

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

ВІСНИК

**Східноукраїнського
національного університету
імені Володимира Даля**

**№ 12 (154)
Частина 2
2010**

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

Луганськ 2010

ВІСНИК

СХІДНОУКРАЇНСЬКОГО
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

№ 12 (154) 2010

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ
ЗАСНОВАНО У 1996 РОЦІ
ВИХІД З ДРУКУ - ДВАНАДЦЯТЬ
РАЗІВ НА РІК

Засновник
Східноукраїнський національний
університет імені Володимира Даля

Журнал зареєстровано
в Міністерстві юстиції України

Свідоцтво про державну реєстрацію
серія КВ № 15607-4079ПР
від 18.08.2009 р.

VISNIK

OF THE VOLODYMYR DAL EAST
UKRAINIAN NATIONAL UNIVERSITY

№ 12 (154) 2010

THE SCIENTIFIC JOURNAL
WAS FOUNDED IN 1996
IT IS ISSUED TWELVE TIMES
A YEAR

Founder
of the Volodymyr Dal East Ukrainian
National University

Registered by the Ministry
of Yustice of Ukraine

Registration Certificate
КВ № 15607-4079ПР
dated 18.08.2009

Журнал включено до Переліків наукових видань ВАК України (Бюл. ВАК №3 2010 р.), (Бюл. ВАК №5 2010 р.), (Бюл. ВАК №3 2010 р.) в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук з *технічних, історичних, економічних наук* відповідно.

ISSN 1998-7927

Головна редакційна колегія: Голубенко О.Л., член-кор. Академії педагогічних наук, докт. техн. наук (головний редактор), Осенін Ю.І., докт. техн. наук (заступник головного редактора), Смирний М.Ф., докт. техн. наук (заступник головного редактора), Арлінський Ю.М., докт. фіз.-мат. наук, Будіков Л.Я., докт. техн. наук., Бузько І.Р., докт. екон. наук, Галстян Г.А. докт. хім. наук, Голубничий П.І., докт. фіз.-мат. наук, Гончаров В.М., докт. екон. наук, Грібанов В.М., докт. техн. наук, Довжук І.В., докт. іст. наук, Житна І.П., докт. екон. наук, Козаченко Г.В., докт. екон. наук, Кондратов С.О., докт. хім. наук, Кудюков Ю.П., докт. хім. наук, Куліков Ю.А., докт. техн. наук, Лазор Л.І., докт. юр. наук, Литвиненко В.Ф., докт. істор. наук, Максимов В.В., докт. екон. наук, Михайлюк В.П., докт. іст. наук, Нагорний Б.Г., докт. соціол. наук, Носко П.Л., докт. техн. наук, Петров О.С., докт. техн. наук, Рач В.А., докт. техн. наук, Рей Р.І., докт. техн. наук, Суханцева В.К., докт. філос. наук, Третьяченко В.В., докт. психол. наук, Тюпало М.Ф., докт. хім. наук, Ульшин В.О., докт. техн. наук, Шевченко Г.П., член-кор. Академії педагогічних наук України, докт. пед. наук., Хорощко В.О., докт. техн. наук

Відповідальний за випуск: Грібанов В.М.

Рекомендовано до друку Вченою радою Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля (Протокол № 4 від 26 лютого 2010 р.)

Матеріали номера друкуються мовою оригіналу.

© Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, 2010
© of the Volodymyr Dal East Ukrainian National University, 2010

ТЕХНІЧНІ НАУКИ	7
<i>А.С. Беліков, О.М. Гунченко</i> ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ ДЛЯ ОЦІНКИ ЗАХИСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ СПЕЦІАЛЬНОГО ОДЯГУ	7
<i>А.Р. Бова, М.А. Волошин, О.Б. Латыш, И.Д. Черникова, Н.Г. Черников</i> ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СПЕКТР ЭЛЕКТРОНОВ В АРСЕНИДЕ ГАЛЛИЯ	10
<i>Р.Н. Брошко, В.Л. Дзюба, Е.Ю. Мягченко</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЛАЗМОТРОНОВ ДЛЯ НАПЫЛЕНИЯ И НАПЛАВКИ	16
<i>В.В. Бугасенко</i> ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ ПІСКУ В ПРОСТОРІ МІЖ ВИХІДНИМ ОТВОРОМ КАНАЛУ ПОДАЧІ ПІСКУ І МІСЦЕМ КОНТАКТУ КОЛЕСА З РЕЙКОЮ	22
<i>Ю.Г. Вивденко, Н.М. Крамарь, Ю.С. Краснобрыжева</i> ПРОВЕРКА АДЕКВАТНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО РЕССОРНОГО ПОДВЕШИВАНИЯ	27
<i>А.Г. Воронова, Н.А. Рязанцева</i> ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРАКТИКЕ ГОСУПРАВЛЕНИЯ.....	31
<i>Л.М. Дегтярьова, О.В. Малахов, М.І. Горбунов</i> СИСТЕМА ПРОТИДІЇ СХОДУ КОЛІС СПЕЦІАЛЬНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ З РЕЙОК	35
<i>Н.В. Гречишкіна</i> МАГНИТНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ МАГНЕТИТА В ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ	40
<i>В.М. Грибанов, Е.Ю. Чалая</i> СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ С ЗАЦЕПЛЕНИЕМ НОВИКОВА НА ПРОЧНОСТЬ	43
<i>В.М. Грибанов, Ю.В. Мединцева, Н.В. Коробка, Т.Е. Печолат, А.В. Матушкина, В.В. Ратов</i> КВАЗИГИПЕРБОЛОИДНЫЕ ЗУБЧАТЫЕ ПЕРЕДАЧИ ПЕРВОГО РОДА: НЕОБХОДИМЫЕ И ДОСТАТОЧНЫЕ ГЕОМЕТРОКИНЕМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ СУЩЕСТВОВАНИЯ	50
<i>Д.С. Григор'єва</i> ПРИЙНЯТТЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ В УМОВАХ РИЗИКУ Й НЕВИЗНАЧЕНОСТІ	53
<i>Б.Б. Игнат'єв, В.Б. Игнат'єва</i> РАСЧЕТ УСИЛИЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ	55

<i>В.Б. Ігнат'єва, Ю.Ю. Бугаєвська</i> ОЦІНКА ВАРІАНТІВ ОХОРОНИ КОМПЛЕКСНИХ ОБ'ЄКТІВ ПРОМИСЛОВОЇ ВЛАСНОСТІ.....	62
<i>М.А. Калмыков, Д.В. Молчанов</i> О ВЫБОРЕ ФОРМЫ КОНТЕЙНЕРА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПЛОСКИХ ДЕТАЛЕЙ	70
<i>Н.А. Касьянов, А.А. Колибабчук</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ СМЕСИ ОГНЕТУШАЩЕГО ПОРОШКА С ВОЗДУХОМ.....	74
<i>Г.Н. Кожмякин, А.Н. Олейникова, А.Б. Дригода, И.Д. Родиков</i> ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ ХАЛЬКОГЕНИДОВ ВИСМУТА И СУРЬМЫ	81
<i>Г.Н. Кожмякин, М.О. Крюков</i> ВОЗДЕЙСТВИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН НА НАНОКЛАСТЕРЫ В РАСПЛАВАХ	84
<i>В.Н. Кожин, В.В. Некрутенко, И.Е. Голяев</i> СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ УРОВНЕМ ВЗРЫВОПОЖАРООПАСНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ.....	88
<i>Ю.Г. Козуб</i> ДИНАМИЧЕСКОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ ВЯЗКОУПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ	91
<i>М.А. Кононенко, Н.Я. Габльовська, С.М. Швець, С.С. Семенюк, Н.Т. Мануляк, Н.Я. Петришин</i> АНАЛІЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СТЕПЕНІ ЗНОШУВАННЯ РІЗЬБ НКТ В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ	96
<i>А. И. Крайнюк, О.Н. Толкачев, А.А. Данилейченко</i> ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ ВЫБОР ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ КАСКАДНОГО ОБМЕННИКА ДАВЛЕНИЯ.....	104
<i>О.Л. Лехциер</i> КОМПЕНСАЦИЯ ТРАНСПОРТНОГО ЗАПАЗДЫВАНИЯ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ПРОЦЕССОМ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ОТСАДКИ УГЛЯ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЧЕТКОЙ СИСТЕМЫ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ	112
<i>Л.Р. Лехциер, О.Л. Лехциер</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ОТСАДКИ УГЛЯ.....	116
<i>Б.Н. Локотюш, Е.В. Белозеров, В.И. Соловьев, Я.А. Белозерова</i> ОСОБЕННОСТИ ФРАКТАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ОЦЕНКИ ПОДЛИННОСТИ ЦИФРОВОГО ГРАФИЧЕСКОГО СИГНАЛА.....	120
<i>В.М. Мальоткін, О.М. Друзь, Л.Б. Мальоткіна, Ю.Г. Проніна</i> ОЦІНКА РИЗИКУ ПРИ ДІЇ ТЕХНОГЕННИХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ НА ЛЮДИНУ В УКРАЇНІ.....	125
<i>Н.В. Махортова, Ю.Г. Вивденко, И.В. Морозов</i> ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ДИАГНОСТИКИ БУКСОВЫХ УЗЛОВ	128

<i>Г.Л. Мелконов, Л.Д. Мелконов, В.А. Плахотник, А.А. Карачунова</i> КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ 4-Х ШПИНДЕЛЬНОЙ ШЛИФ- ПОЛИРОВАЛЬНОЙ МАШИНЫ	132
<i>Б.И. Невзлин, М.В. Загирняк, В.Ю. Швайко, Н.И. Кузнецов</i> О РАСЧЕТЕ АКТИВНОГО И ИНДУКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЙ СТЕРЖНЯ ПРЯМОЛИНЕЙНОЙ ФОРМЫ КОРОТКОЗАМКНУТОГО РОТОРА	136
<i>А.Н. Одинцов, А.И. Севриков</i> ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУР ИНФОРМАЦИОННО-ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И ЗАЩИТЫ ВЗРЫВО-ПОЖАРООПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ ПО ВРЕМЕННОМУ ФАКТОРУ	139
<i>А.П. Павленко</i> ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ТЕХНИЧЕСКИХ, БИОЛОГИЧЕСКИХ, ФИЗИЧЕСКИХ И ЛЮБОЙ ДРУГОЙ ПРИРОДЫ ОБЪЕКТОВ	147
<i>В.Н. Пилипенко</i> ОЦЕНКА КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ МОДИФИЦИРОВАННОГО БЕТОНА ТРУБ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ	153
<i>В.В. Пунагин</i> ОСОБЕННОСТИ УХОДА ЗА МОНОЛИТНЫМ БЕТОНОМ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР	159
<i>И.В. Савченко, Н.А. Касьянов, В.М. Грибанов, О.Н. Гунченко, В.Д. Рябичев</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ ОБЛУЧЕННОСТИ ГОЛОВЫ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ИНФРАКРАСНОМ ОТОПЛЕНИИ	167
<i>М.И. Спирыгин, В.И. Спирыгин</i> ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ТЕСТИРОВАНИЯ МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ РЕЛЬСОВЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ	174
<i>В.Н. Стрельников, Ю.В. Стрельников</i> СИНТЕЗ ЧЕРВЯЧНОЙ ПЕРЕДАЧИ ПО ОСЕВОМУ ПРОФИЛЮ ЧЕРВЯКА	179
<i>В.Н. Стрельников, Ю.В. Стрельников</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЗАЦЕПЛЕНИЯ ЧЕРВЯЧНОЙ ПЕРЕДАЧИ С ПРОИЗВОЛЬНО ЗАДАНЫМ ПРОФИЛЕМ ЧЕРВЯКА	186
<i>С.А. Тутаков, Г.В. Короп, Т.А. Нечай</i> ПЕРЕФОРМУВАННЯ СОСТАВУ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ В УМОВАХ НЕДОСТАТНЬОЇ КІЛЬКОСТІ КОЛІЙ	190
<i>В.А. Ульшин</i> О ВРЕДЕ БОЛЕЗНЕННЫХ ПРИСТРАСТИЙ ЧЕЛОВЕКА НА ЕГО ЗДОРОВЬЕ И ДУХОВНОЕ РАЗВИТИЕ	195
<i>Т.А. Шинкарева, А.И. Гедрович, А.Н. Голофаев</i> ВРЕДНЫЕ И ОПАСНЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ФАКТОРЫ В СОВРЕМЕННЫХ ЛИТЕЙНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ	209
<i>Н.В. Клипаков</i> ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФРИКЦИОННЫХ АВТОКОЛЕБАНИЙ В ТЯГОВЫХ ПРИВОДАХ И ЭКИПАЖНОЙ ЧАСТИ ЭЛЕКТРОВЗОВОВ ТИПА ВЛ- 11 И ВЛ-82М В РЕЖИМАХ БОКСОВАНИЯ	218

<i>С.В. Кузьменко, Н.В. Кресто, А.О. Кочевський</i> МОДЕЛЮВАННЯ КОНВЕКТИВНОЇ ТЕЧІЇ ПОВІТРЯ УЗДОВЖ ДВОХ НАГРІТИХ ПЛАСТИН.....	224
<i>О.А. Луценко, В.І. Мозила</i> МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ВИПАРНОГО ОХОЛОДЖУВАННЯ.....	227
<i>В.М. Грибанов, Ю. В. Мединцева, Д.В. Ратов, Т.Ю. Балицкая</i> ОБ ИЗГОТОВЛЕНИИ КВАЗИГИПЕРБОЛОИДНЫХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ.....	236
ЕКОНОМІЧНІ НАУКИ	240
<i>А.Г. Бистров</i> ПЕРСОНАЛ ЯК ФАКТОР ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМСТВА.....	240
<i>Р.А. Галгаш, С.О. Оглоблін</i> СПОСІБ ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ АДАПТИВНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА ДО СТРАТЕГІЧНИХ ЗМІН.....	245
<i>Л.О. Грузінова</i> УПРАВЛІНСЬКІ КОМУНІКАЦІЇ І ПОТЕНЦІАЛ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПРОМИСЛОВИМ ПІДПРИЄМСТВОМ	250
<i>І.М. Літвінова</i> ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК МІЖ ТЕНДЕНЦІЯМИ ЗМІНИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ УКЛАДІВ ТА РОЗВИТКОМ ПІДПРИЄМСТВ	254
<i>В.В. Разумцев</i> ФІНАНСОВИЙ АНАЛІЗ ВИКОНАННЯ ДЕРЖАВНОГО БЮДЖЕТУ УКРАЇНИ ..	258
<i>О.М. Розмислов</i> КОНЦЕПЦІЯ ЖИТЛОВОЇ ПОЛІТИКИ УКРАЇНИ: ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ..	262
<i>В.М. Михайленко, Т.Г. Хмеловський</i> БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИЙ ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СПІВВІДНОШЕНЬ КОМПОНЕНТІВ ВАЛЮТНОЇ КОРЗИНИ.....	266
ПЕДАГОГІКА.....	273
<i>В.С. Ляшенко</i> МЕТОДОЛОГІЧНІ ТА ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ПІЗНАВАЛЬНОЇ САМОСТІЙНОСТІ СТУДЕНТІВ ТЕХНІЧНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ	273

**ВІСНИК
СХІДНОУКРАЇНСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ
№ 12 (154) 2010
частина 2**

Науковий журнал

Відповідальний за випуск
Технічний редактор
Оригінал-макет

В.М. Грібанов
Т.М. Дроговоз
М.В. Кліпаков

Підписано до друку 26.11.2010 р.
Формат 70 x 108 1 /16. Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman.
Друк офсетний. Умов. друк. арк. 24,15. Обл. друк. арк. 25,23.
Наклад 300 прим. Вид. № . Замовлення № . Ціна вільна.

Видавництво
Східноукраїнського національного університету
імені Володимира Даля

Свідоцтво про реєстрацію: серія ДК № 1620 від 18.12.03 р.

Адреса видавництва: 91034, м. Луганськ, кв. Молодіжний, 20 а,
Телефон (0642) 41-34-12. Факс (0642) 41-31-60.
E-mail: uni@snu.edu.ua

ДИНАМИЧЕСКОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ ВЯЗКОУПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ

В статье рассмотрены вопросы динамического расчета вязкоупругих эластомерных элементов конструкций на основе метода конечных элементов. Предложенная методика позволяет получать решения задач циклического деформирования конструкций с учетом демпфирования. Табл. 1. Ист. 8.

Ключевые слова: эластомер, вязкоупругость, метод конечных элементов

В машиностроении и строительстве широкое распространение получили вязкоупругие демпфирующие элементы конструкций. Наиболее широко используются резиновые виброизоляторы. Исследованию вязкоупругих свойств резины, анализу деформирования и разрушения эластомерных элементов конструкций посвящено достаточно большое количество работ отечественных и зарубежных авторов [1-7]. Чаще всего при исследовании поведения резины вводится гипотеза о несжимаемости этого материала. Однако при стесненных деформациях эта гипотеза неприемлива [3]. В динамических расчетах следует учитывать эффекты демпфирования резиновых элементов конструкций. Наиболее эффективным для описания вязкоупругих свойств является применение уравнений Вольтерра. Аналитические решения таких уравнений в задачах о циклическом нагружении получены лишь для одномерного случая, что значительно ограничивает возможности получить надежное решение для элементов конструкций, имеющих сложную форму. В этом случае наиболее приемлимым является применение численных методов решения задач в трехмерной постановке, одним из которых является метод конечных элементов.

Целью данной работы является разработка метода интегрирования уравнений динамики вязкоупругих элементов конструкций.

Для решения задачи о динамическом равновесии эластомерного элемента конструкции следует вначале решить задачу о свободных колебаниях. Основываясь на принципе суперпозиции Больцмана, интегральные уравнения можно описать в виде [3]

$$\sigma(t) = E \left[\varepsilon(t) - \int_{-\infty}^t K(t-\tau)\varepsilon(\tau)d\tau \right], \quad (1)$$

где $K(t-\tau)$ - ядро релаксации и, кроме того, является ядром оператора Вольтерра.

Для большинства задач о свободных колебаниях упруго-наследственного тела используется уравнение в виде

$$\ddot{u}(t) + \omega^2 u(t) = 0, \quad (2)$$

где

$$\omega^2 \varphi(t) = \omega_0^2 \left[\varphi(t) - \int_0^t K(t-\tau)\varphi(\tau)d\tau \right]. \quad (3)$$

Рекуррентная формула для решения характеристического уравнения имеет вид [1]

$$\omega_n^2 = \omega_0^2 \left[1 - K \left(\frac{1}{i\omega_n - 1} \right) \right]. \quad (4)$$

После проведения преобразований Фурье получим

$$\omega_n^2 = \omega_0^2 [1 - A(\omega_{n-1}) + iB(\omega_{n-1})], \quad (5)$$

где

$$A(\omega) = \int_0^{\infty} K(z) \cos \omega z dz = \operatorname{Re} K\left(\frac{1}{i\omega}\right), \quad (6)$$

$$B(\omega) = \int_0^{\infty} K(z) \sin \omega z dz = -\operatorname{Im} K\left(\frac{1}{i\omega}\right). \quad (7)$$

Как известно [1],

$$1 - A(\omega_0) = \frac{E(\omega_0)}{E_0}, \quad B(\omega_0) = \frac{\psi(\omega_0)}{2\pi}, \quad (8)$$

где E_0 – мгновенный модуль упругости;

$E(\omega_0)$ – динамический модуль при $\omega = \omega_0$;

$\psi(\omega_0)$ – технический коэффициент поглощения при $\omega = \omega_0$.

Приближенное уравнение характеристической виброграммы имеет вид

$$u(t) \approx Ne^{(-ht)} \cos(\omega t + \varphi) \quad (9)$$

Принимая в качестве ядра релаксации дробно-экспоненциальную функцию Работнова [4]

$$K(z) = z^\alpha \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-\beta)^n z^{n(1+\alpha)}}{\Gamma[(n+1)(1+\alpha)]} \quad (10)$$

где α, β – реологические параметры материала;

$\Gamma(t)$ – гамма-функция;

в первом приближении получаем выражение для коэффициента демпфирования

$$h = \frac{\omega_0 \psi(\omega_0)}{4\pi}. \quad (11)$$

Процедура определения частот свободных колебаний представляет собой отдельную задачу определения собственных чисел и векторов.

При динамическом нагружении в каждый момент времени напряженно-деформированное состояние тела должно удовлетворять вариационному уравнению движения, которое можно согласно принципам Даламбера-Лагранжа представить в виде

$$\int_V \rho \ddot{u} du dv + \delta \Pi(u) + \delta W(\dot{u}) = 0, \quad (12)$$

где u – вектор перемещений;

ρ – плотность материала;

Π – потенциальная энергия;

W – работа диссипативных сил.

Построение разрешающих уравнений метода конечных элементов для трехмерной задачи строится на основе использования интерполяционных функций формы для описания полей перемещений, скоростей и ускорений

$$(u : \dot{u} : \ddot{u})_k = \sum_{s=1}^8 N_{(s)} (u : \dot{u} : \ddot{u})_k^{(s)}, \quad (13)$$

где $N_{(s)}$ – степенные функции формы для s -го узла конечного элемента;

$(u : \dot{u} : \ddot{u})_k^{(s)}$ – векторы перемещений, скоростей и ускорений s -го узла конечного элемента по k направлению в базисной системе координат.

Для обеспечения высокой точности и эффективности процесса решения широкого класса задач иногда целесообразно повысить степень аппроксимирующих функций.

Тогда уравнение движения (12) можно записать в виде системы дифференциальных уравнений

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Gu = f(t), \quad (14)$$

где M – матрица масс;

C – матрица демпфирования;

G – матрица жесткости;

$f(t)$ – вектор узловых сил.

Для определения компонент матрицы жесткости вариацию потенциальной энергии деформации можно записать в виде

$$\delta\Pi = \int_V \sigma^{ij} \varepsilon_{ij} dv, \quad (15)$$

где $\sigma^{ij} = 2\mu g^{ik} g^{jl} \varepsilon_{kl} + \lambda \theta g^{ij}$.

Используя тройную аппроксимацию полей перемещений, деформаций и функции изменения объема [3] получаем матрицу жесткости конечного элемента, моделирующего процесс деформирования слабосжимаемого эстомера

$$\begin{aligned} \delta\Pi &= \delta\{u_s\}^T \{N\} [D_{ij}^s]^T [C^{ijkl}] [D_{kl}^t] \{N\}^T \{u_t\} + \delta\{u_s\}^T \{N\} [D_{\theta}^s]^T [C^{\theta}] [D_{\theta}^t] \{N\}^T \{u_t\} = \\ &= \delta\{u_s\}^T [G] \{u_t\}, \end{aligned} \quad (16)$$

где $[C^{ijkl}]$, $[C^{\theta}]$ – матрицы упругих констант;

$[D]$ – матрица дифференцирования;

$\{u_t\}$ – вектор узловых перемещений.

Матрицу масс вычисляем по формуле

$$M = \int_V \{N\} \rho \{N\}^T dv. \quad (17)$$

Определение матрицы демпфирования с помощью матриц, описывающих свойства конечных элементов не представляется возможным. Поэтому чаще всего ее приближенно вычисляют в виде линейной комбинации матриц жесткости и масс.

Для системы конечных элементов при отсутствии демпфирования решение можно представить в виде разложения по собственным векторам. Из решения общей проблемы собственных значений необходимо определить частоты и формы собственных колебаний

$$G\Phi = \omega^2 M\Phi. \quad (18)$$

Поскольку собственные векторы M – ортогональны после умножения на матрицу Φ , составленную из собственных векторов-столбцов получаем систему уравнений равновесия

$$\ddot{u} + \Phi^T C \Phi \dot{u} + \Omega^2 u = \Phi^T f(t), \quad (19)$$

где Ω^2 – диагональная матрица, состоящая из ω_i^2 .

Полагая, что демпфирование пропорционально скорости получаем

$$\Phi_i^T C \Phi_j = 2\omega_i h_i \delta_{ij}, \quad (20)$$

где h_i – коэффициент демпфирования соответствующей формы колебаний;
 δ_{ij} – символ Кронекра.

Если известны n коэффициентов демпфирования соответствующих форм собственных колебаний, матрицу демпфирования можно приближенно вычислить по формуле [8]

$$C = M \sum_{i=0}^{n-1} a_i (M^{-1} G)^i, \quad (21)$$

где коэффициенты a_i определяются из решения уравнений

$$h_i = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n (a_{k-1} \omega_i^{2k-3}). \quad (22)$$

Для $n = 2$ выражение (21) приводится к формуле релейского демпфирования.

Для прямого интегрирования уравнений динамического деформирования чаще всего используется метод Ньюмарка, согласно которому векторы перемещений, скоростей и ускорений на концах временного отрезка $[t; t + \Delta t]$ связаны соотношениями

$$\begin{aligned} \dot{u}_{t+\Delta t} &= \dot{u}_t + [(1-\delta)\ddot{u}_t + \delta\ddot{u}_{t+\Delta t}] \Delta t, \\ u_{t+\Delta t} &= u_t + \dot{u}_t \Delta t + \left[\left(\frac{1}{2} - \alpha \right) \ddot{u}_t + \alpha \ddot{u}_{t+\Delta t} \right] \Delta t^2, \end{aligned} \quad (23)$$

где $\delta \geq 0,5$, $\alpha \geq 0,25(0,5 + \delta)^2$ – условия, при которых рассматриваемая схема интегрирования устойчива.

Выражая из (23) скорость и ускорение в конечный момент времени $t + \Delta t$ получаем рекуррентное соотношение относительно перемещений в этот момент времени

$$\begin{aligned} Mb_1 u_{t+\Delta t} + Cb_1 b_5 u_{t+\Delta t} + Gu_{t+\Delta t} &= f(t + \Delta t) + M(b_1 u_t + b_2 \dot{u}_t + b_3 \ddot{u}_t) + \\ &+ C(b_1 b_5 u_t + (b_2 b_5 - 1) \dot{u}_t + (b_3 b_5 - b_4) \ddot{u}_t) \end{aligned} \quad (24)$$

где $b_1 = \frac{1}{\alpha \Delta t^2}$, $b_2 = \frac{1}{\alpha \Delta t}$, $b_3 = \frac{1}{2\alpha} - 1$, $b_4 = \Delta t(1 - \delta)$, $b_5 = \delta \Delta t$.

Определив перемещения на конце временного интервала можно определить скорости и ускорения в этот же момент времени

$$\begin{aligned} \ddot{u}_{t+\Delta t} &= b_1 (u_{t+\Delta t} - u_t) - b_2 \dot{u}_t - b_3 \ddot{u}_t, \\ \dot{u}_{t+\Delta t} &= \dot{u}_t + b_4 \ddot{u}_t + b_5 \ddot{u}_{t+\Delta t}. \end{aligned} \quad (25)$$

Рассмотрим деформирование цилиндрического сплошного резинометаллического амортизатора. Условия нагружения: $u_z = u_0 \sin \omega t$. Параметры амортизатора: $R = 0,1\text{м}$, $H = 0,8R$, $\rho = 1200\text{кг/м}^3$, $G = 0,78\text{МПа}$. Реологические параметры материала $\alpha = -0,6$, $\beta = 0,91$, $\lambda = 0,35$. Результаты расчета в безразмерных величинах приведены в таблице 1.

Таблица 1

Зависимость амплитуды перемещений среднего слоя от частоты нагружения

$\Omega = \omega R \sqrt{\rho/G}$	6,324	7,115	10,276	12,648
u/H	0,031	0,125	0,028	0,034

Рассмотренный выше подход применим для линейно-вязкоупругих материалов. Для эластомеров, как правило, такое поведение характерно лишь при малых деформациях. Кроме того, зависимость коэффициента диссипации энергии от частоты нагружения имеет существенно нелинейный характер.

Таким образом для получения наиболее точного решения задачи о динамическом деформировании конструкции из эластомера необходимо для диапазона частот нагружения определить собственные частоты и коэффициенты демпфирования.

Выводы: 1. Для эластомерных элементов конструкций получены соотношения, позволяющие определить демпфирующие свойства на основе анализа их вязкоупругого деформирования.

2. Получены разрешающие уравнения метода конечных элементов для прямого интегрирования уравнений динамики эластомеров

Литература

1. Потураев В.Н. Прикладная механика резины / В.Н. Потураев, В.И. Дырда, И.И. Круш. – К.: Наукова думка, 1980. – 260с.
2. Дырда В.И. Прочность и разрушение эластомерных конструкций / В.И. Дырда. – К.: Наукова думка, 1988. – 232с.
3. Киричевский В.В. Нелинейные задачи термомеханики конструкций из слабосжимаемых эластомеров / В.В. Киричевский, А.С. Сахаров. – К.: Будівельник, 1992. – 216с.
4. Бартнев Г.М. Прочность и разрушение высокоэластичных материалов / Г.М. Бартнев, Ю.С. Зуев. – М.: Химия, 1964. – 387с.
5. Mooney M.A. Theory of Large Elastic Deformation / M.A. Mooney // J. Appl. Phys. – 1940. – №11. – P. 582-592.
6. Дырда В.И. Определение реологических параметров эластомерных материалов / В.И. Дырда, Ю.Г. Козуб, А.С. Кобец, А.П. Науменко, Т.Е. Твердохлеб, А.А. Яценко // Сб. научн.тр. «Геотехническая механика». /-вып. 70, 2007. – с.56-88.
7. Лавендел Э.Э. Прикладные методы расчета изделий из высокоэластичных материалов / Э.Э. Лавендел. – Рига: Зинатне, 1980. – 238с.
8. Бате К. Численные методы анализа и метод конечных элементов / К. Бате, Е. Вилсон. – М.: Стройиздат, 1982. – 470с.

Козуб Ю.Г. Динамічне деформування в'язкопружних елементів конструкцій

У статті розглянуто питання динамічного розрахунку в'язкопружних еластомірних елементів конструкцій на основі методу скінченних елементів. Запропонований метод дозволяє отримати розв'язки задач циклічного деформування конструкцій з урахуванням демпфірування. Табл. 1. Дж. 8.

Ключові слова: еластомір, в'язкопружність, метод скінченних елементів

Kozub Y.G. DYNAMIC DEFORMATION OF VISCOELASTIC STRUCTURAL ELEMENTS

Problems of dynamic analysis of viscoelastic elastomeric structural elements based on the finite element method are discussed in the article. The proposed method allows to obtain solutions to cyclic deformation structures subject to damping.

Key words: elasomer, viscoelasticity, finite element method

Козуб Ю.Г. – ГУ «Луганский национальный университет имени Тараса Шевченко», к.т.н., доцент, зав.кафедрой инженерно-педагогических дисциплин.

Рецензент: Грибанов В.М. – д.т.н., проф., зав. каф. «Прикладная математика»

УДК 622.24.053

М.А. Кононенко, Н.Я. Габльовська, С.М. Швець,
С.С. Семенюк, Н.Т. Мануляк, Н.Я. Петришин

АНАЛІЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СТЕПЕНІ ЗНОШУВАННЯ РІЗЬБ НКТ В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Анотація. В результаті проведених досліджень степені зношування різьб НКТ та динаміки зміни пріоритетних геометричних параметрів різьби насосно-компресорних труб встановлена кількість циклів згвинчування – розгвинчування, при якій геометричні параметри різьбових ділянок ніпеля і муфти залишаються стабільними і знаходяться у межах граничних нормованих значень.

Ключові слова. Насосно-компресорна труба, різьба, ніпель, муфта, геометричні параметри, цикл згвинчування-розгвинчування.

Постановка проблеми. За останні роки спостерігається швидкий ріст об'ємів глибинного буріння як в нашій країні, так і за кордоном. Все це призводить до необхідності використання багатоколонних конструкцій свердловин, збільшенню числа спуско-підіймальних операцій, росту об'єму робіт в стовбурах свердловин.

До надійності бурового обладнання повинні ставитися підвищені вимоги, оскільки раптова відмова під час буріння свердловин може призвести до важких ускладнень і аварій. Основні відомі шляхи зниження аварійності наступні: контроль якості виготовлення трубної продукції на підприємствах – виготовлювачах на відповідність вимогам нормативно – технічної документації; дотримання правил транспортування, складування і зберігання; відповідність обраної трубної продукції конкретним умовам експлуатації та інше [1].

Однією з характерних особливостей сучасного нафтогазовидобування є тенденція до посилення режимів експлуатації свердловини обладнання. Різноманіття відмов різних елементів обладнання для буріння свердловин дало змогу виділити сім основних груп руйнування деталей: деформація і злом; зношування; корозійні руйнування; сорбційні руйнування; корозійно-механічні руйнування; сорбційно-механічні руйнування; утворення відкладень твердих речовин.

Гостро постає питання забезпечення надійності найбільш "аварійного" вузла свердловинного обладнання – насосно-компресорних труб (НКТ). Один з шляхів вирішення даного питання полягає у дослідженні зміни нормованих параметрів труб НКТ і як найбільш вразливого їх вузла – різьбової частини.