

УДК 519.63

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОМЕНТОВ НА ИЗГИБ ПЛАСТИНЫ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОМ НАГРУЖЕНИИ

^{1*}Каюмов А.А., ²Искандарова Ш.Б.

*abduvalikarshiyev@gmail.com

¹Самаркандский филиал Ташкентского университета информационных технологий,
140100, Узбекистан, Самарканд, ул. Шохрух Мирзо 47А;²Самаркандский филиал Ташкентского государственного экономического университета,
Узбекистан, Самарканд, ул. Профессорская, 51А.

Данная статья посвящена изучению характеристик изгиба тонких пластин под воздействием нестационарных напряжений. Процесс деформации пластин под нестационарными нагрузками анализируется на основе моделей Кирхгофа-Лява и Тимошенко. Модель Кирхгофа-Лява предназначена для тонких пластин и не учитывает сдвиговые деформации, что снижает точность для толстых пластин. Модель Тимошенко, напротив, учитывает сдвиговые деформации, предоставляя более точные результаты для толстых пластин. В статье рассматривается динамическое поведение пластин под нестационарными нагрузками с помощью теоретических и экспериментальных исследований. Результаты исследования имеют важное значение для проектирования соответствующих конструкций, чтобы обеспечить прочность пластин под динамическими нагрузками. Эти выводы помогают улучшить долговечность конструкций и точно прогнозировать влияние нестационарных нагрузок.

Ключевые слова: прочность, теория упругости, изгиб пластины, нестационарные напряжения, влияние моментов, модель Кирхгофа-Лява, модель Тимошенко, динамические нагрузки, процесс деформации, экспериментальные исследования, долговечность конструкций.

Цитирование: Каюмов А.А., Искандарова Ш.Б. Численное исследование влияния моментов на изгиб пластины при нестационарном нагружении // Проблемы вычислительной и прикладной математики. – 2025. – № 1(63). – С. 108-115.

1 Введение

В современной инженерии и технологиях вопросы движения и деформации материалов и конструкций под воздействием нестационарных нагрузок имеют большое значение. В частности, изучение факторов, влияющих на изгиб тонких элементов, таких как пластины и оболочки, играет важную роль в решении множества научных и практических задач. Исследования в этой области направлены на обеспечение прочности и устойчивости конструкций в таких отраслях, как строительство, аэрокосмическая промышленность, автомобилестроение, гематология и многие другие [1].

Нестационарные нагрузки классифицируются как динамические нагрузки, изменяющиеся во времени и, как правило, имеющие случайный характер. Изгиб пластин под воздействием таких нагрузок представляет собой сложный и многофакторный процесс, в котором значительную роль играют инерционные силы, вязкоупругие свойства и зависимость от геометрических параметров. Источниками подобных нагрузок могут быть различные факторы, такие как сейсмические колебания, удары, аэродинамические силы и другие. Нестационарные напряжения, то есть нагрузки, изменяющиеся во времени, требуют глубокого анализа динамического отклика

конструкций. Эти напряжения могут возникать вследствие сейсмических колебаний, ударных воздействий и аэродинамических сил, оказывая влияние на прочность и устойчивость пластин, а также усложняя их поведение при изгибе [2].

Во многих исследованиях для анализа движения и деформации пластин под воздействием нестационарных нагрузок применяются как теоретические, так и экспериментальные методы. Однако математическое моделирование и численные методы играют решающую роль в решении подобных задач. Поэтому в данной работе ставится цель выявить основные факторы, влияющие на изгиб пластин при нестационарных напряжениях, и проанализировать их поведение с помощью математической модели. Математическое моделирование является важным инструментом для прогнозирования динамического поведения пластин, обеспечения их прочности и устойчивости. В статье определены основные параметры движения пластин и их зависимость от нагрузок. Также применены современные численные методы для анализа влияния нестационарных нагрузок, и результаты были протестированы в различных условиях [3–7].

Пластины широко применяются в различных отраслях промышленности и инженерии. Их поведение под статическими и динамическими нагрузками, особенно под влиянием нестационарных напряжений (то есть напряжений, зависящих от времени), имеет большое значение. Исследование характеристик изгиба пластин и влияния моментов на этот процесс важно для обеспечения прочности и долговечности конструкций. В данной статье представляется теоретический и экспериментальный анализ изгиба пластин под воздействием нестационарных напряжений [8].

Напряженно-деформированное состояние тонких пластин и оболочек при нестационарных нагрузках является достаточно сложным, и его расчет выполняется с применением численных или аналитических методов различной степени точности и сложности. При использовании численных методов возникает необходимость оценки достоверности и точности полученных результатов. Такая оценка осуществляется путем сравнения вычисленных значений, полученных с использованием различных моделей, описывающих движение пластин или оболочек [2]. Деформация тонких пластин под воздействием нестационарных нагрузок представляет собой сложную задачу, зависящую от их упругости, толщины и условий внешних нагрузок. Наиболее часто применяемыми теоретическими моделями для описания деформации тонких пластин являются модели Кирхгофа-Лява и Тимошенко. В данной статье исследуется влияние учета или неучета моментов в этих моделях при нестационарных нагрузках [1].

Теория Кирхгофа-Лява является одной из самых простых и распространенных моделей для тонких пластин. В этой модели рассматриваются случаи, когда толщина пластины значительно меньше остальных ее размеров. Модель Кирхгофа-Лява основывается на следующих основных допущениях:

- Нормальные волокна по толщине пластины остаются прямыми и не сжимаются.
- Нормальные волокна движутся перпендикулярно поверхности пластины и не деформируются.
- До деформации нормальные волокна находятся перпендикулярно поверхности пластины. Эта модель описывает поведение изгиба пластин под нагрузкой с помощью простых дифференциальных уравнений. Хотя теория Кирхгофа-Лява может быть применена к анализу движения тонких пластин под нестационарными напряжениями, ее использование ограничено случаями небольших деформаций и пластин с малой толщиной [4–12].

Модель Тимошенко является более сложной по сравнению с моделью Кирхгофа-Лява и подходит для анализа более толстых пластин и оболочек. В основе модели Тимошенко лежат следующие допущения:

- Нормальные волокна по толщине не остаются прямыми и могут сжиматься.
- Учитываются деформации сдвига (shear deformation) и инерция вращения.
- Нормальные волокна по толщине могут изменять свое положение относительно поверхности пластины. Модель Тимошенко учитывает больше параметров, описывающих изгиб и сдвиговые деформации пластин под нагрузкой. Эта модель широко применяется для анализа динамического поведения конструкций под нестационарными нагрузками, поскольку обеспечивает более высокую точность и позволяет выполнять более детальный анализ [4, 9–12].

В данной работе исследовано влияние учета и неучета моментов на процесс деформации тонкой пластины при нестационарных нагрузках на основе моделей Кирхгофа-Лява и Тимошенко [11, 12].

2 Постановка задачи

Уравнения движения упруго-пластической круглой пластины записываем в виде [12]

$$\begin{aligned} h^2 \nabla^2 \nabla^2 \omega / 12 + F_1(u, \omega) + F_1^p &= (v^2 - 1)(P + \rho h \omega) / (Eh); \\ \nabla^2 u - u / r^2 + F_2(u, \omega) + F_2^p &= (1 - v^2) \rho \ddot{u} / E. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь $F_1(u, \omega)$, $F_2(u, \omega)$ нелинейно зависят от u , ω :

$$\begin{aligned} F_1(u, \omega) &= -\nabla^2 \omega [u' + (\omega')^2 / 2 + (u')^2 / 2] - \\ &\quad - \omega' (u'' + \omega' \omega'' + u' u'' + v u' / r) - v u \omega'' / r; \\ F_2(u, \omega) &= \omega' \omega'' + u' u'' + (1 - v) [(\omega')^2 + (u')^2] / (2r). \end{aligned}$$

Функции F_1^p , F_2^p учитывают влияние пластических свойств материала:

$$\begin{aligned} F_1^p &= \{(\varepsilon_2^\beta - \varepsilon_1^\beta)' + [r(\varepsilon_1^\beta)]' + (r\varepsilon_1^\alpha \omega')'\} / r; \\ F_2^p &= [\varepsilon_2^\alpha - \varepsilon_1^\alpha - r(\varepsilon_1^\alpha)'] / r, \end{aligned}$$

где штрих обозначает производную по r :

$$\begin{aligned} \varepsilon_1^\alpha &= \sum_{n=1}^N (\Delta_n^\alpha \varepsilon_1 + v \Delta_n^\alpha \varepsilon_2); \varepsilon_2^\alpha = \sum_{n=1}^N (\Delta_n^\alpha \varepsilon_2 + v \Delta_n^\alpha \varepsilon_1); \\ \varepsilon_1^\beta &= \sum_{n=1}^N (\Delta_n^\beta \varepsilon_1 + v \Delta_n^\beta \varepsilon_2); \varepsilon_2^\beta = \sum_{n=1}^N (\Delta_n^\beta \varepsilon_2 + v \Delta_n^\beta \varepsilon_1); \\ \Delta_n^\alpha \varepsilon_1 &= \frac{1}{h} \int_{-h/2}^{h/2} \Delta_n \varepsilon_1^p dz; \Delta_n^\beta \varepsilon_1 = \frac{1}{h} \int_{-h/2}^{h/2} \Delta_n \varepsilon_1^p dz. \end{aligned}$$

Здесь $l = 1; 2$. Напряжения, которые необходимы при вычислении упругопластических деформаций, рассчитываются по формулам вида:

$$\sigma_1 = E[\varepsilon_1 + v \varepsilon_2 - \sum_{n=1}^N (\Delta_n \varepsilon_1^p + v \Delta_n \varepsilon_2^p)] / (1 - v^2);$$

$$\sigma_2 = E[\varepsilon_2 + v\varepsilon_1 - \sum_{n=1}^N (\Delta_n \varepsilon_2^p + v\Delta_n \varepsilon_1^p)]/(1 - v^2);$$

$$\sigma_{12} = 1/2E(\varepsilon_{12} - \sum_{n=1}^N \Delta_n \varepsilon_{12}^p)/(1 - v^2),$$

где $\varepsilon_1 = u' + (\omega')^2/2 + (u')^2/2 - z\omega^n$, $\varepsilon_2 = u/r - z\omega'/r$.

Алгоритм численного решения уравнений (1), и том числе при учете взаимодействия пластины с жидкостью, подробно описан в [12].

Модель Тимошенко

Уравнения движения записываем, следуя [10], в виде

$$\begin{aligned} (rN_1)' - N_2 &= r\rho h\ddot{u}; \\ (rQ)' + r(N_1\omega')' &= r\rho h\ddot{\omega} - rP; \\ (rM_1)' - M_2 - rQ &= r\rho h^3\ddot{\psi}/12. \end{aligned} \quad (2)$$

Уравнения (2) являются частным случаем. Усилия и моменты в (2) связаны с деформациями следующими зависимостями:

$$\begin{aligned} N_1 &= Eh[\varepsilon_1^0 + v\varepsilon_2^0 - \sum_{n=1}^N (\Delta_n^\alpha \varepsilon_1^p + v\Delta_n^\alpha \varepsilon_2^p)]/(1 - v^2); \\ N_2 &= Eh[\varepsilon_2^0 + v\varepsilon_1^0 - \sum_{n=1}^N (\Delta_n^\alpha \varepsilon_2^p + v\Delta_n^\alpha \varepsilon_1^p)]/(1 - v^2); \\ M_1 &= D[\varepsilon_1^1 + v\varepsilon_2^1 - Eh \sum_{n=1}^N (\Delta_n^\beta \varepsilon_1^p + v\Delta_n^\beta \varepsilon_2^p)]/(1 - v^2); \\ M_2 &= D[\varepsilon_2^1 + v\varepsilon_1^1 - Eh \sum_{n=1}^N (\Delta_n^\beta \varepsilon_2^p + v\Delta_n^\beta \varepsilon_1^p)]/(1 - v^2); \\ Q &= \frac{k^2 Eh}{2(1+v)} \varepsilon_{13}^0 - \frac{E}{2(1+v)} \int_{-h/2}^{h/2} f(z) \sum_{n=1}^N \Delta_n \varepsilon_{13}^p dz; \\ f(z) &= 6(1/4 - z^2/h^2). \end{aligned}$$

Здесь $D = Eh^3(1+v)^{-1}/12$; $k^2 = 5/6$. Деформации $\varepsilon_1 = \varepsilon_1^0 + z\varepsilon_1^1$, $\varepsilon_2 = \varepsilon_2^0 + z\varepsilon_2^1$ выражаются через перемещения и Φ так: $\varepsilon_1^0 = u' + (\omega')^2/2$, $\varepsilon_2^0 = u/r$, $\varepsilon_1^1 = \psi'$, $\varepsilon_2^1 = \psi/r$, $\varepsilon_{13}^0 = \omega' + \psi$.

Напряжения определяются по формулам, аналогичным приведенным выше [12]. Расчеты по (2) проводились на основе схемы, пластические свойства материалов учитывались согласно алгоритму монографии [12].

3 Результаты расчетов

Цель численных исследований состояла в определении области применения уравнений (1), (2). Расчеты проводились для $R = 0,055$ м, $h = 2 \cdot 10^{-3}$ м и сплава Д16АТ в случаях, если геометрические и механические характеристики дополнительно не уточняются. На рис. 18 приведены результаты расчетов для импульсной нагрузки

$P = A \exp(\alpha t)$, равномерно распределенной по поверхности пластины: $A = 21, \alpha = 13500 \text{ с}^{-1}$. Кривая 1 определено по уравнениям модели Кармана (1), кривые 2, 3-по без моментной теории (1.2), причем кривая 2-без учета, а 3-с учетом изменения толщины пластины в процессе деформирования.

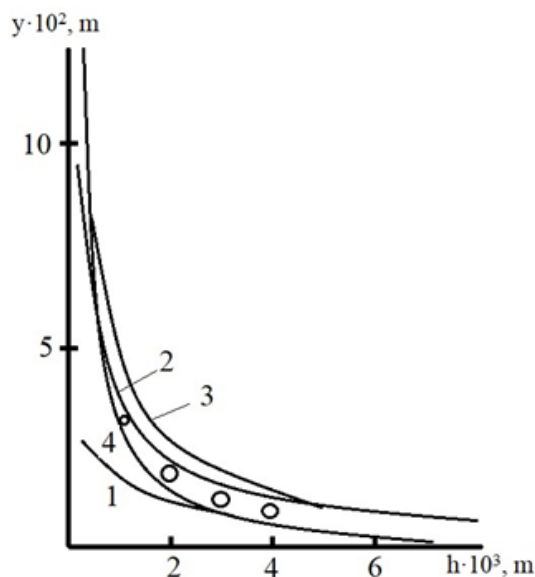


Рис. 1 Сопоставление результатов расчетов по моментной и безмоментной моделям пластин.

Кривая 4 рассчитана с использованием (1) на начальном этапе деформирования и без моментной теории - на заключительном этапе. Переход к расчету по без моментной теории осуществлялся после деформации пластины в оболочку плавно меняющейся кривизны или после того, как мембранные напряжения становились намного больше изгибных во всех точках оболочки. Накопленные пластические деформации усредняли по толщине и записывали для среднего слоя без моментной оболочки. Заметим, что при использовании без моментных уравнений вводилась искусственная вязкость после достижения максимального прогиба, причем $\mu = 10^{-3}$.

Точки на рис.1 выделяют остаточные прогибы, рассчитанные по (2). В последнем случае пластические деформации вычислялись на каждом шаге решения задачи исходя из найденных по (2) перемещений согласно алгоритму модели Кармана. Из рис.1 видно, что влияние изменения толщины начинает сказываться только при весьма больших деформациях, а уравнения (2) хорошо описывают моментный и без моментный этапы работы пластины. При расчетах она разбивалась на $N = 15$ частей по радиусу в случаях $h = 10^{-3}$ и $h = 2 \cdot 10^{-3}$ с шагом по времени $\tau = 1, 5 \cdot 10^{-7}$ и $3 \cdot 10^{-7}$ соответственно. При $h = 3 \cdot 10^{-3}$ и $h = 4 \cdot 10^{-3}$ принимаем $N = 10, \tau = 3 \cdot 10^{-7}$. Количество разбиений пластины по толщине при вычислении пластических деформаций равнялось шести при $h = 4 \cdot 10^{-3}$, в остальных случаях четырем.

Было проведено исследование точности определенного выше алгоритма расчета пластических деформаций в (2).

На рис.2 приведены прогибы пластины, рассчитанные для $N = 15, \tau = 3 \cdot 10^{-7}$ с учетом пластичности согласно модели Кармана (сплошные линии) и с учетом влияния Ψ (штриховые линии). Характер нагружения не изменялся. Верхние кривые рассчитаны для $\alpha = 5 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$, нижние — для $\alpha = 10^5 \text{ с}^{-1}$. Видно, что учет пластичности на основе модели Кармана обеспечивает хорошую точность расчетов.

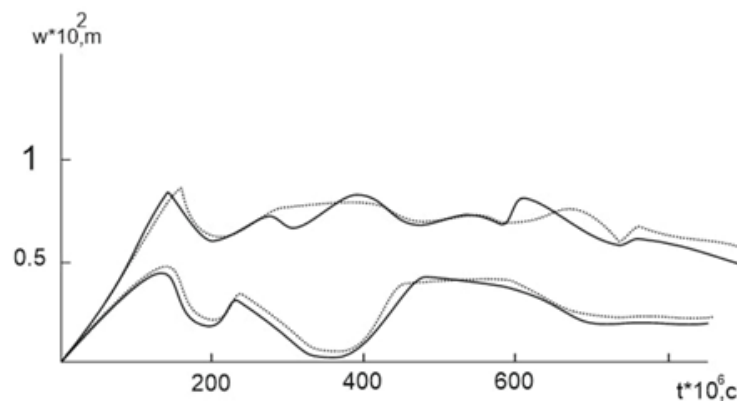


Рис. 2 Влияние на прогиб пластических деформаций, рассчитанных согласно моделям Кирхгофа – Лява и Тимошенко.

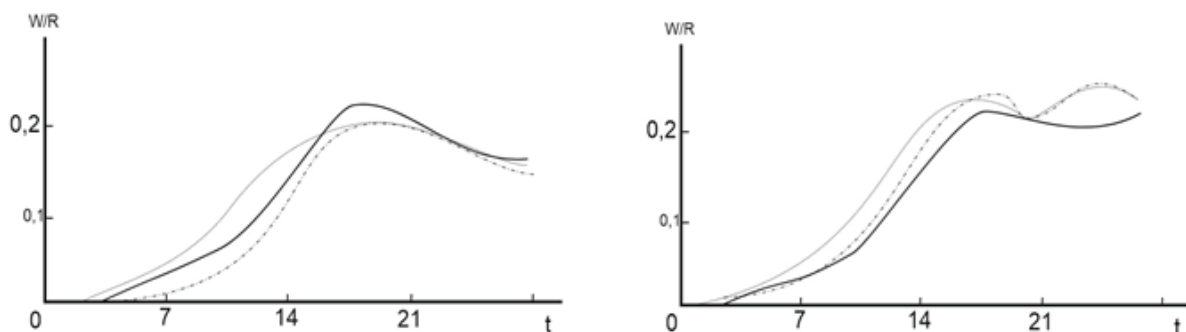


Рис. 3 Результаты тестовых расчета.

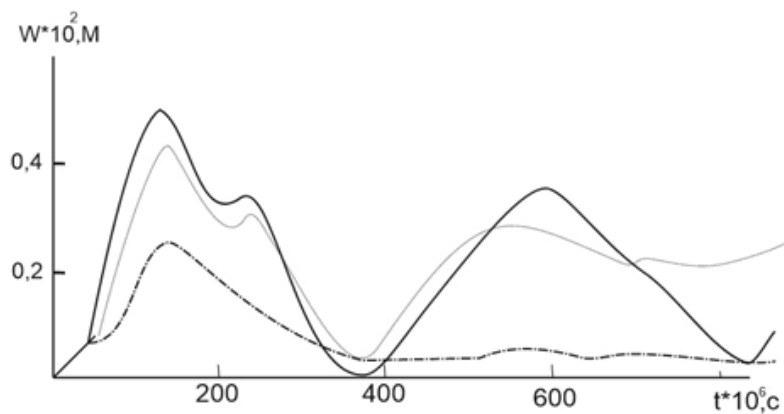


Рис. 4 Влияние вязкости изменения характера колебаний вязко упругопластических пластин.

На рис.3 дано сравнение результатов расчетов (2) с использованием модели Кармана при определении пластических деформаций (штриховые и штрихпунктирные кривые) с данными работы [1] (сплошные кривые) и для случаев нагружения пластины радиусом $R = 0,05$ с $h = 10^{-3}$ (рис. 3, α) и $h = 2,5 \cdot 10^{-3}$ (рис. 3, β). По оси абсцисс откладывается безразмерное время t_1 , определяемое по формуле $t = t\sqrt{E\rho^{-1}/(1-\nu^2)}/R$. Нагрузка быстро возрастает до амплитудного значения и далее остается постоянной. В [1] скорость возрастания нагрузки не конкретизировалась,

поэтому здесь рассмотрены случай мгновенного приложения нагрузки (штриховые кривые) и быстро возрастающей нагрузки (штрих-пунктирные кривые). Время возрастания задавали $18,3 \cdot 10^{-6}$ при $h = 10^{-3}$ и $50 \cdot 10^{-6}$ при $h = 2,5 \cdot 10^{-3}$. Оно практически не влияло на величину остаточного прогиба. Амплитуды нагрузки для $h = 1$; $h = 2,5$ мм равнялись соответственно 4; 10 МПа. Шаг по времени изменялся от 10^{-7} до $3 \cdot 10^{-7}$ с, количество разбиений - от 11 до 41, что не приводило к сколько-нибудь заметному изменению результатов расчетов по уравнениям (2).

Анализ рис. 2, 3 показывает, что учет Ψ не влияет на прогиб пластины, в частности расчет по уравнениям (2) очень хорошо согласуется с результатами использования более точных уравнений [1]. Сказанное важно потому, что учет Ψ существенно усложняет алгоритм расчета, он перестает работать при значительных деформациях.

Проведено исследование влияния вязкостных свойств материала на колебания пластины. Влияние вязкости учитывалось по формуле (1.11). Нагрузка изменялась по закону $P = Ae^{\alpha t}$, $A = 21$ МПа, $\alpha = 10^5 \text{ с}^{-1}$. Кривые изменения прогиба, рассчитанный для случаев $\mu=0$ (сплошная), $\mu = 10^{-3}$ (штриховая) $\mu = 5 \cdot 10^{-3}$ (штрихпунктирная), приведены на рис. 4. Видно, что вплоть до $\mu = 10^{-3}$ влияние вязкости и прогиб не является значительным в достаточно большом интервале времени.

4 Заключение

В результате проведенного исследования был выполнен теоретический и экспериментальный анализ влияния моментов на изгиб пластины при нестационарных напряжениях. Процесс деформации пластин изучен на основе моделей Кирхгофа-Лява и Тимошенко.

Результаты данного исследования имеют важное значение для проектирования конструкций, способных выдерживать динамические нагрузки, а также для точного прогнозирования влияния нестационарных нагрузок. Перспективные исследования могут быть направлены на изучение более сложных форм нестационарных нагрузок и дальнейшее совершенствование моделей.

Литература

- [1] Абросимов Н.А., Баженов В.Г. Исследование упругопластического деформирования круглых пластин при импульсном нагружении в неклассической постановки // Прикладные проблемы прочности и пластичности. Методы решения задач упругости и пластичности. – Горький. – 1981. – С. 64–68.
- [2] Reddy J.N. Theory and Analysis of Elastic Plates and Shells. CRC Press. – 2007.
- [3] Ravshanov N., Shadmanov I., Kubyashev K., Khikmatullaev S. Mathematical modeling and research of heat and moisture transfer processes in porous media. // In E3S Web of Conferences – Vol. 264. – 2021. – 01038. p. EDP Sciences.
- [4] Ravshanov N., Saidov U., Karshiev D., Bolnokin V.E. Mathematical model and numerical algorithm for studying suspension filtration in a porous medium considering the processes of colmatation and suffusion. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering – Vol. 862. – No. 6. 2020. May – 062003 p. IOP Publishing.
- [5] Галиев Ш.У., Каршиев А.Б. Численный анализ точности моделей ребристого сферического купола, подверженного импульсному нагружению // Пробл. прочности. – 1990. – №5. – С. 83–86.
- [6] Холмуродов Р.И., Каршиев А.Б. Расчет элементов конструкций с нарушениями регулярности структуры. Тошкент, Издательство имени Абу Али ибн Сино, 2002. – 288 с.

- [7] *Qarshiyev A.B., Kayumov A.A.* Momentlarning nostatsionar kuchlanish ostidagi plastinka egilishiga ta'sirining modeli. Raqamli texnologiyalarning nazariy va amaliy masalalari xalqaro jurnali. 7(3). – 2024. – B. 123–130. <https://doi.org/10.62132/ijdt.v7i3.206>
- [8] *Xudoynazarov X.X., Abdullayev O.* “Elastiklik nazariyasi masalalarini sonli yechish usullari.” 1995. SamDU.
- [9] *Галиев Ш.У., Каршиев А.Б.* Особенности неожиданного поведения плоских и искривленных пластин после снятия импульсной нагрузки // Пробл. прочности. – 1990. – N 3. – С. 95–98.
- [10] *Дресвянников В.И.* О численной реализации нелинейных уравнений динамики упругопластических оболочек // Прикл. пробл. прочности и пластичности. – Вып. 3. – С. 82–91.
- [11] *Галиев Ш.У., Каршиев А.Б., Абдирашидов А.* Особенности деформирования сферического купола при импульсном нагружении // Пробл. прочности. – 1989. – N 3. – С. 91–94.
- [12] *Timoshenko S., Woinowsky-Krieger S.* Theory of Plates and Shells. // McGraw-Hill. – 1959.
- [13] *Ventsel E., Krauthammer T.* Thin Plates and Shells: Theory, Analysis, and Applications. CRC Press. – 2001.
- [14] *Galiev S.U.* Extreme Waves and Shock-Excited Processes in Structures and Space Objects: Volume II (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003038498> – 2020.

Поступила в редакцию 04.02.2025

UDC 519.63

NUMERICAL STUDY OF THE INFLUENCE OF MOMENTS ON PLATE BENDING UNDER TRANSIENT LOADING

^{1*}*Kayumov A.A.*, ²*Iskandarova Sh.B.*

*abduvalikarshiyev@gmail.com

¹Samarkand branch of Tashkent University of Information Technologies,
140100, 47A, Shokhrukh Mirzo st., Samarkand, Uzbekistan;

²Samarkand branch of Tashkent State University of Economics,
51A, Professorskaya st., Samarkand, Uzbekistan.

This article is dedicated to the study of the bending characteristics of thin plates under transient loads. The deformation process of plates subjected to transient loads is analyzed based on the Kirchhoff-Love and Timoshenko models. The article examines the dynamic behavior of plates under transient loads through theoretical investigations, and the results are compared with experimental data. The findings of the study are of great importance for the design of relevant structures to ensure the strength of plates under dynamic loads. These conclusions help improve the durability of structures and accurately predict the effects of transient loads.

Keywords: strength, elasticity theory, plate bending, transient stresses, moment effects, Kirchhoff-Love model, Timoshenko model, dynamic loads, deformation process, experimental studies, structural durability.

Citation: Kayumov A.A., Iskandarova Sh.B. 2025. Numerical study of the influence of moments on plate bending under transient loading. *Problems of Computational and Applied Mathematics*. 1(63): 108-115.

ПРОБЛЕМЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ И ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ

№ 1(63) 2025

Журнал основан в 2015 году.

Издается 6 раз в год.

Учредитель:

Научно-исследовательский институт развития цифровых технологий и
искусственного интеллекта.

Главный редактор:

Равшанов Н.

Заместители главного редактора:

Азамов А.А., Арипов М.М., Шадиметов Х.М.

Ответственный секретарь:

Ахмедов Д.Д.

Редакционный совет:

Алоев Р.Д., Амиргалиев Е.Н. (Казахстан), Арушанов М.Л., Бурнашев В.Ф.,
Загребина С.А. (Россия), Задорин А.И. (Россия), Игнатьев Н.А.,
Ильин В.П. (Россия), Исмагилов И.И. (Россия), Кабанихин С.И. (Россия),
Карачик В.В. (Россия), Курбонов Н.М., Маматов Н.С., Мирзаев Н.М.,
Мухамадиев А.Ш., Назирова Э.Ш., Нормуродов Ч.Б., Нуралиев Ф.М.,
Опанасенко В.Н. (Украина), Расулмухамедов М.М., Расулов А.С., Садуллаева
Ш.А., Старовойтов В.В. (Беларусь), Хаётов А.Р., Халджигитов А., Хамдамов Р.Х.,
Хужаев И.К., Хужаеров Б.Х., Чье Ен Ун (Россия), Шабозов М.Ш. (Таджикистан),
Dimov I. (Болгария), Li Y. (США), Mascagni M. (США), Min A. (Германия),
Schaumburg H. (Германия), Singh D. (Южная Корея), Singh M. (Южная Корея).

Журнал зарегистрирован в Агентстве информации и массовых коммуникаций при
Администрации Президента Республики Узбекистан.

Регистрационное свидетельство №0856 от 5 августа 2015 года.

ISSN 2181-8460, eISSN 2181-046X

При перепечатке материалов ссылка на журнал обязательна.

За точность фактов и достоверность информации ответственность несут авторы.

Адрес редакции:

100125, г. Ташкент, м-в. Буз-2, 17А.

Тел.: +(998) 712-319-253, 712-319-249.

Э-почта: journals@airi.uz.

Веб-сайт: <https://journals.airi.uz>.

Дизайн и вёрстка:

Шарилов Х.Д.

Отпечатано в типографии НИИ РЦТИИ.

Подписано в печать 28.02.2025 г.

Формат 60x84 1/8. Заказ №1. Тираж 100 экз.

PROBLEMS OF COMPUTATIONAL AND APPLIED MATHEMATICS

No. 1(63) 2025

The journal was established in 2015.
6 issues are published per year.

Founder:

Digital Technologies and Artificial Intelligence Development Research Institute.

Editor-in-Chief:

Ravshanov N.

Deputy Editors:

Azamov A.A., Aripov M.M., Shadimetov Kh.M.

Executive Secretary:

Akhmedov D.D.

Editorial Council:

Aloev R.D., Amirgaliev E.N. (Kazakhstan), Arushanov M.L., Burnashev V.F.,
Zagrebina S.A. (Russia), Zadorin A.I. (Russia), Ignatiev N.A., Ilyin V.P. (Russia),
Ismagilov I.I. (Russia), Kabanikhin S.I. (Russia), Karachik V.V. (Russia), Kurbonov
N.M., Mamatov N.S., Mirzaev N.M., Mukhamadiev A.Sh., Nazirova E.Sh.,
Normurodov Ch.B., Nuraliev F.M., Opanasenko V.N. (Ukraine), Rasulov A.S.,
Sadullaeva Sh.A., Starovoitov V.V. (Belarus), Khayotov A.R., Khaldjigitov A.,
Khamdamov R.Kh., Khujaev I.K., Khujayorov B.Kh., Chye En Un (Russia),
Shabozov M.Sh. (Tajikistan), Dimov I. (Bulgaria), Li Y. (USA), Mascagni M. (USA),
Min A. (Germany), Schaumburg H. (Germany), Singh D. (South Korea),
Singh M. (South Korea).

The journal is registered by Agency of Information and Mass Communications under the
Administration of the President of the Republic of Uzbekistan.

The registration certificate No. 0856 of 5 August 2015.

ISSN 2181-8460, eISSN 2181-046X

At a reprint of materials the reference to the journal is obligatory.

Authors are responsible for the accuracy of the facts and reliability of the information.

Address:

100125, Tashkent, Buz-2, 17A.

Tel.: +(998) 712-319-253, 712-319-249.

E-mail: journals@airi.uz.

Web-site: <https://journals.airi.uz>.

Layout design:

Sharipov Kh.D.

DTAIDRI printing office.

Signed for print 28.02.2025

Format 60x84 1/8. Order No. 1. Printed copies 100.

Содержание

Алимова Н.Б., Паровик Р.И.

Осциллятор ФитцХью-Нагумо с переменной наследственностью и внешним воздействием 5

Хакназарова Д., Садуллаев С., Муродуллаев Б.

Численное моделирование процесса геофильтрации на орошаемых землях с учетом физических факторов 17

Набиева И.С.

Численное моделирование переноса и диффузии загрязняющих частиц с учетом характеристик воздушного потока и температуры 27

Равшанов Н., Садуллаев С., Шадманова К.У., Журабаев Х.А.

Исследование и анализ математических моделей процессов фильтрации подземных вод в многослойных неоднородных пористых средах 41

Таштемирова Н.

Математическая модель и численный алгоритм для исследования процесса распространения пылевых и мелкодисперсных аэрозолей в атмосфере 57

Боборахимов Б.И.

Численное моделирование турбулентного переноса примесей в пространственно неоднородной среде атмосферы 77

Икрамов А.М.

Численное моделирование трехмерных нестационарных процессов теплопроводности в неоднородных телах 99

Каюмов А.А., Искандарова Ш.Б.

Численное исследование влияния моментов на изгиб пластины при нестационарном нагружении 108

Бердимуратов М.Б.

Сравнительный анализ оценки неизвестных параметров гамма-распределения с цензурированными справа данными в неполных статистических моделях . 116

Contents

Alimova N.B., Parovik R.I.

FitzHugh-Nagumo oscillator with variable heredity and external forcing 5

Haknazarova D., Sadullaev S., Murodullaev B.

Numerical modeling of the geofiltration process on irrigated lands taking into account physical factors 17

Nabieva I.S.

Numerical modeling of the transport and diffusion of pollutant particles taking into account airflow characteristics and temperature 27

Ravshanov N., Sadullayev S., Shadmanova K.U., Jurabaev Kh.A.

Study and analysis of mathematical models of groundwater filtration processes in multilayer heterogeneous porous media 41

Tashtemirova N.

Mathematical model and numerical algorithm for studying the process of dispersion of dust and fine aerosols in the atmosphere 57

Boborakhimov B.I.

Numerical modeling of turbulent transport of impurities in a spatially inhomogeneous atmospheric environment 77

Ikramov A.M.

Numerical modeling of three-dimensional unsteady heat conduction processes in inhomogeneous bodies 99

Kayumov A.A., Iskandarova Sh.B.

Numerical study of the influence of moments on plate bending under transient loading 108

Berdimuradov M.B.

Comparative analysis of unknown parameter estimation of the gamma distribution with right-censored data in incomplete statistical models 116

HISOBLASH VA AMALIY MATEMATIKA MUAMMOLARI

ПРОБЛЕМЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ
И ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ
PROBLEMS OF COMPUTATIONAL
AND APPLIED MATHEMATICS

