

C. B. Серегин

## ИЗГИБНО-КРУТИЛЬНЫЕ КОЛЕБАНИЯ БИСИММЕТРИЧНОГО ТОНКОСТЕННОГО СТЕРЖНЯ КАК СИСТЕМЫ СВЯЗАННЫХ ПЛАСТИН

*Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет*

**Аннотация.** Методом конечных элементов в «MSC Nastran» изучаются динамические характеристики стального тонкостенного горячекатаного двутавра. Предложена математическая модель, рассматривающая стержень как пространственную конструкцию, выполненную из сопряженных между собой пластин. Полученные численные результаты сопоставляются с известным теоретическим решением В. З. Власова и решением, учитывающим деформации сдвига в срединной поверхности. Обнаружено, что переход к пространственной конструкции стержня в ряде случаев сопровождается появлением новых частот. Увеличение номера профиля двутавра ведет к сгущению частотного спектра. Выявленные эффекты не отражаются в балочной теории тонкостенных стержней.

**Ключевые слова:** изгибно-крутильные колебания тонкостенного стержня, системы связанных пластин, пространственная конструкция, пластинчатые свойства.

УДК: 539.3:534.1

**Введение.** Тонкостенные стержни находят широкое применение во многих отраслях промышленности и строительства. Условия эксплуатации стержневых конструкций выдвигают высокие требования к прочностным характеристикам, что побуждает искать, либо новые технические решения [1], [2], [3], либо более точные математические модели и методики расчета [4], [5], [6], [7]. Проектируемые в современных пакетах конечно-элементного анализа колонны, балки, ригеля моделируются в виде стержневых элементов, которые рассчитываются с помощью балочных теорий, состоящих из различных гипотез. В настоящей работе предлагается иной подход к построению математической модели.

**Математическая модель.** В отличие от традиционной модели, будем рассматривать стержень, как не одноосную систему (балочная идеализация), а как пространственную конструкцию, выполненную из сопряженных между собой пластин [8] [9].

**Численное исследование динамического поведения двутавра МКЭ в MSC «Nastran».** Рассматриваются свободные колебания двутавра стального горячекатаного с параллельными гранями полок № 20Б1. При моделировании и разбиении стержня на конечные элементы (КЭ) использовались двумерные (плоские) КЭ прямоугольной формы – Plate, учитывающие все внутренние силовые факторы и геометрию. Элементы воспринимают тангенциальные, сдвиговые, поперечные и изгибные нагрузки. Результаты численного расчета новой математической модели и расчеты, выполненные с использованием теории В. З. Власова [10] и уточненной теории, учитывающей деформации сдвига [7], сведены в таблицу 1.

Таблица 1

**Частоты изгибно-крутильных колебаний тонкостенного стержня**

Порядковый номер частоты в спектре	Новая мат. модель (система связанных пластин), $\omega_{\text{МКЭ}}$ , Гц	По В. З. Власову [10], $\omega_i$ , Гц	С учетом деформаций сдвига [7], $\omega_i$ , Гц
1	39	43	42
2	60	62	61
3	132	163	162
4	149	176	166
5	199	205	196
6	267	363	366
7	353	444	415
8	382	515	589

Рис. 1 демонстрирует безразмерную частоту  $\Omega_n = \omega_i / \omega_{\text{МКЭ}}$ , где  $\omega_i$  – частота колебаний стержня, определенная теоретически (по теории В. З. Власова или по теории, учитывющей деформации сдвига),  $\omega_{\text{МКЭ}}$  – частота, определенная МКЭ, согласно новой математической модели. Синим цветом представлено новое решение, взятое за эталон. Красным цветом – решение по В. З. Власову. Зеленым – решение с учетом деформаций сдвига.

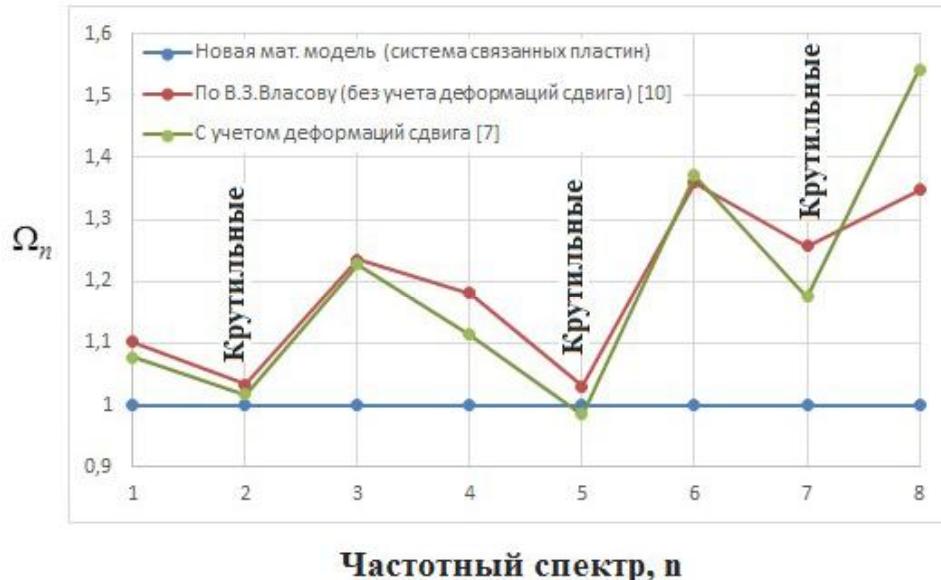


Рис. 1. Безразмерная частота изгибно-крутильных колебаний двутавра № 20Б1

Видно, что частоты колебаний двутавра, смоделированного системой связанных пластин, ниже, чем по теоретическим решениям, причем рассогласования в частотах изгибных колебаний значительны. Крутильные колебания при  $n = 2, n = 5$  практически одного значения. И, как показано в работе [8], величина рассогласования зависит от геометрических параметров стержня.

На рис. 2 представлены частоты свободных колебаний двутавра: а) № 35Б1; б) № 80Б1. Обозначения сохранены.

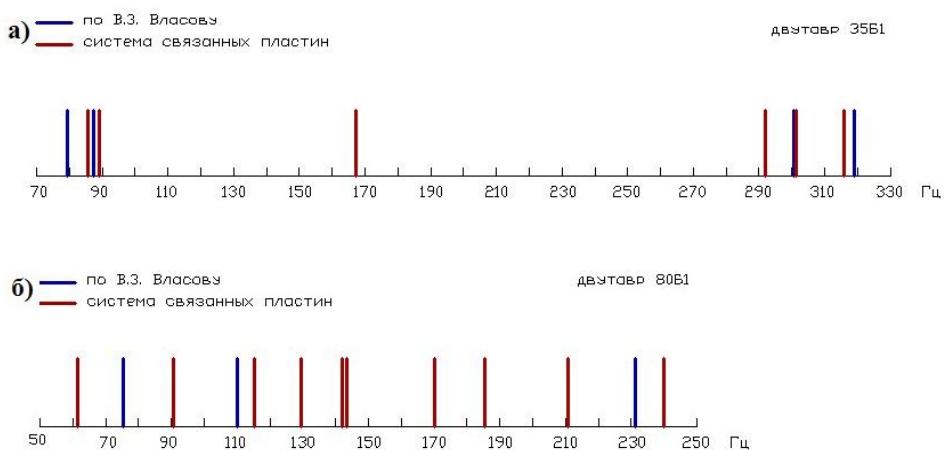


Рис. 2. Частотный спектр свободных колебаний двутавра: а) № 35Б1; б) № 80Б1

Выявлено, что в спектре присутствуют частоты, которые не отражаются в теоретическом решении [7], [10]. Причем увеличение номера двутавра, то есть относительное увеличение стенки и полок профиля, сгущает частотный спектр свободных колебаний стержня, смоделированного системой связанных пластин. Отмечается и близость частот (рис. 2б).

В условиях эксплуатации в конструкциях из тонкостенных стержневых элементов данное обстоятельство может привести к аварийным последствиям.

**Основные выводы.** Как показывают расчеты, балочная идеализация, используемая в конечно-элементном анализе современных расчетных программ, может привести к значительным погрешностям при определении собственных динамических характеристик тонкостенных стержней. Необходимо учитывать пространственную работу тонкостенного стержня, предложенную в настоящей работе и в [8], [9].

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Серегин, С. В. Патент на изобретение № 2531980 РОСПАТЕНТ / С. В. Серегин // Предварительно – напряженная ферма оболочечного типа из легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК); заявл. № 2013134682/03 зарег. 23.07. 2013 г.
- [2] Серегин, С. В. Патент на полезную модель № 131028 РОСПАТЕНТ / С. В. Серегин // Вертикальная пластинчатая связь; заявл. № 2013112311 зарег. от 10.08.2013; приоритет от 19.03. 2013 г.
- [3] Лейзерович, Г. С. Патент на полезную модель № 137311 РОСПАТЕНТ / Г. С. Лейзерович, С. В. Серегин // Предварительно-напряженная ферма из легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК); заявл. № 2013134780 зарег. от 10.02.2014; приоритет от 23.07. 2013.

- [4] Тимошенко, С. П. Теория колебаний в инженерном деле / С. П. Тимошенко., 1932. – 220 с.
- [5] Корбут, Б. А. О динамической теории тонкостенных криволинейных стержней / Б. А. Корбут, Г. В. Лазарева, Г. В. Кучка // Прикл. механика. – 1982. Т. XXIII – № 5. – С. 98–104. 117–120.
- [6] Бейлин, Е. А. Определение частот свободных изгибо-крутильных колебаний тонкостенных криволинейных стержней с учетом деформации вращения сечений / Е. А. Бейлин, Г. В. Лазарева, Г. В. Кучка // Ленингр. инж. строит. инст. – Л., – 1985. 13 с. Деп. ВИНИТИ, 20.08.85 № 6143-85 ДЕП.
- [7] Мещеряков, В. Б. Статика, динамика и устойчивость тонкостенных стержней с учетом деформаций сдвига / В. Б. Мещеряков. – М. : Изд-во АСВ, 2014. – 264 с.
- [8] Серегин, С. В. Влияние пластичных свойств тонкостенных стержней, смоделированных системой связанных пластин, на частоты и формы собственных колебаний / С. В. Серегин // Вестник МГСУ. – 2014. – № 3. – С. 92–98.
- [9] Серегин, С. В. О собственных крутильных колебаниях тонкостенных стержней открыто-го профиля / С. В. Серегин // Известия высших учебных заведений: Строительство. – 2014. – № 1. – С. 101–107.
- [10] Власов, В. З. Тонкостенные упругие стержни / В. З. Власов. – М. : Физматгиз, 1959. – 568 с.

Серегин Сергей Валерьевич,  
старший преподаватель кафедры "Строительство и архитектура", Комсомольский-на-Амуре  
государственный технический университет, г. Комсомольск-на-Амуре

e-mail: Seregin-komsHome@yandex.ru

S. V. Seregin

**FLEXURAL-TORSIONAL VIBRATIONS OF THIN-WALLED BEAM, AS THE A SYSTEM OF CONNECTED PLATES**

*Komsomolsk-na-Amure State Technical University*

**Abstract.** Finite element method in «MSC Nastran» study the dynamic characteristics of the hot-rolled thin-walled steel I-beam. A mathematical model that considers the rod as the spatial construction made of a of articulated plates are offer. The obtained numerical results are compared with the known theoretical solution V.Z. Vlasov and decisions considering shear deformation in the middle plane. It is found that the transition to the spatial design of the rod, in some cases, accompanied by the appearance of new frequencies. Increasing numbers I-beam profile leads to thicken the frequency spectrum. Identified effects are not reflected in the theory of thin-walled beam.

**Keywords:** flexural-torsional vibrations of thin-walled beam, as the a system of connected plates, spatial construction, plate properties.

**REFERENCES**

- [1] *Seregin, S. V.* The patent for invention № 2,531,980 ROSPATENT / S. V. Seregin // Previously – voltage farm shell type of light steel thin-walled structures; Appl. № 2013134682/03 eV. 23.07. 2013
- [2] *Seregin, S. V.* A utility model patent № 131028 ROSPATENT / S. V. Seregin // Vertical plate connection; Appl. № 2013112311 eV. from 08.10.2013; priority of 19.03. 2013
- [3] *Leizerovich, G. S.* A utility model patent № 137,311 ROSPATENT / G. S. Leizerovich, S. V. Seregin // Previously - Voltage farm of light steel thin-walled structures (LSTC ); appl. № 2013134780 eV. from 02.10.2014; priority of 23.07. 2013.
- [4] *Tymoshenko, S. N.* Theory of oscillations in engineering / S. N. Tymoshenko, 1932. – 220 p.
- [5] *Korbut, B. A.* On the dynamical theory of thin-walled curved rods / B. A. Korbut, G. Lazarev, G. Bunch // Applied. mechanics. – 1982. – Vol. XXIII. – № 5. – S. 98–104.
- [6] *Beilin, E. A.* Determining the frequency of free flexural-torsional vibrations of thin-walled curved rods considering deformation rotation of sections / E. A. Beilin, G. Lazarev, G. Heap // Leningrad. Ing. builds. inst. L. – 1985. – 13 p. Dep. VINITI, 20.08.85 № 6143–85 Dep.
- [7] *Mescheryakov, V. B.* Statics, dynamics and stability of thin-walled bars considering shear deformation / V. B. Mescheryakov. – M. : Univ DIA, 2014. – 264 p.
- [8] *Seregin, S. V.* The influence properties of thin-walled plate, modeled a system of coupled plates on the frequency and forms of natural vibrations / S. V. Seregin // Bulletin MGSU. – 2014. – № 3. – S. 92–98.
- [9] *Seregin, S. V.* On free torsional vibrations of thin-walled rods open profile / S. V. Seregin // News of higher educational institutions: Building. – 2014. – № 1. – S. 101–107.
- [10] *Vlasov, V. W.* Thin-walled elastic rods / V. W. Vlasov. – M. : Fizmatgiz, 1959. – 568 p.

*Seregin, Sergei Valerevich*

Senior lecturer in "Building and Architecture", Komsomolsk-on-Amur State Technical University, Komsomolsk-on-Amur