

ОБ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГИБРИДНЫХ БРУСЬЕВ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ

Ю. В. Немировский, д-р физ.-мат. наук, профессор, (ИТПМ СО РАН, г. Новосибирск), **А.И. Болтаев**, аспирант (ИТПМ СО РАН, г. Новосибирск)

Разработана модель деформирования при сложном и плоском изгибе гибридных деревянных брусьев. Под гибридными понимаются брусья, образованные путём жёсткого соединения (склеивания) по определённым контактным поверхностям набора брусьев различных форм сечений и разных пород деревьев. В рассматриваемой модели учитывается физическая нелинейность диаграмм деформирования древесины, а также разное сопротивление растяжению и сжатию.

На основе данной модели проведены расчёты гибридных деревянных брусьев при различных условиях закрепления и различных силовых нагрузках. Результаты расчётов показали экономическую эффективность гибридных брусьев по сравнению с брусьями, выполненными из одной породы древесины. Сравнение проводилось при одинаковой несущей способности или одинаковой предельной податливости сравниваемых конструкций.

О НЕКОТОРЫХ ПРОБЛЕМАХ ПОСТРОЕНИЯ ДИАГРАММ ДЕФОРМИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ю. В. Немировский, д-р физ.-мат. наук, профессор, (ИТПМ СО РАН, г. Новосибирск), **А.И. Болтаев**, аспирант (ИТПМ СО РАН, г. Новосибирск)

Развитие диаграммных методов расчёта строительных конструкций связано с получением аналитических зависимостей между напряжениями и деформациями по данным опытных испытаний.

До недавнего времени основной упор в экспериментальных работах был направлен на определение отдельных механических характеристик материалов - модулей упругости при растяжении и сжатии (E^{\pm}), пределов прочности (σ_*^{\pm}), предельных относительных деформаций (ϵ_*^{\pm}) и др. А также выявление зависимости этих характеристик от различных факторов - температуры, скорости нагружения, влажности и т.п. Имеющиеся же данные по диаграммам деформирования страдают следующими недостатками:

1. Большинство испытаний проводится без какой либо статистической обработки. Не вычисляются статистические характеристики, данные не проверяются на соответствие предполагаемому закону распределения и т.д.
2. Имеется всё ещё мало данных по влиянию на диаграммы деформирования таких факторов как: скорость нагружения, температура, влажность и др.
3. В зависимости от имеющихся у экспериментатора испытательных машин проводятся испытания с жёсткими и мягкими режимами нагружения. При этом в случае жёсткого нагружения возможно получение ниспадающей ветви диаграммы деформирования, как при растяжении, так и при сжатии. В случае мягкого нагружения ниспадающей ветви не возникает. Среди исследователей до сих пор нет единого мнения является ли ниспадающая ветвь действительным свойством материала или дина-

мической характеристикой системы образец - испытательная машина.

4. В процессе описания экспериментов и полученных данных очень часто отсутствует чёткое описание смысла характеристик приводимых значений, способов борьбы с различными возможными видами погрешностей и способов определения напряженно-деформированного состояния. Так, например, при испытаниях на трёхточечный изгиб явно физически нелинейных материалов используются зависимости, полученные для физически линейных материалов.

Один из способов решения первых двух проблем заключается в представлении коэффициентов диаграмм деформирования через известные и хорошо изученные механические характеристики - $E^\pm, \sigma_*^\pm, \varepsilon_*^\pm$. Иначе говоря, связь между напряжениями и деформациями будет иметь вид:

$$\begin{aligned} \sigma &= f(\varepsilon, E^\pm, \sigma_*^\pm, \varepsilon_*^\pm) & \varepsilon_*^- \leq \varepsilon \leq \varepsilon_*^+, \\ \varepsilon &= \varphi(\sigma, E^\pm, \sigma_*^\pm, \varepsilon_*^\pm) & \sigma_*^- \leq \sigma \leq \sigma_*^+. \end{aligned}$$

Тогда зная статистические характеристики величин $E^\pm, \sigma_*^\pm, \varepsilon_*^\pm$ и зависимость их от внешних факторов, можно автоматически учитывать их в функциях диаграмм деформирования.

Ясность же в физический смысл ниспадающего участка диаграммы деформирования можно внести если рассматривать её как попытку перехода от локального критерия прочности материала к глобальному критерию прочности конструкции.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИКИ КИРПИЧНОЙ КЛАДКИ С УЧЕТОМ ВЫСОКОЙ СТЕПЕНИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ

В.В. Адищев, д-р техн. наук, профессор, **И.В. Кучеренко**, канд. техн. наук, доцент, **М.С. Тетерина**, ст. преподаватель (НГАСУ (Сибстрин), г. Новосибирск)

Механические свойства кирпичной кладки складываются из большого числа различных факторов: характеристик кирпича и раствора, их удельного объемного содержания, взаимного расположения и качества адгезионных связей. При расчете каменных конструкций невозможно учитывать в полной мере взаимодействие структурных компонент, поэтому возникает необходимость разработки математических моделей неоднородных материалов и определения их жесткостных характеристик.

В работах [1], [2] на основе ранее разработанных математических моделей были получены обобщенные жесткостные характеристики кирпичной кладки как анизотропного материала в детерминированной постановке.

Важной особенностью кирпичной кладки является высокая степень неопределенности механических свойств кирпича и раствора. На основе разработанных детерминистических моделей строятся модели, в которых исходные данные описываются как нечеткие величины. Все расчетные параметры определяются функциями принадлежности, дающими необходимые оценки типа интервальных, путём выявления значимых носителей функций принадлежности.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-08-00975 А).

ЛИТЕРАТУРА

1. Адищев В.В. Моделирование физических характеристик кирпичных кладок / Адищев В.В., Кучеренко И.В., Грачева М.С. Известия высших учебных заведений. Строительство. 2013. № 2-3 (650-651). С. 94-102.
2. Адищев В.В. Определение объемных жесткостных характеристик кирпичной кладки / Адищев В.В., Грачева М.С., Кучеренко И.В. Проблемы оптимального проектирования сооружений доклады 4-ой Всероссийской конференции. Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), Сибирское отделение Российской академии архитектуры и строительных наук. 2017. С. 8-15.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИКИ КИРПИЧНОЙ КЛАДКИ С УЧЕТОМ ВЫСОКОЙ СТЕПЕНИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ

В.В. Адищев, д-р техн. наук, профессор, **И.В. Кучеренко**, канд. техн. наук, доцент, **М.С. Тетерина**, ст. преподаватель (НГАСУ (Сибстрин), г. Новосибирск)

Механические свойства кирпичной кладки складываются из большого числа различных факторов: характеристик кирпича и раствора, их удельного объемного содержания, взаимного расположения и качества адгезионных связей. При расчете каменных конструкций невозможно учитывать в полной мере взаимодействие структурных компонент, поэтому возникает необходимость разработки математических моделей неоднородных материалов и определения их жесткостных характеристик.

В работах [1], [2] на основе ранее разработанных математических моделей были получены обобщенные жесткостные характеристики кирпичной кладки как анизотропного материала в детерминированной постановке.

Важной особенностью кирпичной кладки является высокая степень неопределенности механических свойств кирпича и раствора. На основе разработанных детерминистических моделей строятся модели, в которых исходные данные описываются как нечеткие величины. Все расчетные параметры определяются функциями принадлежности, дающими необходимые оценки типа интервальных, путём выявления значимых носителей функций принадлежности.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-08-00975 А).

ЛИТЕРАТУРА

1. Адищев В.В. Моделирование физических характеристик кирпичных кладок / Адищев В.В., Кучеренко И.В., Грачева М.С. Известия высших учебных заведений. Строительство. 2013. № 2-3 (650-651). С. 94-102.
2. Адищев В.В. Определение объемных жесткостных характеристик кирпичной кладки / Адищев В.В., Грачева М.С., Кучеренко И.В. Проблемы оптимального проектирования сооружений доклады 4-ой Всероссийской конференции. Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), Сибирское отделение Российской академии архитектуры и строительных наук. 2017. С. 8-15.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОГИБОВ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК С УЧЕТОМ ФИЗИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ И НАЛИЧИЯ ТРЕЩИН

В.В. Адищев, д-р техн. наук, профессор,
В.В. Мальцев, аспирант, **В.В. Роот**, ст. преподаватель
(НГАСУ (Сибстрин), г. Новосибирск)

Разработан численно-аналитический метод определения прогибов железобетонной балки с применением реальной нелинейной диаграммы деформирования бетона. Метод основан на едином подходе к построению аппроксимаций диаграмм деформирования бетона и арматуры, аппроксимаций функции кривизны, функции распределения высоты сжатой зоны. Показано, что такие характеристики напряженно-деформированного состояния, как высота сжатой зоны бетона, кривизна нейтральной линии существенно зависят от координаты по длине балки.

Предложена модифицированная формула типа формулы Мора для определения прогибов железобетонных балок без трещин и с трещинами.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-08-00975 А).

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИАГРАММ ДЕФОРМИРОВАНИЯ БЕТОНА ДЛЯ РАСЧЕТА ВНЕЦЕНТРЕННО СЖАТОЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ КОЛОННЫ

В.В. Адищев, д-р техн. наук, профессор,
А.И. ИВАНОВ, аспирант, **О.В. ПЕТРОВА**, ассистент
(НГАСУ (Сибстрин), г. Новосибирск)

Построена система уравнений для внецентренно сжатого железобетонного элемента. Проведены расчеты с применением нелинейных сплайн-аппроксимаций диаграмм деформирования бетона и арматуры. Обнаружен эффект перераспределения деформаций и напряжений, в результате которого стержни при малых эксцентриситетах разрушались по растянутой грани, будучи изначально сжатыми. При некотором значении нагрузки деформации менее сжатой грани достигают нулевого значения, а затем становятся положительными. Парадоксальный результат объясняется следующим образом. В силу нелинейного характера деформирования бетона происходит перераспределение напряжений в расчетном сечении. Результирующая сила и момент, соответствующие действующим в сечении напряжениям, становятся статически эквивалентными действию нагрузки с эксцентриситетом, увеличенным по сравнению с расчетным.

Расчеты, выполненные с использованием нелинейной диаграммы деформирования бетона в виде сплайн-аппроксимаций, сравниваются с расчетами, выполненными с использованием билинейной диаграммы. Доказана необходимость использования нелинейных диаграмм деформирования бетона в расчетах напряженно-деформированного состояния в железобетонных колоннах.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-08-00975 А).

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УДАРНЫХ ВОЛН В ТОНКИХ ПЛАСТИНАХ

С.И. Герасимов, д-р техн. наук, профессор, Т.В. Сыч, канд. техн. наук (СГУПС, г. Новосибирск)

Анализируется распространение упругих волн в пластинах при ударном поперечном воздействии с использованием конечно-элементного моделирования и акустико-эмиссионной цифровой системы СЦАД 16.03. Приводятся экспериментальные данные, зарегистрированные при различной ориентации источника Су-Нильсена, расположенного произвольно относительно приемников акустических сигналов.

Акустические методы широко применяются при техническом контроле различных объектов, включая элементы строительных конструкций. В настоящее время метод акустической эмиссии позволяет контролировать объекты сложной формы, а в будущем – проводить мониторинг и оценку в реальном времени. При этом при разработке систем акустического контроля важно обеспечить повышение точности определения локализации источника сигнала акустической эмиссии. Предлагаемый в данной работе численный метод может служить инструментом для оценки времени прихода сигнала на приемник акустического сигнала. Тем самым обеспечивается точная оценка времени распространения упругих волн в объекте.

Результаты численного и физического эксперимента сравниваются для стальной пластины с размерами $1\text{м} \times 1\text{м}$ и толщиной 6 мм.

По экспериментальным данным установлено отсутствие влияния направления удара от источника Су-

Нильсена на результаты фиксации времен прихода упругой волны.

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ВЕРОЯТНОСТНЫХ СВОЙСТВ ОБОБЩЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ГАСИТЕЛЯМИ КОЛЕБАНИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ОСНОВНЫХ НЕИЗВЕСТНЫХ И МАСС

Ю.А. Гербер, аспирант, ст. преп., **В.Г. Себешев**, канд. техн. наук, профессор (НГАСУ (Сибстрин), г. Новосибирск)

В расчетах надежности динамически нагруженных систем с конечным числом степеней свободы масс, защищенных динамическими гасителями колебаний (ДГК), одним из принципиально важных вопросов является описание вероятностных характеристик системы и назначение параметров гасителя. Для оценки влияния ДГК на надежность при варьировании параметров гасителя требуется выполнять многократные, особенно при использовании метода статистического моделирования, решения системы уравнений движения, что для сложных систем с большим числом степеней свободы масс создает вычислительные проблемы. Рациональный подход состоит в приведении динамической системы к расчетной модели с меньшим числом степеней свободы масс и расчетных параметров, различными методами преобразований с учетом соответствующих критериев эквивалентности. Это позволяет значительно упростить процесс оценки влияния стохастических характеристик ДГК на надежность системы и эффективность гасителя. Кроме того, достаточно корректная модель с небольшим числом параметров позволяет получить аналитические решения, важные для верификации численных результатов.

Разработан алгоритм определения вероятностных характеристик обобщенных параметров системы, полученных различными методами преобразования. Рассмотрены модельные задачи расчетов надежности систем с ДГК.

Выполнено сравнение результатов по упрощенным и исходным схемам.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ РАБОТЫ КОМПОЗИТНОЙ ТРУБОБЕТОННОЙ СТОЙКИ

Г.Л. Горынин, д-р физ.-мат. наук, профессор (СурГУ, г. Сургут),
В.А. Снигирева, аспирант (СурГУ, г. Сургут)

В работе [1] установлено, что при работе традиционной трубобетонной стойки под нагрузкой происходит отрыв бетонного сердечника от стальной трубы, а значит, совместная работа бетона и стали не реализуется, что является неизлечимым недостатком традиционных трубобетонных конструкций. При работе бетонной стойки в стальной обойме под нагрузкой на бетон со стороны стальной трубы действует радиальное реактивное давление обжатия, бетон находится в состоянии всестороннего сжатия, в связи с чем возрастает его прочность. Однако, стальная обойма при работе трубобетонной конструкции такого типа оказывается недостаточно загруженной, так как исключается ее работа в продольном направлении. В связи с этим, предлагается использовать композитную обойму взамен стальной, которая обладает достаточно высокими прочностными характеристиками в поперечном направлении и незначительными в продольном. Примером такой обоймы является базальтопластиковая труба.

В данной работе используется пространственный закон напряженно-деформированного материала композитной обоймы. Представлена формула реактивного бокового обжатия бетона композитной обоймой и получено аналитическое решение задачи о сжатии бетонной стойки в композитной обойме с учетом нелинейного поведения бетона. Представлено сравнение повышения несущей способности бетонной стойки в стальной и в композитной обоймах. Таким образом, применение композитных обойм в составе трубобетонных конструкций является перспективным направлением дальнейших исследований.

Список литературы.

1. Горынин Г.Л., Снигирева В.А. Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния трубобетонных конструкций с учетом нелинейного поведения бетона // Известия вузов. Строительство. – 2017. – № 4 (700) – С. 17–29.

ОПТИМИЗАЦИЯ ДИССИПАТИВНЫХ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ ПРИ ДЕЙСТВИИ СТАТИЧЕСКИХ И ПЕРИОДИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСНЫХ НАГРУЗОК

Г.И. Гребенюк, д.т.н. профессор, М.С. Вешкин ст. преподаватель (НГАСУ (Сибстрин, г. Новосибирск))

Проведен анализ влияния внутреннего трения в материале при расчете стержневых систем на статическую и периодическую импульсную нагрузки. Поставлена и решена задача расчета и оптимизации стальной рамы с учетом внутреннего трения. Проведено сравнение полученных результатов с аналогичными расчетами без учета внутреннего трения.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕДЕЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СОЕДИНЕНИЙ СТЕРЖНЕВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДЮБЕЛЕЙ, ШАЙБ И НАКЛАДОК

**Г.И. Гребенюк, д.т.н. профессор, В.В. Пуртов, доцент,
А.В. Павлик, ст. преподаватель, Н.И. Кулешова, ма-
гистр (НГАСУ (Сибстрин, г. Новосибирск)**

Разработан новый алгоритм и программа выявления схемы предельного равновесия соединения растянутых деревянных стержневых элементов с использованием дюбеля, накладок и зубчатых шайб. Решены задачи определения предельной нагрузки при различных параметрах соединения.

АЛГОРИТМ И ПРОГРАММА РАСЧЕТА ПЛОСКИХ И ПРОСТРАНСТВЕННЫХ РАМ ИЗ ГНУТЫХ ТОН- КОСТЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

**Г.И. Гребенюк, д.т.н. профессор, Яньков Е.В., доцент,
Гербер А.А., ассистент, Бродеско М.П., магистрант
(НГАСУ (Сибстрин, г. Новосибирск), Гаврилов А.А., до-
цент, (ОГУ, г. Оренбург)**

Разработан алгоритм формирования матрицы жесткости стержневого тонкостенного элемента с учетом дополнительных степеней свободы в узлах, учитывающих возможность депланации узловых сечений. Разработан программный модуль, позволяющий рассчитывать плоские и пространственные рамные конструкции из тонкостенных стержневых элементов открытого профиля. Выполнены тестовые расчеты.

РАЗРАБОТКА И ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ НЕЛИНЕЙНОГО РАСЧЕТА МАЧТОВОЙ КОНСТРУКЦИИ С РАСТЯЖКАМИ

**Г.И. Гребенюк, д.т.н. профессор, Яньков Е.В., к.т.н.,
доцент, Целикова В.С., магистрант (НГАСУ (Сибст-
рин, г. Новосибирск)**

Разработаны алгоритмы расчета мачтовых конструкций круглого и квадратного кольцевых сечений с растяжками. При разработке алгоритмов расчета использованы методики точного и приближенного решения уравнения состояния при продольно-поперечном изгибе мачтовой конструкции, а также алгоритм нелинейного расчета на основе последовательного приращения поперечной (ветровой) нагрузки.

ЗАДАЧИ ДЛЯ ТЕЛ С УГЛОВЫМИ ТОЧКАМИ

В.Е.Миренков, д-р техн. наук, профессор, гл. н.с. ИГД СО РАН (Новосибирск), **В.А.Шутов**, д-р техн. наук, профессор НГУАДИ (Новосибирск), **В.А.Полуэктов**, канд. техн. наук, доцент НГУАДИ

В настоящее время теория разрушения связана с коэффициентами интенсивности напряжений в угловых точках. Коэффициент интенсивности напряжений – это числовой коэффициент умноженный на бесконечность (неопределенность) или, все равно, тот же самый коэффициент деленный на ноль (на ноль делить нельзя). Все известные решения с бесконечными значениями напряжений в ряде точек, как считают их авторы, есть решения упругих задач. Но это не так, бесконечность напряжений и теория упругости несовместимы. Иногда, понимая это, авторы говорят, что нужно отступить от угловой точки и там уже точно упругость. Пусть несколько отступили от угловой точки, но нужно заменить отброшенную часть реакциями. Трудно найти конкретную задачу, для которой граничные условия эквивалентны реакциям. При этом пропадают коэффициенты интенсивности и теория разрушения (в частности). В докладе проведен анализ таких решений и показано, что это фундаментальные решения теории упругости, но использовать их для моделирования частных задач теории упругости неперспективно.

ВЛИЯНИЕ ТРЕЩИНЫ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ БАЛКИ

А.А. Красновский, канд. физ.-мат. наук, доцент, (НГАСУ (Сибстрин), г. Новосибирск, ИГД СО РАН, г. Новосибирск)

В элементах строительных конструкций под нагрузкой нередко возникают трещины, которые приводят к снижению их несущей способности, работоспособности и надежности. Нормативные документы по расчету, например, железобетонных конструкций учитывают влияние трещин на работоспособность несущих элементов, ограничивая ширину их раскрытия. Однако, даже при небольшой ширине раскрытия трещины, признаком опасного состояния железобетонной конструкции может являться длина трещины. Трещины уменьшают высоту сжатой зоны балки, что приводит к увеличению напряжений в материале сжатой зоны балки, к снижению несущей способности в целом и даже к разрушению балки.

В данной работе в рамках плоской задачи теории упругости рассмотрен метод расчета напряженно-деформированного состояния балки с трещиной, основанный на системе сингулярных интегральных уравнений, связывающих граничные значения всех компонент напряжений и смещений. Выписаны соотношения для нормальных и касательных компонент смещений и напряжений на всей границе балки, включая линию продолжения трещины. Построен алгоритм и выполнена численная реализация полученных уравнений, позволяющих провести полный анализ прочности и жесткости балки, что дает возможность принять решение о дальнейшей эксплуатации дан-

ной конструкции или обоснованно выбрать способ ее усиления.

ПРОБЛЕМЫ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ И ТЕРМОПРОЧНОСТИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Ю.В. Немировский, д-р физ-мат. наук, профессор (ИТПМ, г. Новосибирск), А.С. Мозгова, канд. экон. наук, доцент (ЧувГУ, г. Чебоксары)

Наиболее ответственным и основным видом конструкции тепловых сетей являются трубопроводы. Они представляют собой сложные сооружения, состоящие из соединенных между собой труб, тепловой изоляции, компенсаторов, подвижных и неподвижных опор, запорной и регулирующей арматуры и др. Многолетний отечественный и зарубежный опыт эксплуатации тепловых сетей указывает на их недолговечность. Основным видом повреждений в тепловых сетях является коррозия наружной и внутренней поверхности труб, приводящая к образованию в них сквозных свищей. Такие повреждения связаны с большими потерями сетевой воды и теплоты, дополнительными затратами материальных и трудовых ресурсов и т. п. На данный момент для магистральных и квартальных тепловых сетей используются исключительно стальные трубопроводы круглого сечения.

Одним из основных показателей энергетической эффективности эксплуатации тепловых сетей являются тепловые потери, которые включаются в тарифы на тепловую энергию. Определение фактических тепловых потерь является важной практической задачей. На основании законов теплопроводности определив температурное поле в трубопроводе можно определить уровень тепловых потерь на участке трубопровода тепловых сетей с многослойной тепловой изоляцией. Некоторые слои могут быть изотропными, некоторые – анизотропными. Решение задачи неста-

ционарной теплопроводности многослойного трубопровода, применительно к осесимметричному случаю, состоящего из m слоев, разнородных по тепловым свойствам, при совершенном контакте на поверхности раздела слоев, сводится к решению системы уравнений:

НЕКОТОРЫЕ ЗАДАЧИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МНОГОСЛОЙНЫХ КОМПОЗИТНЫХ ПЛА- СТИН

Ю. В. Немировский, д.ф.-м.н., профессор (Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича СО РАН, г. Новосибирск), **А.В. Станиславович** (НГТУ, г. Новосибирск)

Представлена математическая модель теплопроводности многослойных плоских, круглых и кольцевых композитных пластин. Слои могут быть набраны как из изотропных, так и из ортотропных материалов, таких как армированные волокнами либо частицами композиционные материалы, сотовые структуры с различными параметрами армирования. Для круглых и кольцевых пластин рассматривается армирование в окружном и радиальном направлениях.

Предложена методика решения нестационарной задачи теплопроводности для таких многослойных пластин. Методика решения основана на сведении нестационарной задачи к стационарной с помощью преобразования Лапласа. Решение полученной стационарной задачи в изображениях строится в виде ряда методом Бубнова-Галеркина. Для случая тонких пластин трехмерная задача сводится к двумерной путем аппроксимации распределения температуры по толщине пластинки полиномом второй степени. Решен ряд модельных задач.

ПРЕДЕЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

Ю.В. Немировский, д-р физ.-мат. наук, профессор (ИТПМ СО РАН, г. Новосибирск), С.В. Тихонов, канд. физ.-мат. наук (ЧувГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары)

Увеличение количества транспорта, преобладание большегрузного транспорта, высокие требования к безопасности на дорогах приводят к созданию все более мощных дорожных конструкций. Основными требованиями к дорожным конструкциям относится способность сохранять ровность дорожного покрытия и сплошность своей поверхности под действием нагрузок от многократно движущегося транспорта. На конструкцию действуют поперечные нагрузки, вызванные давлением колес проезжающего транспорта, так и продольные, вызванные, например, торможением автотранспорта. Дорожные конструкции обычно являются многослойными, причем верхние слои непосредственно воспринимают воздействие автотранспорта. В данной работе рассмотрен случай трехслойной конструкции, где первый слой представляет собой асфальт, второй - армированный бетон, третий слой - менее прочный бетон. Бетонные конструкции могут быть армированы как железной арматурой, так и стеклопластиковой, базальтопластиковой или фибропластиковой композитной арматурой.

Предполагается, что материал каждого слоя подчиняется модели жестко-пластического тела (классическая идеальная модель, модель с линейным упрочнением), причем пределы текучести на сжатие и растяжение различные. В качестве критерия предельно допустимого состояния системы предлагается использовать критерий предельно допустимых деформаций

О СВОЙСТВАХ ФУНКЦИИ ВЕРОЯТНОСТИ ОТКАЗА В РАСЧЕТАХ НАДЕЖНОСТИ СООРУЖЕНИЙ И КОНСТРУКЦИЙ С РЕГУЛИРОВАНИЕМ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

В.Г. Себешев, канд. техн. наук, профессор, **А.А. Жбанов**, студент, **А.А. Шестаков**, студент (НГАСУ (Сибстрин), г. Новосибирск)

В современных условиях очевидна актуальность оценки надежности сооружений и конструкций, что подтверждается национальными и межгосударственными стандартами и нормами, устанавливающими общие принципы обеспечения надежности строительных систем. Учет требований по необходимому уровню надежности особенно важен при проектировании рациональных и оптимальных строительных систем, так как удаление или перераспределение материала в целях экономии ресурсов может неблагоприятно сказываться на показателях надежности. Действенным средством получения выгодных по расходу материала конструктивных решений является регулирование напряженно-деформированного состояния сооружений, их частей и конструкций. При этом различным комбинациям регуляторов соответствуют разные показатели ресурсоемкости и надежности. Решению практических задач вероятностных расчетов и оценки надежности строительных систем может способствовать знание свойств функции вероятности отказа в зависимости от используемых регуляторов.

Выполнен анализ поверхности функции вероятности отказа $P_f(V)$ в n_V+1 – мерном пространстве (n_V – количество регуляторов), показан ее кусочно-нелинейный характер, обосновано наличие ребер и вершин в связи с изменениями регуляторов и учетом расчетных условий работоспособности. Оценены варианты $P_f(V)$ в различных постанов-

ках (поверочной/прямой, проектной/обратной, оптимизационной) задач расчета надежности.

Описанные свойства функции вероятности отказа проиллюстрированы результатами вероятностных расчетов и оценки надежности балочных конструкций с нелинейным регулированием силовых факторов, по критерию прочности, с применением метода статистической линеаризации. Применение приема обезразмеривания случайных величин позволило упростить расчетные процедуры.

Исследовано влияние на вероятность отказа характеристик изменчивости (коэффициентов вариации) расчетных параметров системы, в особенности регуляторов. Использовано представление результатов расчетов надежности с применением комплексного показателя, учитывающего изменения вероятность отказа и ресурсоемкости в зависимости от регуляторов.

Разработанная методика, алгоритмы и результаты могут быть использованы при проектировании конструкций с заданным уровнем надежности, включая оптимальное проектирование.

ОСОБЕННОСТИ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНСТРУКТИВНО И ГЕОМЕТРИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНО ДЕФОРМИРУЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (ЧАСТЕЙ) СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ И ИХ УЧЕТ В РАСЧЕТАХ НАДЕЖНОСТИ

В.Г. Себешев, канд. техн. наук, профессор, **Г.Е. Ивченко**, студентка, **А.О. Кохан**, студент (НГАСУ (Сибстрин), г. Новосибирск)

В расчетах надежности сооружений и конструкций, элементы или части которых являются нелинейно деформируемыми, принципиально важным становится учет влияния особенностей вероятностных описаний характеристик напряженно-деформированного состояния системы, обусловленных факторами нелинейности.

Выполнено вероятностное решение задачи о нелинейном деформировании системы типа фермы Мизеса, которая может входить в качестве подсистемы (элемента) в сооружение (конструкцию). Рассмотрение некоторого элемента отдельно от всей системы позволяет упростить расчеты с учетом нелинейности, одновременно повышая достоверность полученных результатов оценки надежности системы в целом. Основная цель – получение аналитически и/или численно распределения вероятности обобщенной случайной величины (перемещения), нелинейно зависящего от параметра случайной нагрузки.

С учетом характерных для рассматриваемого объекта видов нелинейностей – конструктивной и геометрической – решены модельные задачи с различными количественными показателями. Получены характерные законы распределения случайных величин, используемые в дальнейшем для определения параметров надежности. Показано, что при определенных соотношениях расчетных параметров пренебрежение эффектами нелинейности может внести существенные погрешности в оценку надежности.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРСТИК ВЗАИМНОЙ КОРРЕЛЯЦИИ РАСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ВЕРОЯТНОСТНЫХ РАСЧЕТОВ И ОЦЕНОК НАДЕЖНОСТИ

В.Г. Себешев, канд. техн. наук, профессор, И. С. Коршунов, студент (НГАСУ (Сибстрин), г. Новосибирск)

В вероятностных расчетах напряженно-деформированного состояния сооружений и конструкций, необходимых для определения показателей надежности, могут одновременно присутствовать случайные параметры, между которыми существуют стохастические связи, численно оцениваемые коэффициентами (индексами) корреляции. Влияние корреляции может быть значительным и должно учитываться в оценках надежности. В ряде случаев между некоторыми параметрами могут существовать зависимости определенного вида, тогда оказывается возможным показатели корреляции находить аналитически. Это позволяет, выполнив предварительные вычислительные процедуры, уменьшить трудоемкость последующих вероятностных расчетов.

Рассмотрена задача отыскания индексов (коэффициентов) парной корреляции случайных расчетных параметров (в общем случае различных по природе) сооружений, конструкций, связи между которыми выражаются явными зависимостями опосредованно через некоторые группы входных случайных величин. Предложена единая методика нахождения индексов корреляции, основанная на приеме обезразмеривания случайных расчетных величин с последующим введением линейных комбинаций коррелирующих параметров и использованием метода статистической линеаризации. Разработан рациональный алгоритм определения характеристик парной корреляции с любым количеством входных параметров, в котором представлены удобные для практических расчетов аналитические выражения индексов корреляции, позволяющие вычислять их значения и оценивать влияние корреляции на показатели надежности системы.

Представлены модельные задачи применения методики в случаях различных по смыслу стохастически зависимых расчетных параметров.

ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ОПИСАНИЯ РАСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ В ЗАДАЧАХ СТАТИКИ И ДИНАМИКИ НЕЛИНЕЙНО ДЕФОРМИРУЕМЫХ СИСТЕМ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ОЦЕНКУ НАДЕЖНОСТИ

В.Г. Себешев, канд. техн. наук, профессор (НГАСУ (Сибстрин), г. Новосибирск)

Вероятностные расчеты характеристик напряженно-деформированного состояния сооружения, конструкции, их элементов и частей, необходимые для определения показателей надежности, требуют использования стохастических описаний расчетных параметров, учитывающих факторы нелинейностей в работе системы. В разных задачах статики и динамики деформируемых систем могут проявляться эффекты нелинейности, различные по сущности, характеру и степени развития.

На основе укрупненной классификации нелинейностей по виду (мягкая, жесткая, комбинированная) исследованы особенности распределения вероятностей случайных расчетных параметров, в том числе взаимосвязанных обобщенных воздействия и деформации/перемещения. Предложена методика аналитического и численного определения плотностей распределения и числовых характеристик расчетных случайных величин при нелинейных зависимостях между ними. Получены качественные и количественные оценки распределений вероятностей при варьировании показателей нелинейностей. Показано, что функции плотностей распределения существенно различны в случаях разных видов и степени проявления нелинейностей, приведены результаты решения модельных задач.

С применением полиномиальной аппроксимации основных расчетных зависимостей даны критерии оценки влияния нелинейностей в расчетах надежности статически и динамически деформируемых систем.

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТАХ ВЕДЕНИЯ ГОРНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

В.М. Серяков, д-р техн. наук, профессор (ИГД СО РАН, НГАСУ (Сибстрин), г. Новосибирск)

Выработки для размещения подземных сооружений на больших глубинах, как правило, имеют значительные поперечные сечения и рассчитаны на длительный период работы. В таких условиях особое внимание уделяется оценке напряженно-деформированного состояния элементов крепи и окружающего массива с целью сохранения устойчивости выработанного пространства. Раскрытие поперечных сечений выработок большой площади происходит в несколько этапов. Практическое применение получил ряд схем отработки: поэтапное раскрытие всего сечения выработки, начиная со свода, горизонтальными уступами; создание по контуру выработки, начиная с ее бортов, выработок небольших размеров с одновременным формированием в них элементов крепи и последующей отработкой сечения основной выработки.

Автором разработаны методы и алгоритмы, позволяющие рассчитать процесс перераспределения напряжений в породном массиве и в элементах, возводимых в выработанном пространстве сооружений, с учетом последовательности ведения горных работ. Эти алгоритмы и программы использованы для оценки напряженного состояния массива горных пород и элементов крепи при различных порядках раскрытия поперечного сечения выработки. Показано, что последовательность раскрытия поперечного сечения оказывает значительное влияние на напряженное состояние крепи. Установлено, что при поэтапном возведении элементов крепи в их объеме формируются зоны растягивающих напряжений, которые достигают пределов прочности материала на промежуточных этапах ведения горных работ.

МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ДЕГАЗАЦИОННОГО ТРУБОПРОВОДА ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ ТРУБ ПРОИЗВОДСТВА ЗАО НПП «АЛТИК»

С.Г. Чапаева, к.т.н. (НГАСУ (Сибстрин), г. Новосибирск), Д.Б. Чапаев, к.т.н., доцент (НГАСУ (Сибстрин), г. Новосибирск)

В настоящее время широко применяются композитные конструкционные материалы, среди которых можно выделить стеклопластик.

Применение стеклопластиковых труб для дегазации шахт, по сравнению с традиционными металлическими, имеет целый ряд преимуществ: повышение производительности труда монтажников, т.к. стеклопластиковые трубы в 3-4 раза легче стальных; отсутствие коррозии; стойкость к агрессивным средам, длительный срок эксплуатации (до 25 лет) и т.д.

В настоящее время актуальным является вопрос о соответствии прочностных характеристик стеклопластиковых дегазационных труб требованиям.

В программном комплексе Лира-САПР 2015 Academic Set смоделирована работа дегазационного трубопровода из стеклопластиковых труб ЗАО НПП «Алтик» с учетом физической нелинейности материала при различных нагрузках, диаметрах, длинах пролетов, углах наклона трубы, с шарнирно-подвижным и шарнирно-неподвижным закреплением опор. В результате механического расчета определены прогибы трубопроводов для нахождения максимально-допустимых расстояний между опорами. В докладе будут приведены некоторые результаты расчета.

ОБ ОДНОЙ МОДЕЛИ РАЗВИТИЯ УСТАЛОСТНОЙ ТРЕЩИНЫ В УПРОЧНЯЮЩИХСЯ ЦИКЛИЧЕСКИ СТАБИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛАХ

А.П. Шабанов, канд. техн. наук, доцент (СГУПС, г. Новосибирск)

Рассматривается образец бесконечных размеров, изготовленный из однородного изотропного материала, имеющего диаграмму растяжения с участком упрочнения, со следующими параметрами: σ_m – предел текучести материала, ε_m – деформация, соответствующая пределу текучести, E – модуль продольной упругости n – параметр, описывающий участок упрочнения ($0 \leq n \leq 1$). Образец имеет центральную трещину длиной 2ℓ , ее вершина – тупая с радиусом кривизны ρ_1 . Перпендикулярно направлению трещины на бесконечности действует нагрузка, циклически изменяющаяся во времени от σ_{min} до σ_{max} . В процессе роста уровня внешней нагрузки развиваются два разнонаправленных процесса: увеличение уровня упругопластических деформаций в вершине дефекта и одновременно увеличение радиуса кривизны вершины трещины, что в свою очередь уменьшает значение упругопластических деформаций. Пока уровень деформаций меньше предельного значения для данного материала, трещина не растет. Если в ходе дальнейшего роста внешней нагрузки деформации в кончике трещины превзойдут предельный уровень, произойдет увеличение радиуса кривизны вершины на $d\ell$ за счет разрушения части материала образца, расположенного перед вершиной трещины. Получена формула скорости роста усталостной трещины на пэрисовском участке:

$$\frac{d\ell}{dN} \approx \rho_1 \frac{1-n}{1+n} \bar{\varepsilon}^{-1}.$$

Здесь: $\bar{\varepsilon} = \varepsilon_n \left[2\sqrt{\ell/\rho_1} ((\sigma_{max} - \sigma_{min})/\sigma_n) \right]^{\frac{1}{n+1}}$. Выразив размах напряжений через размах коэффициента интенсивности ΔK , получаем формулу

Париса в виде:

$$\frac{d\ell}{dN} \approx \rho_1 \frac{1-n}{1+n} \varepsilon_n^2 \left[\frac{2}{\sqrt{\pi \rho_1} \sigma_n} \right]^{\frac{1}{n+1}} \cdot \Delta K^{\frac{1}{n+1}}.$$

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 16-08-00483

КОНТРОЛЬ СТАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ КОМПОЗИЦИОННОГО САМОЛЕТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ И ТЕНЗОМЕТРИИ

Л.Н. Степанова, д-р техн. наук, профессор, начальник сектора, С.И. Кабанов, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, Рамазанов И.С., ведущий инженер (СибНИА, г. Новосибирск), В.В. Чернова, канд. техн. наук, преподаватель (СГУПС, г. Новосибирск)

Достигнутый технологический уровень изготовления композиционных материалов (КМ) на основе углепластиков обеспечивает перспективность их использования в авиационной отрасли. Во ФГУП «СибНИА им.С.А.Чаплыгина» (г. Новосибирск) разработан и изготовлен цельнокомпозитный самолета ТВС– 2ДТС, предназначенный для региональной работы на небольших аэродромах, в том числе, в условиях Севера.

Метод акустической эмиссии (АЭ) позволил выявлять дефекты на ранней стадии развития и определять их местонахождение с одновременной оценкой степени их опасности без вывода конструкции из эксплуатации. Тензометрия обеспечила получение информации о деформации контролируемой зоны в процессе прочностных испытаний. В ходе проведенных испытаний самолета ТВС– 2ДТС использовались микропроцессорная АЭ-система СЦАД-16.10 с «плавающими» порогами селекции и четыре микропроцессорных системы ММТС-64.01 класса точности 0,2. Методом АЭ были обнаружены дефекты, соответствующие разрушениям в области болтов, осуществляющих крепление балки шасси к шпангоуту самолета.

КОНТРОЛЬ РАННЕЙ СТАДИИ РАЗРУШЕНИЯ ОБРАЗЦОВ ИЗ УГЛЕПЛАСТИКА МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

Л.Н. Степанова, д-р техн. наук, профессор, начальник сектора (СибНИА, г. Новосибирск), В.В. Чернова, канд. техн. наук, преподаватель (СГУПС, г. Новосибирск)

Проведены исследования связи сигналов акустической эмиссии (АЭ) с процессом разрушения образцов из углепластика на основе монослоев *Torayca T700* с укладкой [+45/-45/90/0₃/90/-45/+45]. В каждом образце был концентратор напряжения в виде центрального отверстия диаметром $d = 14$ мм. В процессе испытаний информация регистрировалась микропроцессорной АЭ-системой СЦАД-16.10 с «плавающими» порогами селекции (свидетельство *RU.C.27.007.A №40707*). Материал из области локации сигналов АЭ исследовался с использованием растрового электронного микроскопа *CarlZeissEVO 50 XVP*.

Образец 1 ступенчато нагружался на электрогидравлической машине *MTS-50* через интервал $\Delta P = 5$ кН до нагрузки $P = 35$ кН, при которой АЭ-системой начиналась устойчивая локация сигналов АЭ из области отверстия. Нагружение образцов 2 и 3 выполняли на машине *Instron* ступенчато через интервал $\Delta P = 2,5$ кН до нагрузок $P = 45$ кН и $P = 65$ кН соответственно.

Основными информативными параметрами сигналов АЭ были выбраны частота, структурный коэффициент $P_D(f)$ и *MARSE*. При увеличении нагрузки от 15 кН до 40 кН наблюдалось уменьшение значений структурных коэффициентов. При фрактографии образца 2 в области отверстия выявлено хрупкое разрушение матрицы. При этом волокна остались практически целыми. При нагружении образца 3 нагрузкой более $P = 40$ кН регистрировались сигналы с частотой $f = (110 - 150)$ кГц и увеличивалось значение структурного коэффициента. Фрактография материала образца 3 подтвердила наличие больших слоёв, которые не наблюдались в образцах 1 и 2.

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАЛОСТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СЛОИСТОГО ГИБРИДНОГО МАТЕРИАЛА АЛОР В КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ СТЕНОК НЕРВЮР

В.А. Фролова, старший научный сотрудник (СибНИА, г. Новосибирск), Л.А. Адегова, канд. техн. наук, доцент (СГУПС, НГАСУ (Сибстрин) г. Новосибирск)

Исследовано влияние конструктивных и технологических факторов на усталостные характеристики образцов, имитирующих стенки нервюр, из слоистого гибридного материала АЛОР на основе листов алюминия. Даны уравнения кривых усталости и представлена расчётная оценка долговечности.