

**АКАДЕМИЯ**..... 4**СОБЫТИЯ И ФАКТЫ**..... 6**РЕКОНСТРУКЦИЯ***ВАТИН Н. И., ГОРШКОВ А. С., РЫМКЕВИЧ П. П.***УТЕПЛЕНИЕ ФАСАДОВ ПРИ РЕНОВАЦИИ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ ПЕРВЫХ МАССОВЫХ СЕРИЙ: ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ**..... 14

*В работе представлен анализ потерь тепловой энергии через наружные стены до и после утепления фасадов применительно к жилым многоквартирным зданиям первых массовых серий, расположенным на территории Санкт-Петербурга и Москвы. Определена величина эксплуатационных затрат на компенсацию потерь тепловой энергии через стены до и после утепления, произведена оценка сроков окупаемости работ по реновации фасадов с учетом роста тарифов на тепловую энергию и дисконтирования будущих денежных потоков.*

**ПРОЕКТ НОМЕРА****RISING RYDE2**..... 22

*Нью-йоркская студия Architensions выпустила дизайн-проект административного центра Rising Ryde в Сиднее, Австралия. Проект задуман как горообразный дом, покрытый местной растительностью и воздействующий на людей через сложную систему социальных связей и взаимодействие с природой. Вместо того чтобы создавать границы, центр увеличивает интерстициальное пространство с помощью прозрачных и полупрозрачных перегородок. Эта открытость позволяет зданию выглядеть как защитное приспособление и система для городской жизни, а не привычное нагромождение стекла и бетона. В здании будет организован мини-город с многоуровневыми переплетениями жилых, офисных, садовых и других общественных кластеров.*

**ТОЧЕЧНАЯ ЗАСТРОЙКА***МАНГУШЕВ Р. А., ГАРНЫК Л. В., ТРИФОНОВА И. И.***ВЛИЯНИЕ ЗАЩИТНЫХ ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ НА СТАБИЛИЗАЦИЮ ОСАДОК АВАРИЙНОГО ЗДАНИЯ**..... 26

*Приведены причины возникших предаварийных осадок основания фундаментов и деформаций надземных конструкций жилых зданий вблизи разрабатываемого котлована в центральной части мегаполиса. Описаны активные защитные геотехнические мероприятия по стабилизации развившихся осадок оснований фундаментов поврежденных зданий. Приведен опыт успешного завершения работ по устройству глубокого котлована рядом с существующими зданиями, получившими значительные осадки и повреждения несущих конструкций в процессе его первоначальной отрывки. Проведено сопоставление рассчитанных методом конечных элементов дополнительных деформаций основания фундаментов соседних с котлованом зданий с результатами мониторинга при окончательной разработке котлована.*

**НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ***ТЕРЕХИНА Е. С., ШИМКО А. В.***ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАНОБЕТОНА В СЕВЕРНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**..... 36

*Нанобетоны благодаря своим исключительным свойствам находят все более широкое применение в практике отечественного строительства.*

*СЫЧЕВ С. А.***МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ В ТЕХНОЛОГИИ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО МОДУЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**..... 40

*Представлены алгоритм и матрица выбора оптимального варианта высокоскоростной технологии возведения зданий из модулей и модульных систем.*

*ЛИС С. Н.***МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ**..... 46

*Методологические основы технологического конструирования структурно сложных материалов основаны на концепции, рассматривающей эти материалы как единую термодинамическую систему, состоящую из отдельных элементов (компонентов).*



**МОДЕЛИ И РАСЧЕТЫ**

КИРСАНОВ М. Н., ЦЗЯН Х.

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И АНАЛИЗ КОЛЕБАНИЙ НОЖНИЧНОГО МЕХАНИЗМА С ПРОИЗВОЛЬНЫМ ЧИСЛОМ ЭЛЕМЕНТОВ** ..... 52

В работе представлен математический метод для расчета частоты собственных колебаний ножничного механизма. Методом индукции с помощью операторов Maple получено обобщение формул на произвольное число секций. Построен график зависимости частоты, выявлены некоторые его особенности.

**СЛОЖНЫЕ СООРУЖЕНИЯ**

БЕЛЯЕВА Я. С., ШИМКО А. В.

**ВОЗВЕДЕНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КАНАТОВ** ..... 58

Канаты продолжают занимать важное место при сооружении сложных объектов, и эта технология постоянно совершенствуется.

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ**

МАСЛОВ Н. А.

**МЕТОДИКИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ГИДРОПРИВОДОВ МАШИН В КВАЗИСТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМАХ** ..... 62

Разработаны методики определения постепенно развивающихся неконтролируемых неисправностей гидравлических систем машины на примере гидропривода вращательного действия. В работе для привода вращательного действия машины выбраны объекты и параметры диагностирования, составлены алгоритмы диагностики общего технического состояния гидропривода, гидропередачи и отдельных их элементов в квазистатических (установившихся) и динамических (при разгонах) режимах работы машины.

**ИНФОРМАЦИЯ О ПОДПИСКЕ** ..... 71**ПОЛНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ЖУРНАЛОВ, ВЫПУСКАЕМЫХ ИД «ПАНОРАМА» В 2017 ГОДУ** ..... 77

Всероссийский ежемесячный  
отраслевой журнал  
**«Строительство:  
новые технологии –  
новое оборудование»**  
№ 10 (153) 2016

Журнал зарегистрирован Министерством  
Российской Федерации по делам печати,  
телерадиовещания и средств массовых  
коммуникаций.

Свидетельство о регистрации  
ПИ № 77-15422 от 15.11.2003

**Учредитель:**

Региональная благотворительная  
общественная организация инвалидов  
и пенсионеров «Просвещение» (109180,  
г. Москва, ул. Малая Полянка, д. 8)  
Журнал издается под эгидой Международной  
академии строительства, архитектуры  
и дизайна

Журнал является членом Комитета ТПП РФ  
по предпринимательству в сфере  
строительства.

**Издатель:**

© Издательский Дом «Панорама»  
127015, г. Москва, Бумажный проезд,  
д. 14, стр. 2, подъезд 3, а/я 27  
<http://www.panor.ru>

**Генеральный директор ИД «Панорама»** —  
Председатель Некоммерческого фонда  
содействия развитию национальной культуры  
и искусства

**К. А. Москаленко****Издательство «СТРОЙИЗДАТ»**

Почтовый адрес: 125040, Москва, а/я 1  
[www.stroyizdat.com](http://www.stroyizdat.com), e-mail: [bukin@panor.ru](mailto:bukin@panor.ru)

**Главный редактор  
Д. Воскресенский**

Редакция журнала выражает надежду,  
что читатели, специалисты строительства  
и промышленности строительных  
материалов продолжат или  
оформят вновь подписку на наш  
журнал, а также установят или  
разовьют взаимовыгодное деловое  
сотрудничество с организациями  
и фирмами, любезно предоставившими  
свои материалы для публикации  
в этом номере журнала.

Журнал распространяется  
через каталог  
ОАО «Агентство «Роспечать»»  
(индекс на полугодие — 82769)  
и «Каталог российской прессы»  
(индекс на полугодие — 16611),  
а также путем прямой  
редакционной подписки.

**Отдел подписки**

Тел./факс: 8 (495) 664-27-61  
E-mail: [podpiska@panor.ru](mailto:podpiska@panor.ru)

**Отдел рекламы**

Тел.: 8 (495) 274-22-22  
E-mail: [reklama@panor.ru](mailto:reklama@panor.ru)

Подписано в печать 21.09.2016 г.

Отпечатано в типографии  
ООО «Вива-Стар», 107023, Москва,  
ул. Электровзводская, д. 20, стр. 3

Установочный тираж 5100 экз.  
Цена свободная.

**Приглашаем авторов к сотрудничеству.  
Статьи, консультации и комментарии  
в журнале публикуются  
на безгонорарной основе.**

УДК 62-236.58

# МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И АНАЛИЗ КОЛЕБАНИЙ НОЖНИЧНОГО МЕХАНИЗМА С ПРОИЗВОЛЬНЫМ ЧИСЛОМ ЭЛЕМЕНТОВ

**М.Н. Кирсанов,**

доктор физико-математических наук, профессор

**Х. Цзян,**

студент НИУ МЭИ

**В работе представлен математический метод для расчета частоты собственных колебаний ножничного механизма. Методом индукции с помощью операторов Maple получено обобщение формул на произвольное число секций. Построен график зависимости частоты, выявлены некоторые его особенности.**

**Ключевые слова:** ножничный механизм, собственная частота, индукция, Maple.

Исследование частотных характеристик механизма — одна из основных задач, стоящая перед проектировщиком конструкций и механизмов. Обычно для этого привлекаются различные численные методы. Аналитические решения редки [1–4], но имеют несколько несомненных преимуществ. Во-первых, это удобные оценочные формулы, во-вторых, они позволяют проводить анализ на предмет оптимизации системы, улучшения ее частотных и амплитудных характеристик. Современные системы компьютерной математики [5] с использованием метода индукции [6] позволяют получить аналитические решения в задачах о колебании систем со многими телами.

Изучим ножничный (или параллелограммный) механизм, используемый в подъемных механизмах строительной, дорожной и складской техники. Такие механизмы отличаются малыми размерами, сравнительно просты и достаточно надежны. Реальные подъемники состоят, как правило, из двух одинаковых работающих синхронно плоских механизмов. Рассмотрим один из них. Механизм моделируем системой шарнирно соединенных упругих стержней длиной  $l$ . Размах механизма опреде-

ляет переменный управляющий размер  $0 < a < l$ . В первом приближении предполагаем, что стержни имеют пренебрежимо малую массу, и учитываем только массу груза, расположенную в верхнем шарнире. В механизме  $n$  секций, каждая из которых состоит из двух шарнирно скрепленных посередине плоских упругих элементов. Последняя секция (укороченная) загружена вертикальной силой. Первая секция закреплена на опоре  $A$  и ползуну  $B$ . Перемещаясь по вертикальной направляющей, ползун раздвигает секции механизма, увеличивая или уменьшая длину консоли. Расчет деформации и прочности производится применительно к конкретному положению ползуна, принимаемого в этом случае за неподвижный шарнир. В расчете учитывается изгибная и продольная деформация элементов. Шарниры принимаются идеальными. В качестве обобщенных координат выбираем вертикальное и горизонтальное смещения груза. Записываем уравнение колебаний груза:

$$[M]\ddot{\bar{U}} + [D]\dot{\bar{U}} = 0, \quad (1)$$

где:  $\bar{U} = [x, y]$  — вектор перемещений узла;

$[M]$  — матрица инерции;  
 $[D]$  — матрица жесткости.

Кинетическая энергия выражается как  $T = m(\dot{x}^2 + \dot{y}^2)/2$ , матрица инерции имеет диагональный вид:

$$M_n = \begin{bmatrix} m & 0 \\ 0 & m \end{bmatrix} \quad (2)$$

Умножая уравнение (1) на матрицу податливости  $[\Phi]$  (обратную к матрице жесткости  $[D]$ ) и делая подстановку  $\ddot{U} = -\omega^2 \bar{U}$ , что равносильно замене  $x = X \sin(\omega t + \beta)$ ,  $y = Y \sin(\omega t + \beta)$ , где  $X, Y$  — амплитуды,  $\omega$  — частота колебаний, получаем однородную систему  $[\Phi]\bar{U} = \bar{U}/m\omega^2$ . Таким образом, задача отыскания собственных частот свелась к нахождению собственных значений  $\lambda = 1/m\omega^2$  матрицы  $[\Phi]$ . Элементы матрицы податливости (перемещения от действия единичных сил по направлению обобщенных координат) определяются по формуле Максвелла-Мора с учетом нормальной и изгибающих составляющих:

$$\delta_{i,j} = \sum_{\mu=1}^n \left( \frac{1}{EF} N_{i,\mu} N_{j,\mu} l + \frac{1}{EJ} \int M_{\mu,i} M_{\mu,j} ds \right) \quad (3)$$

где:  $i = 1$  соответствует действию вертикальной единичной силы на узел, содержащий массу,  $i = 2$  — горизонтальной;

$N_{i,\mu}$  — усилие в стержне  $\mu$  от действия соответствующей силы;

$M_{\mu,i}$  — момент изгиба в стержне  $\mu$ ;

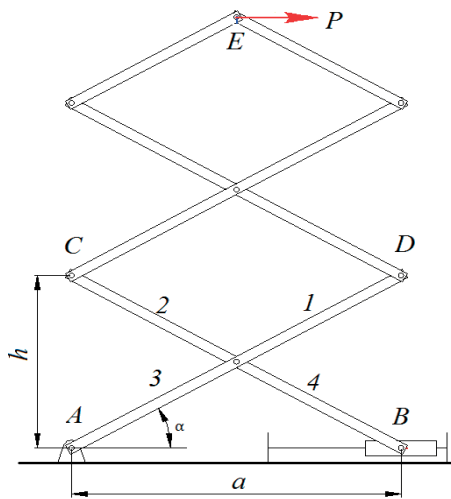


Рис. 1. Механизм с тремя секциями (загружен горизонтальной единичной нагрузкой  $P = 1$ )

$EF$  — продольная жесткость стержней;  
 $EJ$  — изгибная жесткость стержней.

Составим уравнение равновесия для элементов, разделив механизм по шарнирам и введя реакции сочленений. При этом для двух крайних правых укороченных элементов длиной  $l/2$  также вводим фиктивные реакции опор  $X_{1,n} = Y_{1,n} = X_{3,n+1} = Y_{3,n+1} = 0$ , так что уравнения для всех левых стержневых элементов 1–3 (рис. 2а) при  $k = 1, \dots, n$  имеют общий вид:

$$\left. \begin{aligned} X_{1,k} + X_{2,k} + X_{3,k} &= 0, \\ Y_{1,k} + Y_{2,k} + Y_{3,k} &= 0, \\ Y_{1,k}a + Y_{2,k}a/2 - X_{1,k}h - X_{2,k}h/2 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Аналогично записываем уравнения для правых элементов 2–4 (рис. 2б):

$$\left. \begin{aligned} -X_{1,k-1} - X_{2,k} - X_{3,k+1} + P_k &= 0 \\ -Y_{1,k-1} - Y_{2,k} - Y_{3,k+1} &= 0 \\ Y_{3,k+1}a + Y_{2,k}a/2 + X_{3,k+1}h + (X_{2,k} - P_k)h/2 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Решаем систему уравнений и находим при  $P_k = 0, k = 1, \dots, n-1, P_n = P$  реакции сочленений и опор  $X_{i,k}, Y_{i,k}, k = 1, \dots, n, i = 1, \dots, 4$ . Для определения коэффициентов жесткости по формуле Максвелла-Мора потребуются нормальные усилия стержневых элементов. Проецируя найденные реакции на продольные направления стержней (рис. 3), получим:

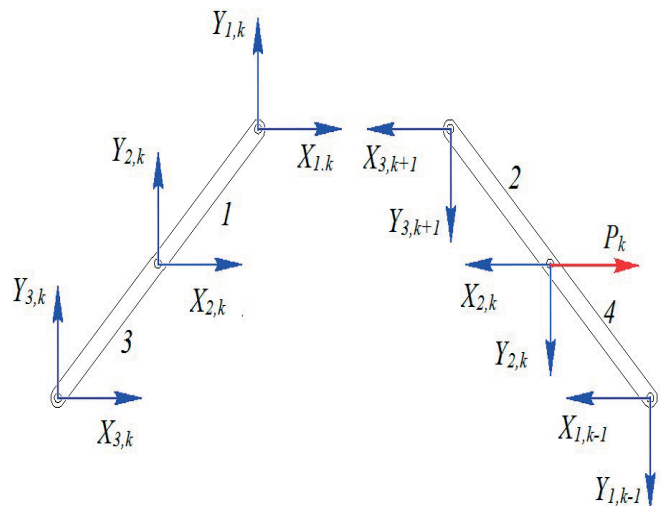


Рис. 2. Реакции шарниров и нагрузки на элементы

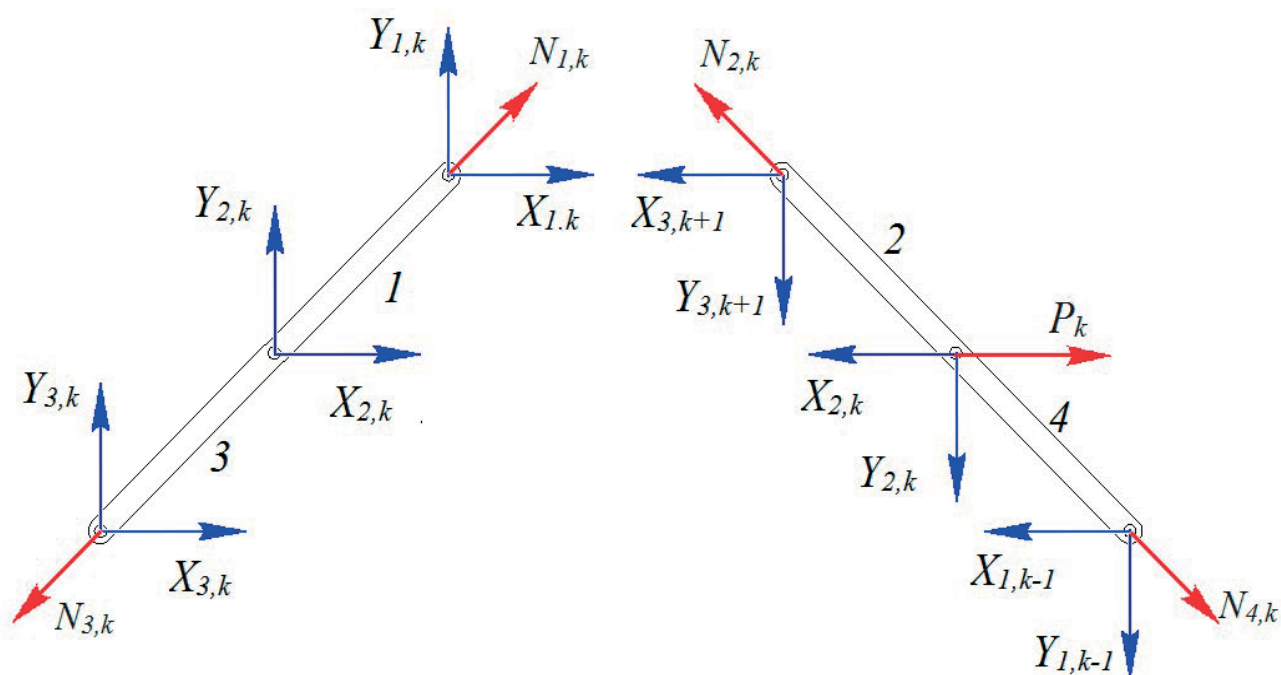


Рис. 3. К вычислению продольных усилий в стержнях

$$\left. \begin{aligned} N_{1,k} &= X_{1,k} \cos \alpha - Y_{1,k} \sin \alpha, \\ N_{2,k} &= X_{1,k-1} \cos \alpha + Y_{1,k-1} \sin \alpha, \\ N_{3,k} &= -X_{3,k} \cos \alpha + Y_{3,k} \sin \alpha, \\ N_{4,k} &= -X_{3,k+1} \cos \alpha - Y_{3,k+1} \sin \alpha, \end{aligned} \right\} (6)$$

где  $\sin \alpha = h/l$ ,  $\cos \alpha = a/l$ .

Стержневые элементы механизма подвержены изгибу. Эпюры моментов имеют треугольный вид (рис. 4).

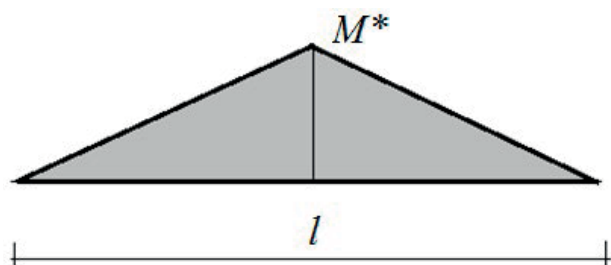


Рис. 4. Эпюра изгибающих моментов

Вычислим значения соответствующих моментов в вершинах эпюр (см. рис. 2):

$$\left. \begin{aligned} M_{3-1,k} &= (X_{3,k} \sin \alpha + Y_{3,k} \cos \alpha)l/2 \\ M_{2-4,k} &= (X_{3,k+1} \sin \alpha - Y_{3,k+1} \cos \alpha)l/2 \end{aligned} \right\} (7)$$

Интеграл по эпюре, имеющей треугольную форму, имеет вид  $\int M^2 ds = M^*l/3$ , где  $M^* = M_{3-1,k} = M_{2-4,k} = 4a(n-k)$ ,  $k = 1, \dots, n$ . Стержни последней панели ( $k = n$ ) не изгибаются, левый стержень от действия горизонтальной силы растянут, правый — сжат. Коэффициент обратной жесткости представим в виде суммы, выделив отдельно изгибные и осевые деформации:  $\delta_{ij} = \delta_{ij}^{(N)} + \delta_{ij}^{(M)}$ .

Последовательно решая поставленную задачу для различного числа элементов, получаем серию формул. Методом индукции с использованием операторов Maple пакета genfunc получим обобщение этих формул на произвольное число элементов:

$$\begin{aligned} \delta_{11}^{(N)} &= \frac{1}{EF} \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n \frac{N_{i,k}^2 l}{2} = \frac{1}{EF} \frac{A_1 h^4 + B_1 a^2 (2h^2 + a^2)}{4la^2}, \\ \delta_{11}^{(M)} &= \frac{1}{EJ} \sum_{k=1}^n \frac{(M_{3-1,k}^2 + M_{2-4,k}^2)l}{3} = \frac{1}{EJ} C_1 h^2 l, \end{aligned} \quad (8)$$

$$\delta_{11} = \delta_{11}^{(N)} + \delta_{11}^{(M)},$$

где коэффициенты  $A_1 = (8/3)n^3 - 4n^2 + (10/3)n - 1$ ,  $C_1 = n(n-1)(2n-1)/36$  получены как решения рекуррентных уравнений.



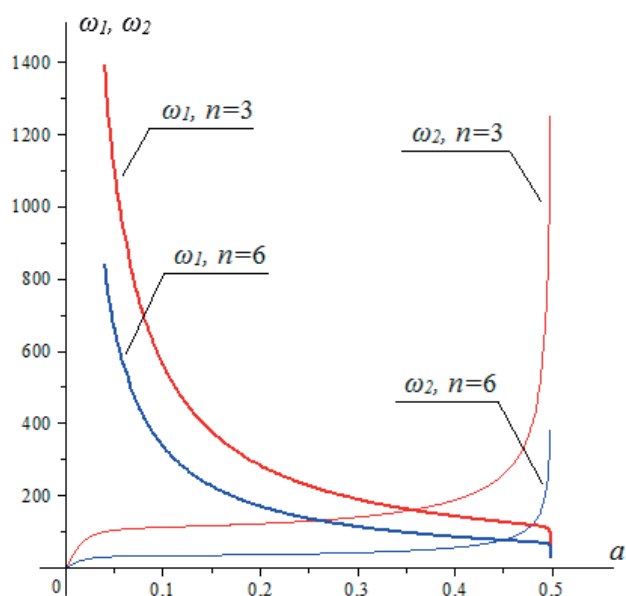


Рис. 7. Частоты собственных колебаний в зависимости от  $h$

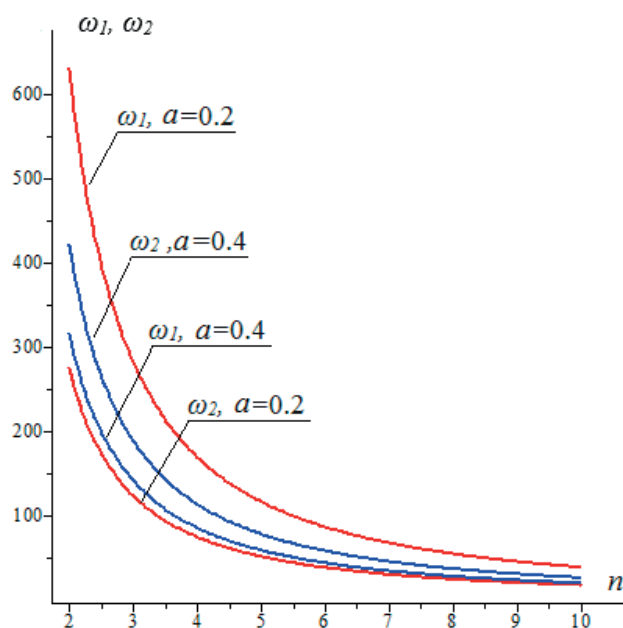


Рис. 8. Частоты собственных колебаний в зависимости от  $n$

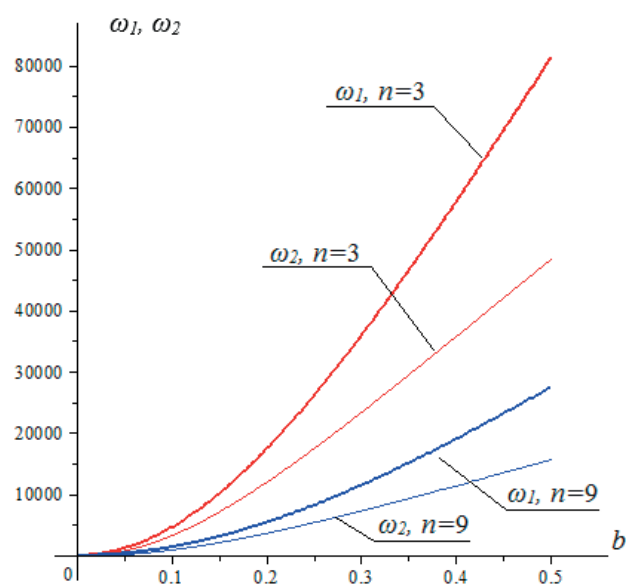


Рис. 9. Частоты собственных колебаний в зависимости от  $b$  при  $t = 0,5b$ ,  $h = 0,3\text{ м}$

Строим график зависимости частоты собственных колебаний  $\omega_1$  и  $\omega_2$  от управляющего параметра  $a$  механизма, где  $F = bt = 0,02 \cdot 0,01 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ ,  $J = b^3 t / 12 = 6,67 \cdot 10^{-9} \text{ м}^4$ . Наблюдается пересечение кривых первой и второй частоты  $\omega_1$ . Заметим редкую для механических задач особенность, вытекающую из этого факта, — частоты нельзя определенно разделить на высшую и низшую. Все зависит от степени раздвижения механизма, определяемой параметром  $a$ .

На рис. 8 отображена зависимость частот от числа стержней, на рис. 9 — зависимость частот от сечения стержней.

Таким образом, аналитический расчет с индукцией по числу секций позволил получить точное и достаточно простое решение задачи о собственных частотах. Использование метода индукции совместно с системой компьютерной математики позволило преодолеть основную трудность поставленной задачи — найти зависимость решения от числа элементов. Выявлены некоторые особенности в конструкции, позволяющие проектировщику подбирать наиболее приемлемые конструктивные характеристики системы. Изложенный алгоритм исследования легко расширяется на пространственную схему механизма. Полученные формулы могут быть использованы как тестовые для более сложных численных расчетов.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ахмедова Е.Р., Канатова М.И. Собственные частоты колебаний плоской балочной фермы регулярной структуры // Наука и образование в XXI веке: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 31 октября 2014 г. В 17 частях. — Ч. 11. — Тамбов: ООО «Консалтинговая компания «Юком», 2014. — С. 17–18.

2. Курсанов М.Н., Кленова И.Г. Индуктивный метод исследования колебаний систем с периодической структурой // Всероссийская научно-практическая конференция «Математика, информатика, естествознание в экономике и обществе». — МФЮА, 2009. — С. 113–114.

3. Ахмедова Е.Р., Канатова М.И. Частотное уравнение для плоской балочной фермы регулярной структуры с треугольной решеткой // Международная научно-практическая конференция «ИТОН-2014». IV международный семинар и международная школа «Математическое и компьютерное моделирование фундаментальных объектов и явлений в системах компьютер-

ной математики» // Материалы конференции и труды семинара. — Казань: Изд-во ООО «Фолиант», 2014. — С. 198–199.

4. Канатова М.И. Частотное уравнение и анализ колебаний плоской балочной фермы // Trends in Applied Mechanics and Mechatronics. — М: ИНФРА-М. — Т. 1. — С. 31–34.

1. Курсанов М.Н. Maple и MapleT. Решения задач механики. — СПб.: Изд-во «Лань», 2012. — 512 с.

5. Курсанов М.Н. Индуктивный анализ влияния погрешности монтажа на жесткость и прочность плоской фермы // Инженерно-строительный журнал. — 2012. — № 5 (31). — С. 38–42.

ПОДПИСКА-2017

ИЗДАТЕЛЬСТВО «АФИНА»

**БУХУЧЕТ**  
В строительных организациях



**ЕЖЕМЕСЯЧНОЕ ИЗДАНИЕ. ПОДПИСНЫЕ ИНДЕКСЫ:**

- ✓ **16615** (в «Каталоге российской прессы»)
- ✓ **82773** (в «Каталоге Агентства “Роспечать”»;
- «Объединенном каталоге “Пресса России”»
- и «Каталоге периодических изданий. Газеты и журналы» агентства «Урал-Пресс»)

**Цена подписки через редакцию на 6 месяцев — 9600 руб.**

Тел.: (495) 274-2222 (многоканальный),  
(495) 685-9368; факс: (495) 664-2761  
E-mail: [podpiska@panor.ru](mailto:podpiska@panor.ru)

**БЕЗ УЧЕТА — НЕТ ЭФФЕКТИВНОГО СТРОИТЕЛЬНОГО БИЗНЕСА!**

Журнал входит в перечень рецензируемых научных изданий ВАК.

Научно-практический журнал, на страницах которого освещаются проблемные вопросы учета и контроля в организациях промышленного, гражданского и жилищного строительства. Сегодня строительный бизнес применяет передовые технологии, материалы, оборудование, раз-

личные финансовые инструменты привлечения средств, без которых невозможно обеспечить финансовую устойчивость строительства.

На страницах журнала отражена практика учета различных объектов учета незавершенного и завершенного строительства, фактов хозяйственной жизни, отражающих специфику строительных организаций.

С полными версиями всех журналов ИД (№ 4/2016) вы можете бесплатно ознакомиться на нашем сайте.



Электронные версии всех номеров всех журналов ИД

**СО СКИДКОЙ 30% от подписной цены**

вы можете приобрести на нашем сайте [www.panor.ru](http://www.panor.ru)

Тел.: (495) 274-2222 (многоканальный), (495) 685-9368; факс: (495) 664-2761