному прогибу). Был приведен алгоритм решения этой задачи и пример его реализации. Рассматривались тонкие пластины различной геометрии: треугольные, прямоугольные, трапециевидные, параллелограммные и другие. Задавалось огра-

ничество по прогибу. На заданный прогиб определялась геометрия пластин. Отметим, что подобные задачи с использованием численных методов решаются с большей трудоемкостью.

Представляется что прем геометрического моделирования формы может быть полезен при определении рациональных силовых схем тонкостенных конструкций.

#### Библиографический список

1. Коробко, А.В. Геометрическое моделирование формы области в двумерных задачах теории упругости / А.В. Коробко. – М.: АСВ, 1999. – 320 с.
2. Черняев, А.А. Геометрическое моделирование пластинчатых конструкций из условия жесткости / А.А. Черняев / Международный журнал по расчету гражданских и строительных конструкций. – 2012. – Т. 8. – Вып. 4. – С. 66-77.

### **ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ И УСИЛЕНИИ**

Чигинский Д.С.

*ТулГУ, г. Тула, Россия*

Особенностью обследования строительных конструкций промышленных сооружений является разрозненность сведений (предоставляемых Заказчиком), фрагментарность накопления информации об объекте (в процессе обследования) и необходимость учёта стадийности при выполнении усиления. Таким образом в процессе обследования технического состояния сооружений промышленных предприятий возникает необходимость формирования единой информационной базы знаний об объекте и процессе обследования.

Информационное моделирование сооружений (ВИМ) – процесс коллективного создания и использования информации о сооружении, формирующий надежную основу для всех решений на протяжении жизненного цикла объекта [1].

ВИМ предоставляет возможность накапливать и использовать сведения на каждой из стадий взаимодействия с объектом обследования: первоначальная рабочая документация существующего сооружения, чертежи усиления и реконструкции на этапе эксплуатации до обследования, информация о ходе обследования (в т.ч. поверочные расчёты),

общие рекомендации по устранению дефектов и повреждений, проектная и рабочая документация по усилению (учитывая возможности вариантного проектирования), техническому перевооружению или реконструкции. В настоящее время уже имеется широкий спектр программного обеспечения, реализующего технологию BIM [2], который также постоянно совершенствуется.

BIM uses – задачи внедрения BIM для целей обследования, в зависимости от рассматриваемой стадии, могут включать: анализ исходных данных, создание модели существующего сооружения, планирование и отслеживание план-факта в процессе обследования, расчёт строительных конструкций, 3D-координация с учётом расположения технологических трубопроводов и элементов усиления.

LOD (Load of Development) – уровень проработки информационной модели, кроме иных направлений применения, позволяет регулировать требуемую детализацию в зависимости от поставленных задач внедрения BIM. Например, для отслеживания план-факта при обследовании эстакад технологических трубопроводов достаточным будет LOD 100, при разработке документации по усилению – LOD 300...400, для создания модели существующего сооружения – LOD 500.

Резюмируя можно сделать вывод о том, что информационное моделирование (BIM) постепенно должно становиться основным инструментом при обследовании технического состояния сооружений промышленных предприятий.

#### Библиографический список

1. Что такое BIM-технологии в современной интерпретации? – Режим доступа: <http://www.autodesk.ru/bim>.
2. Тапалов, В.В. Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий / В.В. Тапалов. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 392 с.

### **О РАСЧЁТЕ КАРКАСА БОЛЬШЕПРОЛЁТНОГО ЗДАНИЯ**

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

Выполнен расчёт стального каркаса большепролетного (более 36 м) здания с применением поперечных рам постоянного сечения из сварных двутавров, включающий проверку заданного сечения стоек и ригелей рам, подбор сечения затяжки, прогонов и элементов системы связей, а также стоек, ригелей и связей фахверка. Для указанного каркаса

выполнен расчёт оснований и железобетонных монолитных столбчатых фундаментов под стойки поперечных рам и стойки фахверков.

Конструктивная схема здания – каркасная, по статической схеме поперечная рама – двухшарнирная, со стальной затяжкой. Узлы сопряжения стоек и пролётных элементов (ригелей) поперечных рам приняты жёсткими. В продольном направлении пространственная жёсткость каркаса обеспечивается системой связей. Узлы сопряжения элементов каркаса с фундаментами приняты шарнирными.

Каркас здания обладает следующими макрогеометрическими параметрами: длина – 400 м, длина температурного блока – 120 м, пролёт (в свету) – 56 м, отметка конька рамы – 30 м, отметка затяжки – 22,5 м, уклон покрытия – 35°. Принятые материалы: сталь С345 по ГОСТ 27772-88\*, бетон тяжелый, по прочности на сжатие класса В40, арматура периодического профиля класса А500.

Сбор нагрузок выполнен в соответствии с [1, 3]. Расчёты оснований, стальных и железобетонных элементов выполнены по первой и второй группам предельных состояний в соответствии с [2, 4, 5]. Расчёт проводился на основные и особые сочетания постоянных, технологических, снеговых, ветровых и сейсмических нагрузок. Расчёт значений пульсационной составляющей ветровых нагрузок, значений сейсмических нагрузок, определение усилий, подбор и проверка сечений элементов производились в программном комплексе SCAD Office 21.1 (SCAD Soft).

По результатам расчётов подтверждена возможность использования заданных сечений из сварных двутавров для элементов поперечных рам, определены сечения элементов из двутавров по СТО АСЧМ 20-93 и гнутых замкнутых профилей по ТУ 36-2287-80, а также требуемые размеры фундаментов и их армирование.

#### Библиографический список

1. СП 14.13330.2014. Строительство в сейсмических районах СНИП II-7-81\* (с изменением № 1). – М.: Минстрой России, ФЦС, 2016.
2. СП 16.13330.2011. Стальные конструкции: Актуализированная редакция СНИП II-23-81\* (с изменением № 1). – М.: Минрегион России, 2011.
3. СП 20.13330.2011. Стальные конструкции: Актуализированная редакция СНИП II-23-81\*. – М.: Минрегион России, 2011.
4. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений: Актуализированная редакция СНИП 2.02.01-83\*. – М.: Минрегион России, 2011.

5. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения: Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003 (с изменениями № 1, 2). – М.: Минстрой России, 2015.

## **О РАСЧЁТЕ НЕСЪЁМНОЙ ОПАЛУБКИ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ**

Чигинский Д.С., Шерешевский М.Б.  
*ТулГУ, г. Тула, Россия*

Технология реновации подземных тоннелей с использованием несъемной опалубки из стеклопластиков обладает рядом преимуществ: экономичность, низкая трудоемкость и возможность проведения работ без приостановки эксплуатации.

Габаритные размеры поперечного сечения элемента несъемной опалубки приняты 1,8×2 м, грани и углы элемента имеют некоторые радиусы скругления. Толщина стенки принята в интервале 5...8 мм. Размеры и форма выбраны таким образом, чтобы при установке конструкции в эксплуатируемый тоннель между её гранями и стенками существующего тоннеля сохранялся зазор 50...100 мм, который затем заполняется цементным раствором. Для целей расчёта (первое приближение) приняты значения физико-механических характеристик композитного материала как изотропного, соответствующего стеклопластикам, изготовленным из стеклоткани на основе эпоксидных смол: плотность 1600...2000 кг/м<sup>3</sup>, модуль упругости при изгибе 10000...30000 МПа, коэффициент Пуассона 0,23...0,28, прочность при статическом изгибе – 400...800 МПа.

Расчёт выполнялся на стадии монтажа с учётом требований [1], а также процесса выполнения работ, состоящего из следующих этапов:

1. Установка и закрепление элементов несъемной опалубки. Заполнение цементным раствором зазора между нижней поверхностью опалубки и дном тоннеля. Твердение и набор раствором начального уровня прочности.

2. Равномерное с двух сторон поперечного сечения заполнение раствором зазоров между стенками опалубки и тоннеля. Твердение раствора.

3. Заполнение цементным раствором зазора между верхней поверхностью конструкции опалубки и крышкой тоннеля. Твердение раствора.

Выполнен геометрически нелинейный расчёт в комплексе конечно-элементного анализа SCAD 21 с учетом так называемого «приближения Кармана», когда предполагается, что квадраты углов поворота элементов рассматриваемой расчетной схемы являются величинами того же порядка малости, что и относительные удлинения в материале, которые в свою очередь считаются малыми по сравнению с единицей. Указанное позволяет учитывать большие прогибы (перемещения) стенок, а также и использовать односторонние связи [1].

Получившиеся в результате эпюры усилий, картины перемещений и распределение напряжений, в целом соответствуют ожидаемым, однако, для подтверждения достоверности результатов расчёта по принятой модели необходимо проведение соответствующего натурального испытания рассматриваемой конструкции.

#### Библиографический список

1. СП 16.13330.2011. Нагрузки и воздействия: Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\*. – М., 2011.
2. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа / А.В. Перельмутер, В.И. Сливкер. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 600 с.

### **РАСЧЕТ ЗАМКНУТОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ ПРИ ДЕЙСТВИИ СОСРЕДОТОЧЕННОЙ НАГРУЗКИ**

Шагивалеев К.Ф., Сурнина Е.К., Нурматова К.Я.  
*СГТУ, г. Саратов, Россия*

Рассмотрена замкнутая цилиндрическая оболочка, имеющая на одном конце жесткое закрепление, а на другом – свободный конец. Оболочка находится под действием сосредоточенной нагрузки, приложенной на свободном конце.

Сосредоточенную нагрузку  $F$  разложим в тригонометрический ряд по переменной  $\beta$ .

Выражения для перемещения, усилий и моментов при действии этого вида нагрузки при различных граничных условиях приведены в работе [1].

В качестве примера произведены расчеты замкнутой цилиндрической оболочки со следующими геометрическими параметрами:

1. Длина оболочки  $L = 27,5$  м, радиус  $R = 3$  м,  $\alpha_0 = L/R = 9,1667$ , толщина стенки  $h = 0,16$  м, коэффициент Пуассона  $\nu = 0,2$ .

2. Длина оболочки  $L = 27,5$  м, радиус  $R = 6$  м,  $\alpha_0 = L/R = 4,58333$ , толщина стенки  $h = 0,24$  м, коэффициент Пуассона  $\nu=0,2$ .

Результаты расчетов приведены в таблице.

	Радиальные перемещения в различных точках вдоль образующих $\beta = 0$ и $\beta = \pi$										
	$\frac{\alpha_0}{11}$	$\frac{2\alpha_0}{11}$	$\frac{3\alpha_0}{11}$	$\frac{4\alpha_0}{11}$	$\frac{5\alpha_0}{11}$	$\frac{6\alpha_0}{11}$	$\frac{7\alpha_0}{11}$	$\frac{8\alpha_0}{11}$	$\frac{9\alpha_0}{11}$	$\frac{10\alpha_0}{11}$	$\alpha_0$
$R=3$	$\frac{13,07}{-24,72}$	$\frac{57,54}{-87,67}$	$\frac{141,1}{-171,6}$	$\frac{271,2}{-258,5}$	$\frac{455,1}{-329,3}$	$\frac{701,9}{-367,7}$	$\frac{1024}{-367,9}$	$\frac{1444}{-345,8}$	$\frac{2004}{-326,6}$	$\frac{2812}{-309}$	$\frac{5011}{-257,3}$
$R=6$	$\frac{23,43}{28,34}$	$\frac{96,2}{104,1}$	$\frac{222,4}{213,6}$	$\frac{406}{343}$	$\frac{655}{485}$	$\frac{976}{631}$	$\frac{1386}{783}$	$\frac{1911}{937}$	$\frac{2606}{1093}$	$\frac{3610}{1247}$	$\frac{6459}{1459}$

В числителе указана величина радиального перемещения  $w$  при  $\beta = 0$ , в знаменателе – при  $\beta = \pi$ . Значения, приведенные в таблице, необходимо умножить на  $\frac{F}{ER}$ .

### Библиографический список

1. Шагивалеев, К.Ф. Расчет замкнутой цилиндрической оболочки на локальные и сосредоточенные нагрузки / К. Ф. Шагивалеев. – Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2011. – 316 с.

## СИСТЕМА ИЗ ДВУХ ОБОЛОЧЕК С РАЗНЫМИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ

Шагивалеев К.Ф., Сурнина Е.К., Нурматова К.Я.  
СГТУ, г. Саратов, Россия

Рассмотрена пространственная система из двух замкнутых цилиндрических оболочек с разными геометрическими параметрами. Оболочки имеют на одном конце жесткое закрепление, а на другом – свободный конец. Оболочки расположены на некотором расстоянии друг от друга и соединены между собой одной промежуточной (жесткой) связью. Одна из оболочек находится под действием сосредоточенной нагрузки  $F$ , приложенной на свободном конце. Для каждой оболочки принята своя система координат (

Для расчета пространственной системы применен метод сил

Используя аналитические выражения для определения перемещений, усилий и моментов при действии сосредоточенных нагрузок, приведенные в работе [1], был выполнен расчет пространственной системы.

Геометрические параметры первой оболочки: длина оболочки  $L = 30$  м, радиус  $R = 3$  м, толщина стенки  $h = 0,16$  м, коэффициент Пуассона  $\nu = 0,2$ . Геометрические параметры второй оболочки:  $L = 27,5$  м, радиус  $R = 6$  м, толщина стенки  $h = 0,24$  м, коэффициент Пуассона  $\nu = 0,2$ .

Неизвестную реактивную силу  $F_R$  находим из условия сопряжения оболочек. В точке контакта оболочек радиальные перемещения оболочек равны.

$$F_R = 0,11548 F. \quad (1)$$

Зная  $F_R$ , можно определить напряженно-деформированное состояние каждой оболочки [1].

#### Библиографический список

1. Шагивалеев, К.Ф. Расчет замкнутой цилиндрической оболочки на локальные и сосредоточенные нагрузки / К. Ф. Шагивалеев. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2011. – 316 с.

### **ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СИСТЕМА ИЗ ДВУХ ОБОЛОЧЕК С ДВУМЯ ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ СВЯЗЯМИ**

Шагивалеев К.Ф., Сурнина Е.К., Сухушина Е.Е.

*СГТУ, г. Саратов, Россия*

Рассмотрена пространственная система из двух замкнутых цилиндрических оболочек. Геометрические параметры первой оболочки: длина оболочки  $L = 30$  м, радиус  $R = 6$  м, толщина стенки  $h = 0,24$  м, коэффициент Пуассона  $\nu = 0,2$ . Геометрические параметры второй оболочки:  $L = 30$  м, радиус  $R = 3$  м, толщина стенки  $h = 0,16$  м, коэффициент Пуассона  $\nu = 0,2$ . Оболочки расположены на некотором расстоянии  $\Delta$  друг от друга и соединены между собой двумя промежуточными (жесткими) связями  $\left( \tau_1 = \alpha_0 ; \tau_2 = \frac{1}{2} \alpha_0 \right)$ .

Оболочки имеют на одном конце жесткое закрепление, а на другом – свободный конец. К одной из оболочек приложена на свободном конце сосредоточенная радиальная нагрузка  $F$ .

Для расчета пространственной системы применим метод сил.

Используя аналитические выражения, приведенные в работе [1], был выполнен расчет пространственной системы.

Неизвестные реактивные силы  $F_{R1}$  и  $F_{R2}$  находим из условия, что в точках контакта оболочек радиальные перемещения  $w$  в первой оболочке от действия сосредоточенной силы  $F$  и реактивных давлений  $F_{R1}$  и  $F_{R2}$  равны радиальным перемещениям  $w$  второй оболочки от действия реактивных  $F_{R1}$  и  $F_{R2}$ .

Из решения системы уравнений находим неизвестные реактивные давления  $F_{R1}$  и  $F_{R2}$ .

$$F_{R1} = -0,0773 F ; \quad F_{R2} = -0,1356 F . \quad (1)$$

Зная  $F_{R1}$  и  $F_{R2}$ , можно определить напряженно-деформированное состояние каждой оболочки [1].

#### Библиографический список

1. Шагивалеев, К.Ф. Расчет замкнутой цилиндрической оболочки на локальные и сосредоточенные нагрузки / К. Ф. Шагивалеев. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2011. – 316 с.

### **ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ**

Шварц А.Ю., Овчинников И.И.  
*СГТУ, г. Саратов, Россия*

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

Описанная в ОДМ 218.3.014-2011 балльная система оценки технического состояния мостов позволяет формировать рекомендации по их эксплуатационному содержанию. В рамках данной системы каждый из рассматриваемых показателей выражается количественно по результатам обследования конструкции инженерами. Кроме того, существует необходимость достоверно определить факторы, которые оказывают влияние на техническое состояние. Применение статистических методов в данном случае не обеспечивает получения корректных результатов. Таким образом, становится актуальной задача оценки технического состояния мостов в условиях неопределенности.

Одним из наиболее часто применяющихся механизмов принятия решений в условиях неопределенности является метод нечеткого вывода Мамдани, основанный на теории нечетких множеств Л. Заде. Этот метод лег в основу программного обеспечения оценки технического состояния мостовых сооружений.

Программное обеспечение можно условно разделить на следующие модули:

1. Модуль принятия решений: нечеткий вывод на основе входных данных, полученных в ходе осмотров мостовых сооружений, вывод оценки.

2. Модуль лингвистических переменных: создание, изменение, удаление и просмотр лингвистических переменных, их термов и функций принадлежности.

3. Модуль правил: создание, изменение, удаление и просмотр нечетких правил, на основе которых модуль принятия решений производит нечеткий вывод.

4. Модуль каталога: организация лингвистических переменных в древовидную структуру (каталог) для их логического объединения на основе принадлежности к определенным конструктивным элементам сооружения.

5. Модуль работы с файлами: сохранение и загрузка баз знаний в файлы для повторного использования и дальнейших доработок.

Разработанное программное обеспечение позволит в автоматическом режиме получать оценку технического состояния мостовых сооружений в условиях неопределенности. Также предусмотрена возможность дополнения и модификации базы знаний в случае необходимости.

## **РАЗРАБОТКА СОСТАВА КОМПОЗИЦИОННОЙ КЕРАМИКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ**

Ярош Я.В., Рябов Г.Г.  
*ТулГУ, г. Тула, Россия*

Создание эффективных и высокоэкономичных материалов – одна из основных задач современного строительного материаловедения. Наилучшим образом эта задача решается на пути создания композиционных материалов, в которых совместная работа разнородных составляющих дает эффект, равносильный получению нового материала, свойства которого качественно и количественно отличаются от свойств каждого из компонентов.

Композиционная керамика – это многокомпонентный материал, состоящий из смеси глины и различных добавок. Характеризуется высокой прочностью, морозостойкостью и плотностью. Получение такого вида керамики достигается с помощью внедрения различных добавок.

Главной задачей исследования можно назвать определение оптимального состава керамической массы с учётом всех добавок, которой будет соответствовать наиболее лучшие прочностные характеристики, а также получить керамические изделия из более дешевого сырья; расширить сырьевую базу; утилизировать бытовые отходы.

Для реализации задачи, в состав керамической массы включаем: су-глинки, в качестве выгорающей добавки вводим отход макулатуры, а в качестве плавня – отходы стекла. Макулатура и отходы стекла – это компоненты твердых бытовых отходов, которые могут быть выделены путем сортировки и утилизации отходов. Важным фактором является измельчение макулатуры до диаметра частиц менее 10 мм. Это способствует более быстрому и равномерному обжигу изделия, а также снижению плотности за счет образования пор. Использование макулатуры более крупных размеров может привести к недожогу, как следствие, снижению прочностных характеристик изделия.

Так же стоит отметить, что отходы стекла измельчают до диаметра частиц менее 0,5 мм. Они применяются как плавень для снижения температуры обжига и водопоглощения, а также для лучшего спекания частиц. В случае наличия более крупных стеклянных частиц есть вероятность неполного плавления стекла, что может снизить прочность изделия.

Керамическая масса, представленная в работе, имеет некоторые особенности, обусловленные её структурой, для которой характерны большая прочность после сушки и обжига.

Отметим, что изделия, приготовленные из исследуемой керамической массы, соответствуют марке по прочности М125, а также потеря прочности изделий при сжатии при проведении 25 циклов замораживание-оттаивание составляет менее 5%, что соответствует марке F25 по морозостойкости, согласно ГОСТ 530-2012.

Таким образом, исследуемый состав можно применять в промышленности для производства керамических кирпичей марок М125. К преимуществам данного объекта исследования можно отнести низкую себестоимость, так как добавки относятся к отходам и не несут финансовой нагрузки при изготовлении керамической массы данного типа.

**СОДЕРЖАНИЕ**

<i>Агальцов Н.С., Рябов Г.Г., Рябов Р.Г.</i> Модифицирование бетонов отходами дорожной отрасли .....	5
<i>Адылов А.М.</i> Перспективы применения самоуплотняющегося бетона .....	6
<i>Адылов А.М., Кривошеин И.В.</i> Методика расчета неразрезных прямоугольных пластинок из нелинейно деформируемого материала .....	7
<i>Айгумов М.М., Байрамкулов Т.Э.</i> Вопросы восстановления эксплуатационной пригодности пристроенной части жилого дома .....	8
<i>Алексеева К.Н., Уруев В.М.</i> Повышение прочности бетона с использованием отходов производства.....	9
<i>Андрущенко А.И. Сидорова А.Ю.</i> Сравнение расчетов стальной и композитной труб, заполненных бетоном.....	10
<i>Анисимова Е.Ю., Закуражнов М.С.</i> Один из способов активации микронаполнителя.....	11
<i>Аннин О.Г.</i> О резерве несущей способности нелинейно деформируемых пологих оболочек, поврежденных действием агрессивной среды .....	13
<i>Афанасьева К.А.</i> Исследование свойств мелкозернистых бетонов с введением минерально-органических добавок.....	14
<i>Афанасьева К.А.</i> Исследование свойств мелкозернистых бетонов с применением карбонатных микронаполнителей.....	15
<i>Афанасьева К.А.</i> Разработка композиционного вяжущего вещества на основе строительного гипса .....	17
<i>Ашихмин А.А., Рябов Г.Г., Рябов Р.Г.</i> Влияние на свойства керамики комплексной добавки .....	18
<i>Барченкова Н.А, Ильиных И.А.</i> Влияние эксцентрисности расположения колесной нагрузки и нерав ее распределения по площади контакта на НДС плиты .....	19

<i>Барченкова Н.А., Ильиных И.А.</i> Исследование точности нормативной методики расчета усилий в плитных конструкциях на действие колесной нагрузки .....	20
<i>Баширзаде С.Р.</i> Определение нагрузки на трубопровод при тектоническом воздействии.....	21
<i>Баширзаде С.Р., Овчинников И.Г.</i> О построении обобщенной модели трубопровода с учетом реальных условий эксплуатации .....	23
<i>Баикатов А.В., Теличко В.Г.</i> Расчет железобетонных конструкций с учетом воздействия агрессивной среды .....	24
<i>Белов В.В., Образцов И.В.</i> Моделирование капиллярного структурообразования в дисперсных сырьевых смесях.....	25
<i>Белов В.В., Образцов И.В.</i> Оптимизация гранулометрического состава сухой огнеупорной смеси.....	27
<i>Бобрышев А.А., Шафигуллин Л.Н.</i> Строительные конструкционные металлонаполненные полимерные композиты.....	29
<i>Бобрышев А.А., Шафигуллин Л.Н.</i> Теоретическая оценка реологического состояния строительных цементно-песчаных растворов, модифицированных полимерными добавками .....	30
<i>Бодин А.Б., Сомов А.В., Столяров Е.Г., Тростин В.П.</i> Разработка мобильных строительно-дорожных установок с использованием нанотехнологий .....	31
<i>Быков А.Ю.</i> Высококачественная металлопродукция группы «НЛМК» на российском рынке .....	32
<i>Вотрин Д.А.</i> Влияние дисперсной арматуры на прочность при изгибе фибропенобетона при повышенных температурах .....	33
<i>Габеев Д.О.</i> Кинетические уравнения деформационной повреждаемости конструкционных материалов .....	35

<i>Гордон В.А., Брума Е.В.</i> Метод оценки динамических догрузений балки при внезапном повреждении основания.....	37
<i>Горюхов В.А.</i> Методический подход к расчёту объёма запасов строительных материалов и конструкций на базах хранения, гарантирующий надежность покрытия возникающей потребности ..	39
<i>Гриднев С.Ю., Терновых Е.В.</i> Влияние модели передачи динамической нагрузки от колеса автомобиля на колебания упруго опертых пролетных строений мостов.....	41
<i>Гриднев С.Ю., Терновых Е.В.</i> Динамические параметры балочной системы, упруго опертой одним концом.....	44
<i>Делягин М.Ю., Трещёв А.А., Теличко В.Г.</i> Расчёт свободно опертой сферической оболочки на термомеханическое воздействие с учётом нелинейности материала при малых прогибах .....	47
<i>Дервякина В.Ю., Ерофеев А.В.</i> К вопросам прогнозирования срока службы теплоизоляционных материалов.....	48
<i>Дягилев Н.А., Черных В.К., Раткин В.В.</i> Сравнение программных комплексов для расчета зданий и сооружений.....	50
<i>Ерофеев А.В., Павлов М.В.</i> Методика установления корреляционной зависимости между реальной и теоретической долговечностью строительных конструкций .....	51
<i>Жаров П.В., Рябов Г.Г.</i> Состав бетонной смеси с применением отходов промышленности для дорожного строительства .....	52
<i>Журавлёв Г.М. Куриен Н.С.</i> Расчет взрывного воздействия на плоскую железобетонную преграду энергетическим методом .....	54
<i>Журин Е.А.</i> Вывод системы нелинейных дифференциальных уравнений для ортотропных кольцевых и круглых пластин средней толщины из нелинейных разносопротивляющихся материалов при малых прогибах .....	55

<i>Загородникова М.А., Ярцев В.П.</i> О возможности применения пвх-мембран в конструкциях очистных сооружений животноводческих комплексов .....	56
<i>Зимнухов А.Н., Ярцев В.П., Плужникова Т.М.</i> Влияние нанодобавок на физико-механические характеристики битума .....	57
<i>Зиборов Л.А., Теличко В.Г.</i> Условие прочности бетона в35 при двухосном сжатии .....	58
<i>Зобкова Н.В., Кожанова Н.В.</i> Некоторые вопросы организации обследования зданий и сооружений .....	60
<i>Зобкова Н.В., Кожанова Н.В.</i> Особенности технологии и организации строительных работ при реконструкции зданий .....	61
<i>Зобкова Н.В., Пшенов А.А.</i> Обследование междуэтажного перекрытия производственного корпуса .....	62
<i>Каклюгин А.В., Трищенко И.В., Чижов А.В.</i> Новый способ получения безобжигового ангидритового вяжущего вещества .....	64
<i>Калинин И.С., Шутов Е.Д., Мордкович В.А.,</i> К расчету Крутящего момента как показателя несущей способности винтовых свай .....	65
<i>Ким А.Ю.</i> Новые конструктивные формы мембранно-стержневых и вантовых сооружений .....	66
<i>Ким А.Ю., Полников С.В.</i> Мембранно-каркасное пневматическое сооружение.....	67
<i>Коваленко А.В.</i> Современные тенденции технологической политики при разработке и создании строительных материалов и конструкций .....	68
<i>Козлов А.А., Козлова Ю.А., Николюкин А.Н.</i> Анализ работы фундамента на песчаном основании.....	69
<i>Козлов А.В., Животков О.И., Борисенко Ю.В.</i> Использование золошлаковых отходов в производстве современных силикатных материалов.....	71

<i>Козлов А.В., Шпилева А.А., Ахтямов Д.С.</i> Керамический кирпич полусухого прессования с использованием добавок из промышленных отходов .....	72
<i>Козлов Г.А., Рубахин И.И., Проценко О.В.</i> Керамический кирпич полусухого прессования с добавками из промышленных отходов .....	74
<i>Козлова Ю.А., Ярцев В.П.</i> Влияние старения на клеевой слой структурированной панели .....	75
<i>Козлова Ю.А., Ярцев В.П.</i> Исследование эксплуатационных свойств структурированных теплоизоляционных панелей на основе древесины .....	76
<i>Козырева Л.В., Мочинина А.В.</i> Усиление насыпи на подходах к железнодорожным мостам .....	77
<i>Костиков И.Е., Кузнецов Е.Е., Матченко И.Н., Матченко Н.М.</i> О границах применения квадратичного условия пластичности Мизеса к описанию пластических свойств анизотропии листовых прокатных материалов .....	78
<i>Котляр А.В., Козлов А.В.</i> Классификация камнеподобного глинистого сырья по степени размокаемости .....	79
<i>Котляр А.В., Лазарева Я.В.</i> Типы месторождений камнеподобного глинистого сырья .....	80
<i>Котляр В.Д., Лапунова К.А., Козлов Г.А.</i> Особенности технологии производства высокоэффективных керамических блоков на основе опоковидного сырья .....	82
<i>Котляр В.Д., Мирина В.А.</i> Тонкодисперсные продукты переработки террикоников – перспективное сырье для производства эффективной стеновой керамики .....	83
<i>Кривошеин И.В., Подтяжкин В.Г., Подтяжкина А.М.</i> Длительная прочность гибких физически нелинейных пологих оболочек .....	84
<i>Кривошеин И.В., Подтяжкин В.Г., Подтяжкина А.М.</i> Долговечность гибких физически нелинейных прямоугольных пластинок .....	86

<i>Кривошеин И.В., Подтяшкин В.Г., Подтяшкина А.М.</i> Об одной методике расчета нелинейно деформируемых пологих оболочек .....	87
<i>Кривошеин И.В., Подтяшкин В.Г., Подтяшкина А.М.</i> Определение резерва несущей способности нелинейно деформируемых пластинок, поврежденных действием агрессивной среды.....	88
<i>Кузнецова Н.В., Дубровин А.И.</i> Составы смесей многокомпонентных цементных материалов с использованием отходов металлургических производств.....	89
<i>Лазарева Я.В., Лапунова К.А., Котляр В.Д.</i> Технология производства керамической черепицы на основе аргиллитоподобных глин.....	90
<i>Леденев В.В., Тью Тхи Хоанг Ань</i> Исследование плоского перемещения фундаментов.....	92
<i>Леденев В.В., Тью Тхи Хоанг Ань</i> Факторы, влияющие на НДС зданий и конструкций.....	93
<i>Леонов В.М.</i> Характеристики операций магнитно-импульсной обработки металлов.....	94
<i>Макарова С.В., Айгузов М.М.</i> Деформирование грунтов в основании фундаментов под нагрузкой.....	96
<i>Максимова А.А., Ярцев В.П., Загородникова М.А.</i> Влияние атмосферных воздействий на эксплуатационные свойства мягкой кровли .....	97
<i>Малинин В.Г., Мавлюбердинов Д.В.</i> Совершенствование конструкции установки для испытания материалов в условиях сложного напряженного состояния и баромеханических воздействий .....	99
<i>Малинин В.Г., Морозов Е.А.</i> Разработка методики и внедрение критерия разрушения металлических изделий с концентраторами в ПО Ansys, APR Structure 3D.....	101

<i>Малинин В.Г., Муссауи Ю.Ю.</i> Моделирование конструкций из сплавов с памятью формы в качестве предварительно напрягаемой арматуры в монолитных железобетонных конструкциях .....	102
<i>Малинина Н.А, Малинин Г.В.</i> Анализ уравнений структурно-аналитической мезомеханики материалов с эффектом памяти формы при плоском напряженном состоянии .....	103
<i>Малинина Н.А., Малинин В.Г., Малинин В.В., Димов А.А.</i> Исследование инвариантности градиентного критерия максимальных локальных растягивающих напряжений.....	104
<i>Мезенцев В.В., Хованский М.Е.</i> Анализ состояния подпорных стен (на примере г. Красноярска) .....	105
<i>Мезенцев В.В., Хованский М.Е.</i> Использование мобильных зданий GEODOME (геокупол) в условиях Крайнего Севера .....	107
<i>Мезенцев В.В., Хованский М.Е.</i> Необходимость учета формы мобильного здания при проектировании в условиях Крайнего Севера.....	108
<i>Мезенцев В.В., Хованский М.Е.</i> Обзор механизации в строительстве .....	109
<i>Мезенцев В.В., Хованский М.Е.</i> Применение ПК rIaxis для выполнения сложных геотехнических расчетов .....	110
<i>Мезенцев В.В., Хованский М.Е.</i> Современные технологии строительства подпорных стен .....	111
<i>Мезенцев В.В., Хованский М.Е.</i> Этапы развития расчета системы «основание-фундамент-здание»..	112
<i>Моргул Л.В, Кадомцева Е.Э.</i> Приближённый метод расчёта армированной балки на упругом основании с бимодульным заполнителем.....	113
<i>Моржаков В.Г., Щербина А.А., Михайлов Р.В.</i> Применение металлов нового поколения при проектировании и строительстве уникальных объектов .....	115

<i>Муравьев Е.А., Ерофеев А.В.</i> Об актуальности разработки методики прогнозирования и повышения долговечности ограждающих конструкций каркасно-щитовых зданий.....	116
<i>Муртазин М.Р., Муртазина Г.Р.</i> К расчёту плавающего покрытия поплавкового типа из плоских заготовок.....	117
<i>Муртазин М.Р., Муртазина Г.Р.</i> Экспериментальное исследование систем усиления композитными материалами на основе углеволокна металлических элементов конструкций перекрытий существующих зданий и сооружений .....	118
<i>Наумов А.А.</i> Пути повышения качества керамического кирпича полусухого прессования .....	119
<i>Наумов И.А.</i> Влияние технологических факторов на деформационную повреждаемость материалов .....	121
<i>Нестерова Д.Н., Черных В.К.</i> Мониторинг транспортных сооружений.....	122
<i>Нехаев Г.А., Захарова И.А.</i> Некоторые вопросы устойчивости стержней из ЛСТК.....	123
<i>Нигаматова О.И.</i> Система экспертной оценки технического состояния мостовых сооружений на основе нечеткой логики.....	125
<i>Нигаматова О.И., Шварц А.Ю., Долинина О.Н.</i> Автоматизация экспертной оценки технического состояния мостовых сооружений на основе нечеткой логики.....	126
<i>Никишин В.Е., Кокодеева Н.Е., Четкин А.Ю.</i> Технология холодных дорожных бетонов с дисперсными органическими вяжущими .....	127
<i>Овчаренко А.Ю., Тутьшкин Н.Д.</i> Физико-механические аспекты пластической повреждаемости деформируемых материалов .....	128
<i>Павлова Н.С., Цуканов А.А., Теличко В.Г.</i> Современные критерии прочности железобетона для оценки его НДС при расчёте в рамках МКЭ.....	132

<i>Павлова Н.С., Нехаев Г.А.</i> Устойчивость балок из ЛСТК под действием равномерно распределённой нагрузки.....	133
<i>Павлова Н.С., Теличко В.Г.</i> Определение НДС железобетонных конструкций при помощи метода конечных элементов .....	134
<i>Палагушкин В.И., Мезенцев В.В., Хованский М.Е., Дроздов В.А., Беличенко М.Ю., Коробейников А.С.</i> Регулирование НДС конструкций методом смещения опор.....	135
<i>Палагушкин В.И., Мезенцев В.В., Хованский М.Е., Дроздов В.А., Беличенко М.Ю., Коробейников А.С.</i> Регулирование НДС четырехпролетной шарнирной неразрезной металлической фермы .....	136
<i>Панькин С.С.</i> Предложения по утеплению фасадов зданий .....	138
<i>Петров В.В., Мищенко Р.В., Пименов Д.А.</i> Определение главной части решения при расчете пологих оболочек.....	139
<i>Попов И.И., Россихин Ю.А., Шитикова М.В.</i> Исследование влияния старения бетона на величину контактной силы и продолжительность контактного взаимодействия при ударе упругого шара по вязкоупругой балке.....	148
<i>Прохорова А.В., Сычева Т.Н.</i> Взаимосвязь качества сушки пиломатериалов и прочности деревянных клееных конструкций .....	149
<i>Раткин В.В., Черных В.К.</i> Хлоридная коррозия и ее влияние на свойства бетона.....	150
<i>Резниченко Н.В., Рябов Г.Г., Рябов Р.Г.</i> Комплексная органоминеральная добавка для бетонов .....	151
<i>Рожков А.Ф., Мезенцев В.В., Хованский М.Е.</i> Актуальность расчета надфундаментных конструкций с учетом грунтового основания .....	152
<i>Романов В.М.</i> Физические основы методики расчета повреждаемости .....	153
<i>Селиванов Ф.С., Синева Н.Ф., Каргин С.А.</i> Оценка напряженно-деформируемого состояния системы «оболочка-основание».....	154

<i>Селиванов Ф.С., Стрельцин Я.С., Арсентьев В.А.</i> Изучение влияния на работу грунта местного линейного участка замачивания, проходящего в непосредственной близости от фундамента .....	156
<i>Селиванов Ф.С., Стрельцин Я.С., Казаросян О.М.</i> Оценка состояния основания при местном замачивании в непосредственной близости от оболочки .....	158
<i>Селиванов Ф.С., Стрельцин Я.С., Касатов А.Ю.</i> Модель деформирования цилиндрической оболочки, взаимодействующей с нелинейно деформируемым основанием при неоднородной нагрузке .....	161
<i>Селиванов Ф.С., Стрельцин Я.С., Миронов Г.В.</i> Изучение влияния на работу грунта местного линейного участка замачивания, проходящего в непосредственной близости от фундамента .....	162
<i>Семенов П.К., Воропаев А.В.</i> Моделирование процесса деформирования и разрушения нелинейно-упругих пластин, взаимодействующих с температурным полем .....	164
<i>Семенов П.К., Воропаев А.В.</i> Расчет нелинейно-упругих пластин методом вариационных итераций в сочетании с методом двойной аппроксимации при термосиловом нагружении .....	167
<i>Семёнов П.К., Воропаев А.В.</i> Расчёт термосилового нагружения системы «нелинейно-упругая плита – основания» вариационными итерациями .....	169
<i>Семенов П.К., Минаева Д.И.</i> Моделирование взаимодействия нелинейно-упругой цилиндрической оболочки с многослойным неоднородным основанием в условиях высокотемпературной ползучести .....	170
<i>Семенов П.К., Минаева Д.И.</i> Расчет нелинейно-упругой стержневой пластины, взаимодействующей с неоднородным основанием .....	171
<i>Семкина А.А., Рябов Г.Г., Рябов Р.Г.</i> Модифицированный коррозионностойкий мелкозернистый бетон с микро- и нанодобавкой метаксаолина .....	173
<i>Сергеева С.Б., Трещёв А.А.</i> Влияние водорода на свойства металлов и сплавов .....	174

<i>Сигарев А.М., Рябов Г.Г., Рябов Р.Г.</i> Способ утилизация отходов промышленности при производстве жароупорного бетона .....	175
<i>Сидорова А.Ю.</i> Зарубежный опыт строительства малого грунтозасыпного арочного моста с применением композитных материалов .....	176
<i>Скоркин М.Е., Рябов Г.Г., Рябов Р.Г.</i> Высокопрочный модифицированный мелкозернистый бетон для транспортного строительства.....	178
<i>Слесарев П.В.</i> Определение размеров поперечного сечения стержня ЛСТК, соответствующих пограничному состоянию наступления локальной потери устойчивости .....	179
<i>Спасская М.В., Трещёв А.А.</i> Влияние температурного воздействия на НДС выпуклой пологой оболочки из ортотропного разносопротивляющегося материала.....	180
<i>Сурнин А.А., Сурнина Е.К., Морзун В.А.</i> Особенности определения устойчивости конструкций стоек опалубки .....	182
<i>Сурнин А.А., Сурнина Е.К., Сабаев Р.М.</i> Расчеты надежности линейных сооружений .....	183
<i>Сурнин А.А., Сурнина Е.К., Сабаев Р.М.</i> Основные определяющие факторы промышленной безопасности линейных сооружений .....	184
<i>Тарасов А.А., Черных В.К., Раткин В.В.</i> Разрушения железобетонных мостов под действием хлоридов.....	185
<i>Теличко В.Г., Ходорович П.Ю.</i> Применение модифицированного кэ для расчета дорожных одежд .....	187
<i>Теличко Г.Н.</i> Об интерпретации результатов параметрического решения задач строительной механики, полученных в среде САПР .....	188
<i>Тихонов А.Д., Рябов Г.Г.</i> Разработка и исследование состава тяжелого бетона с применением добавки на основе углеродосодержащего отхода....	190

<i>Трещёв А.А., Захарова И.А.</i> Потенциал деформаций для ортотропных материалов, чувствительных к виду напряженного состояния.....	191
<i>Трещёв А.А., Захарова И.А., Злобин С.Ф.</i> Деформирование пологой сферической оболочки из материалов, свойства которых зависят от вида напряженного состояния при ползучести.....	193
<i>Трещёв А.А., Неделин А.В.</i> Трещины продольного сдвига в ортотропных материалах с нелинейно меняющимися свойствами, находящихся в условиях плоского напряженного состояния .....	194
<i>Трещёв А.А., Ромашина А.В.</i> Плоское напряженное состояние для пластинки с двумя эллиптическими отверстиями, ориентированными под углом 45°, выполненной из ортотропных материалов .....	195
<i>Трещёв А.А., Башкатов А.В., Теличко В.Г.</i> Анализ результатов расчета НДС плит с учетом деградации защитного полимербетонного слоя под диффузионным воздействием ионов хлора.....	196
<i>Трещёв А.А., Державина, А.А.</i> Разрешающие дифференциальные уравнения для ортотропных пластин средней толщины из нелинейных разносопротивляющихся материалов при малых прогибах .....	198
<i>Трещёв А.А., Ромашина А.В.</i> НДС пластины с эллиптическим отверстием из ортотропного разносопротивляющегося материала.....	199
<i>Трещёв А.А., Спасская М.В.</i> Подход к решению несвязанной термоупругой задачи для пологой сферической оболочки из анизотропных разносопротивляющихся материалов.....	200
<i>Трищенко И.В., Каклюгин А.В., Чижова Я.С.</i> Гипсополистиролбетонные стеновые камни .....	201
<i>Трофимов В.И., Акушко А.С., Михайлов А.И.</i> Совершенствование конструкций водопропускных сооружений для дорожного строительства в арктических зонах.....	203

<i>Трофимов В.И., Михайлов А.И., Акушко А.С.</i> Использование полимерной фибры с повышенной анкерующей способностью для дорожного и аэродромного строительства в арктических зонах .....	205
<i>Tutyshkin N.D., Müller W.H., Wille R.</i> Analysis of processes with axisymmetric plastic flow of mftals.....	206
<i>Федоров М.В., Омелина А.А.</i> Оценка систем внешнего армирования строительных конструкций композиционными материалами .....	212
<i>Федоров М.В., Снарский С.В.</i> Мониторинг причин фильтрации воды по поверхности стен подвала в коттеджном строительстве.....	214
<i>Федоров М.В., Бондаренко Е.Р.</i> Защита от электрокоррозии фундаментов промышленных предприятий.....	215
<i>Федоров М.В., Казаков Д.И.</i> Оценка точности модели переменного нагружения тонкой пластинки.....	216
<i>Федоров М.В., Пуд М.Г.</i> К расчету прямоугольной пластинки под действием равномерно распределенной нагрузки.....	217
<i>Федоров М.В., Рыбалка А.С.</i> Оптимизация прогноза долговечности битумных кровель с учетом планирования эксперимента .....	218
<i>Хабитова Р.Р., Яшина А.С., Егорова В.Е.</i> Применение термопанелей в строительстве .....	219
<i>Ходорович П.Ю.</i> Плоское напряженное состояние толстостенного кольца из разномодульного изотропного материала .....	221
<i>Цуканов А.А., Нехаев Г.А.</i> Влияние ширины полок профиля на несущую способность балок из профилей ЛСТК .....	222
<i>Цуканов А.А., Теличко В.Г.</i> О расчёте зданий из монолитного железобетона плоскими конечными элементами в программе MATLAB .....	224

<i>Черных В.К.</i> Агрессивные среды в промышленности и их влияние на строительные стали .....	225
<i>Черных В.К.</i> Воздействие агрессивной среды на металлические колонны промышленных объектов .....	226
<i>Черных В.К., Трибунский М.М.</i> Пролетное строение моста из старогородных труб .....	227
<i>Черняев А.А.</i> О выборе рациональных силовых схем пластинчато-стержневых тонкостенных конструкций путем геометрического моделирования формы .....	229
<i>Чигинский Д.С.</i> Информационное моделирование сооружений при обследовании и усилении .....	230
<i>Чигинский Д.С.</i> О расчёте каркаса большепролётного здания .....	231
<i>Чигинский Д.С., Шерешевский М.Б.</i> О расчёте несъёмной опалубки из стеклопластиков .....	233
<i>Шагивалеев К.Ф., Сурнина Е.К., Нурматова К.Я.</i> Расчет замкнутой цилиндрической оболочки при действии сосредоточенной нагрузки .....	234
<i>Шагивалеев К.Ф., Сурнина Е.К., Нурматова К.Я.</i> Система из двух оболочек с разными геометрическими параметрами .....	235
<i>Шагивалеев К.Ф., Сурнина Е.К., Сухушина Е.Е.</i> Пространственная система из двух оболочек с двумя промежуточными связями .....	236
<i>Шварц А.Ю., Овчинников И.И., Нигаматова О.И.</i> Программное обеспечение оценки технического состояния мостовых сооружений .....	237
<i>Ярош Я.В., Рябов Г.Г.</i> Разработка состава композиционной керамики с применением бытовых отходов .....	238

Научное издание

Сборник материалов XVII Международной  
научно-технической конференции  
«Актуальные проблемы строительства,  
строительной индустрии и промышленности»  
(28-30 июня 2016 г.)

Авторское редактирование

Изд. лиц. ЛР № 020300 от 12.02.97. Подписано в печать 01.07.16

Формат бумаги 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная

Усл. печ. л 14,8. Уч.-изд. л. 12,7

Тираж 100 экз. Заказ №

Тульский государственный университет

300012, г. Тула, просп. Ленина, 92

Отпечатано в Издательстве ТулГУ

300012, г. Тула, Пр. Ленина, 95