

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРОБЛЕМАМ  
МАШИНОВЕДЕНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ  
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МАШИНОСТРОЕНИЯ РАН  
– ФИЛИАЛ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО НАУЧНОГО  
УЧРЕЖДЕНИЯ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. Н.И. ЛОБАЧЕВСКОГО»

## **НЕЛИНЕЙНЫЕ КОЛЕБАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**ТРУДЫ**  
**X ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**  
**им. Ю.И. Неймарка**

Нижегород, 26 – 29 сентября 2016 года

Конференция проводится при финансовой поддержке  
Российского фонда фундаментальных исследований  
(проект 16-08-20664-г)

Нижегород  
2016

ББК В161.6  
УДК 517

Труды X Всероссийской научной конференции «Нелинейные колебания механических систем» (Нижний Новгород, 26–29 сентября 2016 г.) / Под редакцией Д.В. Баландина, В.И. Ерофеева, И.С.Павлова. Нижний Новгород: Издательский дом «Наш дом», 2016. – 867 с.

ISBN 978-5-211-0628945

В трудах излагаются различные аспекты теории нелинейных колебаний и динамических управляемых систем и их приложения в различных областях науки и техники.

Основной тематикой конференции являются:

- моделирование динамических систем,
- аналитические, качественные и численные методы теории колебаний,
- теория бифуркаций,
- регулярные и хаотические колебания,
- волновая динамика машин и конструкций,
- управление колебаниями механических систем,
- прикладные задачи теории колебаний.

ISBN 978-5-211-0628945

ББК В161.6

© Авторы, 2016  
© ИД «Наш дом» – издание, 2016

## ОБ УСТОЙЧИВОСТИ НЕЛИНЕЙНЫХ КОЛЕБАНИЙ БУРИЛЬНЫХ КОЛОНН

**Аска́т К. Кудайбергенов**

Казахский национальный университет им. аль-Фараби  
050040 Алматы, пр. аль-Фараби, 71, e-mail: [ask7hat@mail.ru](mailto:ask7hat@mail.ru)

В работе исследуется устойчивость нелинейных колебаний элемента бурильной колонны, моделируемой в виде круговой цилиндрической оболочки, под влиянием переменной во времени осевой сжимающей нагрузки и давления сверхзвукового потока газа. Дискретизация нелинейной модели оболочки, осложненной геометрической нелинейностью самой системы и нелинейным воздействием потока газа, проводится методом Бубнова-Галеркина. Для определения границ зон динамической неустойчивости задается малая вариация и применяется метод гармонического баланса.

Ключевые слова: бурильная колонна, нелинейная модель, цилиндрическая оболочка, устойчивость, поток газа.

### **Введение**

На успешный процесс бурения нефтяных и газовых скважин влияет множество факторов. Это и качественная система инженерно-технического обслуживания бурильных работ, и влияние факторов окружающей среды, таких как сверхзвуковой поток газа, движение промысловой жидкости, трение о стенки скважины; и возникающие непосредственно в ходе бурения опасные колебания бурильной колонны, являющиеся высоко нелинейными по своей природе [1].

В связи с активным освоением залежей нефти и газа важно обеспечить безопасную и надежную работу бурильных установок, что зависит во многом от проведения исследований по устойчивости колебаний бурильных колонн.

В данной работе изучается круговая цилиндрическая оболочка, форма которой наиболее точно отражает упругую модель элемента бурильной колонны небольшой длины. При выпучивании в оболочках возникают не только напряжения изгиба, но и дополнительные напряжения в срединной поверхности [2]. Это свойство качественно отличает поведение оболочек при потере устойчивости от поведения стержней и пластин.

### **Нелинейная математическая модель**

В основе математической модели цилиндрической оболочки лежат гипотезы Кирхгофа-Лява [3]. Их использование позволяет перейти от трехмерной задачи деформирования оболочки к двумерной задаче. Изучение поведения элемента оболочки тем самым сводится к изучению деформаций ее срединной поверхности. Координаты  $x$  и  $y$ , откладываемые вдоль образующей и по направлению окружности оболочки, определяют геометрическое положение точек срединной поверхности.

В качестве исходных уравнений при исследовании устойчивости бурильной колонны, рассматриваются нелинейные уравнения типа Кармана:

$$\frac{D}{h} \nabla^4 w = L(w, \Phi) + \frac{1}{R} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{q}{h} - \rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}, \quad (1)$$

$$\frac{1}{E} \nabla^4 \Phi = -\frac{1}{2} L(w, w) - \frac{1}{R} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}, \quad (2)$$

где  $D$  - цилиндрическая жесткость,  $h$  - толщина стенок оболочки,  $w$  - поперечный прогиб оболочки,  $R$  - радиус оболочки,  $\Phi$  - функция напряжений в срединной поверхности,  $\rho$  - плотность материала оболочки;  $E$  - модуль Юнга,  $q$  - интенсивность распределенных нагрузок:

$$q = -h \left( P \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + 2S \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right) - \Delta p, \quad (3)$$

где  $P$  - продольная сжимающая нагрузка,  $S = \frac{M}{2\pi R^2 h}$  - касательная нагрузка от скручивающего момента  $M$ ,  $\Delta p$  - приращение давления сверхзвукового потока газа.

Система осложняется геометрической нелинейностью от операторов  $L(w, \Phi)$  и  $L(w, w)$ , имеющих вид

$$L(w, \Phi) = \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} - 2 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial y}, \quad (4)$$

$$L(w, w) = 2 \left[ \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2 \right], \quad (5)$$

а также нелинейной зависимостью между давлением и скоростью потока газа [4]:

$$\Delta p = -A \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{(\kappa + 1)h}{\kappa p_\infty} A^2 \left( \frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 - \frac{(\kappa + 1)h^2}{12\kappa^2 p_\infty^2} A^3 \left( \frac{\partial w}{\partial x} \right)^3, \quad (6)$$

где  $P_\infty$  - давление невозмущенного газа,  $\bar{M}$  - число Маха,  $A = \frac{\bar{M}\kappa P_\infty}{h}$  - приведенное число

Маха,  $\kappa$  - показатель политропы.

Граничные условия, соответствующие шарнирному закреплению оболочки по концам, задаются следующим образом:

$$w = 0, \quad \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0 \quad (x = 0, x = l). \quad (7)$$

Решение бигармонического уравнения для функции напряжений  $\Phi$  (2) находится путем перехода к функциям комплексного переменного. При этом приближенное выражение для поперечного прогиба  $w$  задается как в работе [5], где авторами проводился анализ устойчивости бурильной колонны как оболочки на основе модели, не учитывающей нелинейность от операторов (4)-(5):

$$w(x, y, t) = f(t) \left( \sin \frac{\pi x}{l} + \sin \frac{2\pi x}{l} \right) \sin \frac{y}{R}, \quad (8)$$

которое полностью удовлетворяет граничным условиям (7).

Предполагается также, что продольная сжимающая нагрузка  $P$  переменна во времени и изменяется по закону:

$$P = P_0 + P_1 \cos \tilde{\Omega} t, \quad (9)$$

где  $P_0$  и  $P_1$  отвечают за вклад постоянной и переменной во времени составляющих,  $\tilde{\Omega}$  - частота внешнего воздействия.

Применяя метод Бубнова-Галеркина, задача сводится к нелинейному обыкновенному дифференциальному уравнению типа Матье при требовании ортогональности базисной функции в выражении (8):

$$\frac{d^2 f(\tau)}{d\tau^2} + (1 + \beta \cos \Omega \tau) f(\tau) + \alpha f(\tau)^3 = 0, \quad (10)$$

где  $\tau = t \cdot \omega_0$  - безразмерное время,  $\Omega = \frac{\tilde{\Omega}}{\omega_0}$ ,  $\alpha = \frac{\tilde{\alpha}}{\omega_0^2}$ ,  $\beta = \frac{\beta_2}{\beta_1}$ ,  $\beta_2 = -\frac{5P_1\pi^3 R}{2l}$ .

$$\beta_1 = -\frac{5P_0\pi^3 R}{2l} + \frac{El\pi^5 R^3 \left( \frac{17}{2} l^4 + 20l^2 \pi^2 R^2 + 16\pi^4 R^4 \right)}{\left( l^4 + 5l^2 \pi^2 R^2 + 4\pi^4 R^4 \right)^2} + \frac{D\pi \left( l^4 + 5l^2 \pi^2 R^2 + \frac{17}{2} \pi^4 R^4 \right)}{hl^3 R^3},$$

$\omega_0^2$ ,  $\tilde{\alpha}$  включают влияние осевой нагрузки, газового потока и геометрических параметров оболочки.

### Области неустойчивости основного резонанса

Одним из методов исследования устойчивости динамических систем, широко используемым в литературе (см. [6, 7]), является рассмотрение малого отклонения  $\delta f$  от равновесного состояния системы, что идентично устойчивости по Ляпунову:

$$f(\tau) = f_0(\tau) + \delta f, \quad (11)$$

которое представимо в виде

$$\delta f = e^{\eta\tau} \chi(\tau), \quad (12)$$

где  $\eta$  - характеристический показатель, от которого зависит характер поведения величины  $\delta f$  во времени;  $\chi(\tau)$  - периодическая функция времени с периодом, равным  $\frac{\pi}{\Omega}$  или  $\frac{2\pi}{\Omega}$ .

Для функции  $\chi(\tau)$  справедливо разложение в ряд Фурье с неопределенными коэффициентами:

$$\chi(\tau) = \sum_n a_n \cos(n\Omega\tau - \psi_n), \quad (13)$$

$$n = 1, 3, 5, \dots, \infty \quad \text{или} \quad n = 0, 2, 4, \dots, \infty.$$

Тем самым, если характеристический показатель  $\eta$  имеет отрицательную действительную часть, то решение (12) затухает. В случае, когда действительная часть характеристического показателя положительна, соответствующее решение  $\delta f$  неограниченно растет с экспоненциальной скоростью. Когда же действительная часть  $\eta$  равна нулю, находится решение на границе областей устойчивости и неустойчивости, которое носит периодический характер.

Рассматривая случай резонанса по основной частоте

$$f_0 = r_1 \cos(\Omega\tau - \varphi_1) \quad (14)$$

и подставляя (11) в (10), приходим к следующему разрешающему уравнению в вариациях типа Хилла:

$$\frac{d^2 \delta f}{d\tau^2} + (\theta_0 + \theta_{1c} \cos \Omega\tau + \theta_{2s} \sin 2\Omega\tau + \theta_{2c} \cos 2\Omega\tau) \delta f = 0, \quad (15)$$

$$\text{где } \theta_0 = 1 + \frac{3}{2}\alpha r_1^2, \quad \theta_{1c} = \beta, \quad \theta_{2s} = \frac{3}{2}\alpha r_1^2 \sin 2\varphi_1, \quad \theta_{2c} = \frac{3}{2}\alpha r_1^2 \cos 2\varphi_1.$$

Ограничимся решениями для областей неустойчивости низкого порядка, так как они играют особенно важную роль во многих приложениях [6].

Первая область неустойчивости находится при  $\delta f = e^{\eta\tau} a_1 \cos(\Omega\tau - \psi_1)$ . Подстановка последнего в (15) и последующее применение метода гармонического баланса позволяет построить характеристический определитель в первом приближении вида

$$\Delta(\eta) = \begin{vmatrix} \eta^2 - \Omega^2 + \theta_0 + \frac{1}{2}\theta_{2c} & 2\eta\Omega + \frac{1}{2}\theta_{2s} \\ -2\eta\Omega + \frac{1}{2}\theta_{2s} & \eta^2 - \Omega^2 + \theta_0 - \frac{1}{2}\theta_{2c} \end{vmatrix} = 0, \quad (16)$$

который при равенстве нулю характеристического показателя  $\eta$  определяет уравнение, описывающее границы первой области неустойчивости:

$$1 + A_1\Omega^2 + \Omega^4 + B_1(1 - \Omega^2)r_1^2 + C_1r_1^4 = 0, \quad (17)$$

$$\text{где } A_1 = -2, \quad B_1 = 3\alpha, \quad C_1 = \frac{27}{16}\alpha^2.$$

Так как в модели присутствует нелинейность от потока газа третьего порядка, то можно ожидать появления резонанса по третьей частоте. Поэтому целесообразно определить границы третьей области неустойчивости, для которой выражение для вариации  $\delta f$  задается как

$$\delta f = e^{\eta \tau} (a_1 \cos(\Omega \tau - \psi_1) + a_3 \cos(3\Omega \tau - \psi_3)). \quad (18)$$

Тогда построение соответствующего определителя четвертого порядка при  $\eta = 0$  дает следующее полиномиальное уравнение восьмой степени зависимости амплитуды колебаний от частоты, определяющее границы третьей области неустойчивости:

$$1 + A_1 \Omega^2 + A_2 \Omega^4 + A_3 \Omega^6 + A_4 \Omega^8 + (B_0 + B_1 \Omega^2 + B_2 \Omega^4 + B_3 \Omega^6) r_1^2 + (C_0 + C_1 \Omega^2 + C_2 \Omega^4) r_1^4 + (D_0 + D_1 \Omega^2) r_1^6 + E_1 r_1^8 = 0, \quad (19)$$

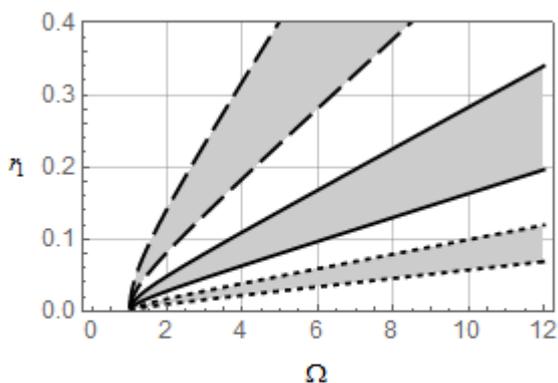
где  $A_1 = -20$ ,  $A_2 = 118$ ,  $A_3 = -180$ ,  $A_4 = 81$ ,  $B_0 = 6\alpha$ ,  $B_1 = -90\alpha$ ,  $B_2 = 354\alpha$ ,  $B_3 = -270\alpha$ ,  $C_0 = \frac{189}{16}\alpha^2$ ,  $C_1 = -\frac{909}{8}\alpha^2$ ,  $C_2 = \frac{3357}{16}\alpha^2$ ,  $D_0 = \frac{135}{16}\alpha^3$ ,  $D_1 = -\frac{567}{16}\alpha^3$ ,  $E_1 = \frac{405}{256}\alpha^4$ .

### Результаты численного анализа устойчивости

Анализ влияния различных значений длины и радиуса оболочки с учетом геометрической нелинейности системы и газового потока на устойчивость нелинейных колебаний элемента буровой колонны проводится на основе уравнений (17), (19).

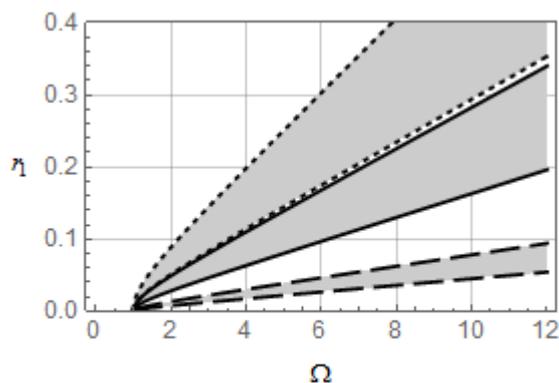
Значения параметров системы принимаются следующими:  $h = 0.01 \text{ м}$ ,  $M = 10^4 \text{ Нм}$ ,  $p_\infty = 1.013 \times 10^4 \text{ Н/м}^2$ ,  $\kappa = 1.4$ ,  $\bar{M} = 2.5$ ,  $P_0 = 2.1 \times 10^6 \text{ Н}$ ,  $P_l = 0.1 \times 10^6 \text{ Н}$ , материал – сталь.

На рис. 1, 3 показано, что смещение характеристических кривых в сторону больших частот с изменением длины оболочки при постоянном радиусе  $R = 0.15 \text{ м}$  свойственно как первой, так и третьей областям неустойчивости. Однако в случае третьей области неустойчивости наблюдается расширение неустойчивых зон при увеличении длины оболочки. Варьирование значений радиуса оболочки при  $l = 2.5 \text{ м}$  дает, между тем, обратные результаты (рис. 2, 4). Здесь характеристические кривые начинают отклоняться в сторону более высоких частот по мере уменьшения радиуса оболочки.



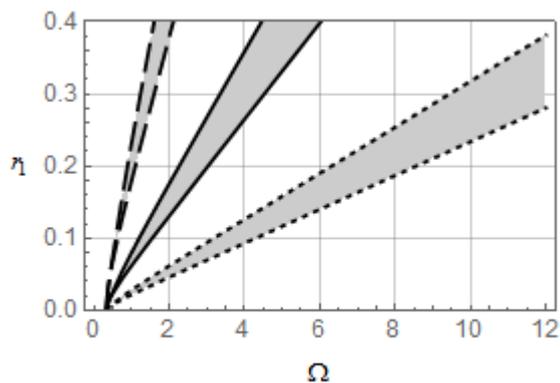
—  $l=1\text{м}$  —  $l=2.5\text{м}$  - - -  $l=5\text{м}$

Рис. 1. Первая область неустойчивости при различных значениях длины оболочки



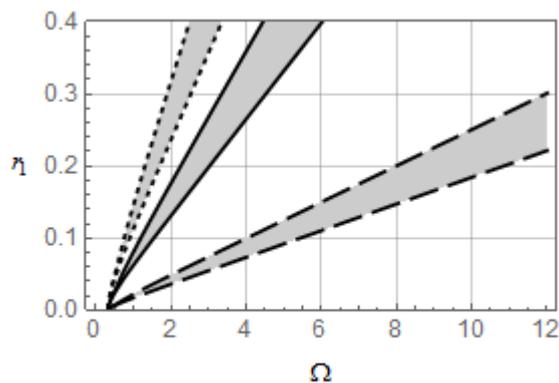
—  $R=0.08\text{м}$  —  $R=0.15\text{м}$  - - -  $R=0.19\text{м}$

Рис. 2. Первая область неустойчивости при различных значениях радиуса оболочки



— —  $l=1m$  — — —  $l=2.5m$  ·····  $l=5m$

Рис. 3. Третья область неустойчивости при различных значениях длины оболочки



— —  $R=0.08m$  — — —  $R=0.15m$  ·····  $R=0.19m$

Рис. 4. Третья область неустойчивости при различных значениях радиуса оболочки

Сравнение с результатами работы [5] показывает важность учета в модели нелинейности от операторов  $L(w, \Phi)$  и  $L(w, w)$ , что подтверждается на рис. 5. Учет геометрической нелинейности от данных операторов показывает, что переход к неустойчивому состоянию может наблюдаться при меньших амплитудах колебаний. Полученные результаты исследования свидетельствуют о том, что нелинейность модели вносит существенные поправки в результаты анализа устойчивости колебаний буровых колонн в сравнении с линейными моделями.

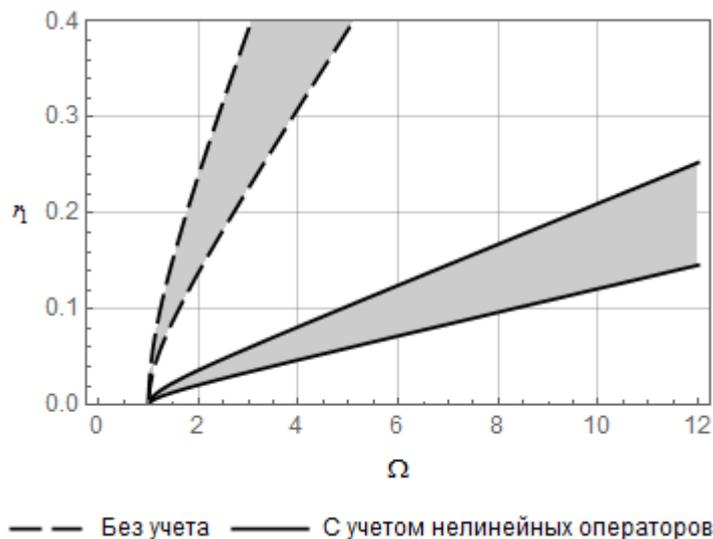


Рис. 5. Первая область неустойчивости при значениях параметров:  $l = 3m, R = 0.15m$ , материал – сталь

### Заключение

Устойчивость нелинейных колебаний элемента буровой колонны в виде круговой цилиндрической оболочки была исследована для случая основного резонанса. Были определены границы первой и, ввиду присутствия геометрической нелинейности, третьей областей неустойчивости. При увеличении радиуса наблюдалась обратная картина изменению длины оболочки с уводом ветвей характеристических кривых в зону малых частот. Была показана важность учета нелинейных операторов в модели, для которых характерны смещение областей неустойчивости в сторону более высоких частот и наступление основного резонанса при меньших амплитудах колебаний.

Работа была выполнена в рамках проекта ГФ4 №311 МОН РК.

### **Список литературы**

1. Al-Hiddabi S.A., Samanta B., Seibi A. Non-linear control of torsional and bending vibrations of oilwell drillstrings // J. Sound and Vibration. 2003. Vol. 265. P. 401-415.
2. Вольмир А.С. Устойчивость деформируемых систем. М.: Наука, 1967.
3. Григолюк Э.И., Кабанов В.В. Устойчивость оболочек. М.: Наука, 1978.
4. Lelya Khajiyeva, Askat Kudaibergenov. Analysis of nonlinear vibrations of a cylindrical shell in a supersonic gas flow // J. Applied Mechanics and Materials. 2015. Vols. 799-800. P. 660-664.
5. Kudaibergenov A., Kudaibergenov A., Khajiyeva L. Stability analysis of drill rods as shells in the gas stream // J. Applied Mechanics and Materials. 2014. Vol. 665. P. 593-596.
6. Хаяси Т. Нелинейные колебания в физических системах. М.: Мир, 1968.
7. Szemplinska - Stupnicka W. Higher harmonic oscillations in heteronomous non-linear systems with one degree of freedom // Int. Journal of Non-Linear Mechanics. 1968. Vol. 3. P. 17-30.

<b>Климина Л.А.</b> (Москва, НИИ Механики МГУ) Качественный анализ динамики шарнирного механизма, взаимодействующего с потоком среды .....	459
<b>Ковалева М.А., Смирнов В.В., Маневич Л.И.</b> (Москва, Институт химической физики РАН) Исследование системы двух гармонически связанных маятников .....	464
<b>Комиссарова Т.Н., Хроматов В.Е.</b> (Москва, НИУ «МЭИ») Влияние продольного магнитного поля на динамическую устойчивость ферромагнитных пластин .....	470
<b>Красинский А.Я., Ильина А.Н.</b> (Москва, МАИ) О стабилизации положений равновесия системы Ball and Beam как мехатронной системы с геометрической связью .	480
<b>Кривоносова О.Э., Жиленко Д.Ю.</b> (Москва, НИИ Механики МГУ) Определение структуры течений путем построения волновых поверхностей .....	487
<b>Кудайбергенов Аскар К.</b> (Алматы, Казахский национальный университет им. Аль-Фараби) Моделирование нелинейных поперечных колебаний буровой колонны .....	490
<b>Кудайбергенов Аскат К.</b> (Алматы, Казахский национальный университет им. Аль-Фараби) Об устойчивости нелинейных колебаний буровых колонн .....	495
<b>Куклина И.Г.</b> (Н.Новгород, ННГАСУ) Динамика машины с линейно-зависимой в продольном направлении подвеской .....	501
<b>Кулешов А.С., Черняков Г.А.</b> (Москва, МГУ) Применение алгоритма Ковачича для исследования задачи о движении тяжёлого тела вращения по абсолютно шероховатой плоскости .....	509
<b>Куликов А.Н.</b> (Ярославль, ЯрГУ им. П.Г. Демидова) Некоторые бифуркационные задачи для обобщенного уравнения Курамото-Сивашинского .....	517
<b>Куликов Д.А.</b> (Ярославль, ЯрГУ им. П.Г. Демидова) Циклы и торы в задаче об обобщенной синхронизации слабосвязанных осцилляторов .....	523
<b>Лебедев Д.А.</b> (Москва, НИИ механики МГУ) Устойчивость стационарных движений гиригастата .....	529
<b>Леонтьева А.В., Леонтьев Н.В.</b> (Н.Новгород, ИПМ РАН) Влияние деформируемого основания на установление режима синхронизации в системе двух двигателей .....	532
<b>Масленников Д.А., Бочков В.С., Лоцилов А.А., Катаева Л.Ю., Ильичева М.Н.</b> (Н.Новгород, НГТУ) Использование роботизированных систем для тушения лесных пожаров на основе анализа физических закономерностей .....	539
<b>Метрикин В.С., Никифорова И.В.</b> (Н.Новгород, ННГУ) Динамика вибрационных систем с несколькими ударными парами .....	542
<b>Митенков Ф.М., Овчинников В.Ф., Николаев М.Я., Литвинов В.Н., Фадеева Е.В.</b> (Н.Новгород, НИИМ ННГУ) Компенсация остаточного дисбаланса сложного гибкого ротора на электромагнитном подвесе с помощью штатной системы управления .....	550
<b>Мишакин В.В., Курашкин К.В., Руденко А.Л., Гончар А.В.</b> (Н.Новгород, ИПМ РАН) Использование метода акустоупругости для оценки напряженно-деформированного состояния ротора гидроагрегата .....	556
<b>Моренко И.В.</b> (Казань, ИММ КазНЦ РАН) Численное моделирование вынужденных колебаний цилиндра в ламинарном потоке вязкой жидкости .....	557
<b>Морозов А.Д., Морозов К.Е.</b> (Н.Новгород, ННГУ) О транзиторных маятниковых уравнениях .....	562
<b>Мотова Е.А., Никитина Н.Е.</b> (Н.Новгород, ИПМ РАН) Экспериментальное исследование поведения конструкционных материалов при циклическом нагружении, с помощью ультразвука .....	566
<b>Мошкин Р.П.</b> (Москва, МГУ) Неудерживающие связи в случае саней Чаплыгина на наклонной вогнуто-выпуклой негладкой поверхности .....	571
<b>Мухаммадиев Д.М., Ахмедов Х.А., Мухаммадиев Т.Д.</b> (Ташкент, ТГТУ) Амплитудно–частотные характеристики крутильных колебаний пыльного цилиндра .....	582
<b>Овсянников В.М.</b> (Москва, МГАВТ) Озвучивание поля скорости течений газа .....	586
<b>Овсянников В.М.</b> (Москва, МГАВТ) Генерация звука членами второго порядка малости конечно-разностного уравнения неразрывности Леонарда Эйлера .....	589
<b>Окунев Ю.М., Привалова О.Г., Самсонов В.А.</b> (Москва, НИИ Механики МГУ) О колебаниях оси оперенного тела при спуске в атмосфере .....	591
<b>Ольшанский В.Ю.</b> (Саратов, Институт проблем точной механики и управления РАН) Прецессионное движение в модели Пуанкаре-Жуковского .....	596