

# Экспериментальное определение момента инерции гофробалки на чистое кручение

**Наталья Геннадьевна СИЛИНА**<sup>1</sup>, исполнительный директор,  
e-mail: n.silina@stako.ru

**Сергей Александрович МАКЕЕВ**<sup>2</sup>, доктор технических наук,  
e-mail: makeev608079@mail.ru

**Андрей Александрович КОМЛЕВ**<sup>2</sup>, кандидат технических наук,  
e-mail: komlev-12@yandex.ru

**Сергей Александрович МАТВЕЕВ**<sup>2</sup>, доктор технических наук,  
e-mail: dfsibadi@mail.ru

<sup>1</sup> ЗАО «ЦНИИПСК им. Мельникова», 117997 Москва, ул. Архитектора Власова, 49

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)»,  
644080 Омск, просп. Мира, 5

**Аннотация.** В российских, казахстанских и европейских нормах вопрос расчета момента инерции сечения балок с гофрированной стенкой на чистое кручение остается открытым. Этот параметр используется для расчета двутавровых балок на общую устойчивость из плоскости стенки. В данной работе представлены результаты расчетов момента инерции сечения экспериментальной двутавровой балки с поперечно-гофрированной стенкой на чистое кручение и момента инерции на чистое кручение такой балки как стержневого элемента с учетом опорных ребер, создающих режим стесненного кручения, ограничивающих деформацию сечений по различным методикам (как двутаврового сечения с плоской стенкой; аналитическо-эмпирическое решение А. Н. Степаненко, которое учитывает параметры гофр стенки; численное решение в программном комплексе ЛИРА-САПР как для балки, выполненной в виде пространственной системы из пластинчатых элементов) и сравнение с результатами, полученными авторами экспериментально. Для проведения этого исследования был разработан и реализован экспериментальный стенд, позволяющий в режиме чистого кручения фиксировать угол поворота торцевого сечения консольной гофробалки в зависимости от крутящего момента с последующим пересчетом этой величины в значение момента инерции балки на чистое кручение. Испытаниям были подвержены три экспериментальных образца гофробалок с синусоидальной стенкой.

**Ключевые слова:** гофробалка, общая устойчивость балки из плоскости стенки, момент инерции сечения гофробалки на чистое кручение.

## EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE MOMENT OF INERTIA OF A GOFRO-BEAM FOR PURE TORSION

**Natalya G. SILINA**<sup>1</sup>, e-mail: n.silina@stako.ru

**Sergey A. MAKEEV**<sup>2</sup>, e-mail: makeev608079@mail.ru

**Andrey A. KOMLEV**<sup>2</sup>, e-mail: komlev-12@yandex.ru

**Sergey A. MATVEEV**<sup>2</sup>, e-mail: dfsibadi@mail.ru

<sup>1</sup> Melnikov Central Research and Design Institute of Steel Structures, ul. Arkhitekтора Vlasova, 49, Moscow 117997, Russian Federation

<sup>2</sup> Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), prospekt Mira, 5, Omsk 644080, Russian Federation

**Abstract.** In Russian, Kazakh and European standards, the question of calculating the moment of inertia of beams with a corrugated wall for pure torsion remains open. This parameter is used to calculate I-beams for overall stability from the wall plane. This paper presents the results of calculations of the moment of inertia of the cross-section of an experimental I-beam with a cross-corrugated wall for pure torsion and the moment of inertia for pure torsion of such a beam as a rod element, taking into account the support ribs that create a mode of constrained torsion, limiting the deforming of sections according to various methods (as an I-beam with a flat wall; analytical and empirical solution by A. N. Stepanenko, which takes into account the parameters of the corrugation of the wall; numerical solution in the LIRA-SAPR software package as for a beam made in the form of a spatial system of plate elements) and comparison with the results obtained by the authors experimentally. To carry out this study, an experimental stand was developed and implemented that allows, in the mode of pure torsion, to fix the angle of rotation of the end section of the cantilever corrugator depending on the torque, followed by recalculation of this value into the value of the moment of inertia of the beam for pure torsion. Three experimental samples of corrugated tubes with a sinusoidal wall were subjected to tests.

**Key words:** gofro-beam, overall stability of the beam from the wall plane, moment of inertia of gofro-beam for pure torsion.

## Введение

Эффективность применения в строительстве балок, колонн и ригелей двутаврового сечения с гофрированной стенкой подтверждена в многочисленных исследованиях отечественных и зарубежных авторов [1–5]. В работах [6–9] приводятся исследования несущей способности гофробалок по критериям прочности, общей устойчивости при изгибе, местной устойчивости полок, местной устойчивости стенок. При этом рассматриваются конструкции стенок балок, колонн волнистой формы (син-балки), трапецевидной и треугольной формы [10, 11].

Известен опыт применения гофробалок в качестве несущих конструкций морских транспортных и промысловых судов [12].

Начало широкого применения элементов с гофрированной стенкой в строительстве сопровождалось разработкой первых норм проектирования таких конструкций. Европейские нормы DIN 18 800 «Стальные конструкции. Выбор параметров и конструирование. Ч. 2», нормы Республики Казахстан РДС РК 5.04-24-2006 «Сортамент сварных двутавровых профилей с гофрированными стенками», нормы компании ZEMAN (Австрия) «Дополнительные требования к проектированию элементов двутаврового сечения с гофрированной стенкой», российские нормы СП 294.1325800.2017 «Конструкции стальные. Правила проектирования» (с изм. № 1).

Исследования в области проектирования и расчета элементов с гофрированной стенкой постоянно совершенствуются.

Одним из этапов расчета несущей способности гофробалок является расчет общей устойчивости балки при изгибе в плоскости стенки с определением предельной нагрузки на балку.

В современных российских и зарубежных нормах расчет общей устойчивости гофробалок выполняется весьма приближенно, путем расчета на общую продольную устойчивость отдельно взятой сжатой верхней полки балки из плоскости стенки как центрально-сжатого стержневого элемента без учета подкрепляющего эффекта от совместной работы элементов балки.

В известной апробированной методике расчета двутавровых балок с плоской стенкой на общую устойчивость (СП 16.13330.2017 «СНиП II-23-81\* Стальные конструкции») используется параметр «момент инерции сечения балки при чистом кручении»  $J_t$ , см<sup>4</sup>.

В российских, казахстанских и европейских нормах вопрос расчета момента инерции сечения балок с гофрированной стенкой на чистое кручение остается открытым. Более того, отсутствуют источники, подтверждающие экспериментальную проверку адекватности существующих методик расчета параметра  $J_t$ .

В данной работе рассмотрены следующие методики расчета этого параметра:

- по СП 16.13330 (прил. Д), как двутаврового сечения с плоской стенкой [13];
- аналитическо-эмпирическое решение А. Н. Степаненко [14], которое учитывает параметры синусоидальной гофр стенки;
- численное решение в программном комплексе (ПК) ЛИРА-САПР, как для балки, выполненной в виде пространственной системы из пластинчатых элементов [13, 14].

Для проверки адекватности полученных расчетных значений  $J_t$  был разработан экспериментальный стенд, позволяющий в режиме чистого кручения фиксировать угол поворота торцевого сечения  $\varphi$  консольной гофробалки в зависимости от крутящего

момента  $M_k$  с последующим пересчетом этой величины в значение момента инерции балки на чистое кручение.

Испытаниям были подвержены три экспериментальных образца гофробалок с синусоидальной стенкой производства ЗАО «МАГСИБМЕТ» (г. Красноярск): пролет  $L = 6$  м, сечение полок  $b_n \cdot t_n = 100 \cdot 6$  мм, высота балок  $H = 261$  мм, расстояние между центрами тяжести полок  $h = 255$  мм, толщина стенки  $t_w = 2$  мм, шаг синусоиды гофр  $l = 145$  мм, амплитуда гофр  $f = \pm 20$  мм, сталь С235,  $R_y = 230$  МПа. Проведенные обмерные работы показали, что отклонения геометрических размеров элементов экспериментальных гофробалок лежат в пределах строительных допусков (ГОСТ 23118–2019 «Конструкции стальные строительные. Общетеchnические условия»).

Цель работы — расчет момента инерции по существующим методикам и сравнение с данными, полученными авторами экспериментально.

Следует различать примененные в работе термины «момент инерции сечения гофробалки» и «момент инерции гофробалки». Первый термин является не совсем определенным ввиду того, что в сечении гофробалки положение сечения стенки является плавающим в пределах амплитуды волны синусоиды. Под вторым термином понимается интегральная характеристика гофробалки как цельного стержневого элемента с учетом опорных ребер, создающих режим стесненного кручения, ограничивающих деформацию сечений балки.

## Расчетный этап исследований

1. Расчет момента инерции сечения экспериментальных гофробалок на чистое кручение  $J_t$  по СП 16.13330, как двутаврового сечения с плоской стенкой:

$$J_t = \left(\frac{1,29}{3}\right) \sum b_i t_i^3 = \quad (1)$$

$$= \left(\frac{1,29}{3}\right) (2 \cdot 100 \cdot 6^3 + 249 \cdot 2^3) =$$

$$= 19\,433 \text{ мм}^4 = 1,9433 \text{ см}^4.$$

2. Расчет момента инерции сечения экспериментальных гофробалок на чистое кручение  $J_t$  по А. Н. Степаненко [14]:

$$J_t = k_f J_{t0}, \quad (2)$$

где коэффициент  $k_f = 1 + d$ , при этом  $d$  определяется уравнением множественной регрессии Д. Брандона:

$$d = \frac{f}{l} (0,082 + 5,03 \frac{f}{l}) \times \quad (3)$$

$$\times \left(1,721 - 0,024 \frac{b_{II}}{t_{II}}\right) \times$$

$$\times \left(1,016 - 0,000069 \frac{h_w}{t_w}\right),$$

а параметр  $J_{t0} = J_t = 1,9433 \text{ см}^4$ .

Вычислим составляющие формулы (3):

- $f/l = 20/145 = 0,138$  – отношение амплитуды волны гофр к периоду;
- $b_{II}/t_{II} = 100/6 = 16,667$  – отношение ширины к толщине полки;
- $h_w/t_w = 249/2 = 124,5$  – отношение высоты стенки к толщине стенки.

Значит:

$$d = 0,138(0,082 + 5,03 \cdot 0,138) \times$$

$$\times (1,721 - 0,024 \cdot 16,667) \times$$

$$\times (1,016 - 0,000069 \cdot 124,5) =$$

$$= 0,1425.$$

Тогда аналитическое значение момента инерции сечения расчетной гофробалки на чистое кручение по А. Н. Степаненко равно:

$$J_t = k_f J_{t0} = (1 + d) J_{t0} = \quad (4)$$

$$= (1 + 0,1425) \cdot 19433 =$$

$$= 22\,202 \text{ мм}^4 = 2,2202 \text{ см}^4.$$

3. Для численного решения в

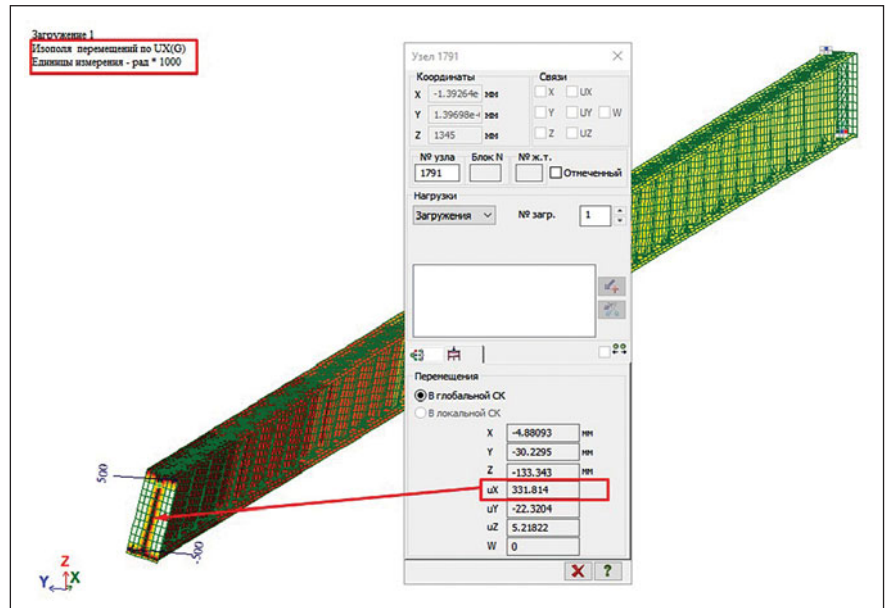


Рис. 1. Модель экспериментальной гофробалки в ПК ЛИРА-САПР как консольного стержневого элемента в режиме кручения

ПК ЛИРА-САПР балки, выполненной в виде пространственной системы из пластинчатых элементов, разработана пластинчатая модель экспериментальной гофробалки с закреплением по консольной схеме с приложением на свободном конце крутящего момента  $M_t = 500 \cdot 255 = 127\,500 \text{ Н}\cdot\text{м}$  (рис. 1).

При этом определен угол поворота сечения в месте приложения крутящего момента  $\varphi = 0,3318 \text{ рад}$ . Загружение выполнено в упругой области деформирования стали: максимальные эквивалентные напряжения по Мизесу составили  $71,5 \text{ МПа}$ .

Исходя из полученного значения угла поворота сечения при кручении гофробалки по известной зависимости определен момент инерции пластинчатой модели экспериментальной гофробалки на чистое кручение в ПК ЛИРА-САПР:

$$J_t = \frac{M_t L}{G \varphi} = \quad (5)$$

$$= \frac{500 \cdot 255 \cdot 6000}{82000 \cdot 0,3318} =$$

$$= 28\,117 \text{ мм}^4 = 2,8117 \text{ см}^4.$$

### Экспериментальный стенд и результаты испытаний

Экспериментальный стенд (рис. 2) представляет собой консольно закрепленную гофробалку с шарнирно-неподвижной опорой № 1 и жесткой опорой № 2 (пролет  $L = 6 \text{ м}$ , сечение полок  $b_{II} \cdot t_{II} = 100 \cdot 6 \text{ мм}$ , высота балок  $H = 261 \text{ мм}$ , расстояние между центрами тяжести полок  $h = 255 \text{ мм}$ , толщина стенки  $t_w = 2 \text{ мм}$ , шаг синусоиды гофр  $l = 145 \text{ мм}$ , амплитуда гофр  $f = \pm 20 \text{ мм}$ ).

При нагружении гофробалки крутящим моментом  $M_t = PS$  (подвешивание тарированного груза  $P = 89,075 \text{ Н}$  на рычаг с плечом  $S = 200 \text{ мм}, 300 \text{ мм}, 400 \text{ мм}$ ) сечение в опоре № 1 поворачивается на угол  $\varphi$ , что фиксируется отклонением лазерного луча  $\Delta$  на нормальном к нулевому положению луча экране, размещенном на расстоянии  $R = 2982 \text{ мм}$  от оси балки.

При этом угол поворота определяется выражением:

$$\varphi = \arctg\left(\frac{\Delta}{R}\right). \quad (6)$$

Далее по формуле (5) вычисляется значение момента инер-

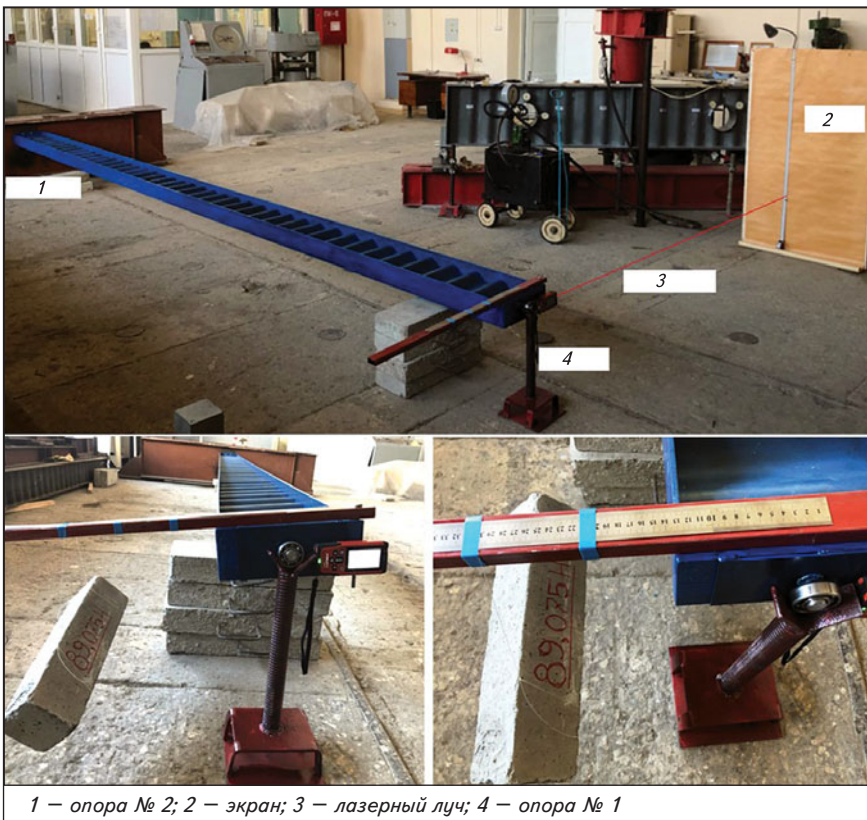


Рис. 2. Общий вид экспериментальной установки в действии

Значения момента инерции сечения экспериментальной гофробалки на чистое кручение или момента инерции гофробалки как стержневого элемента

Метод получения параметра	$J_t, \text{мм}^4$
Расчет по СП 16.13330 (прил. Д), как двутаврового сечения с плоской стенкой	19 433
Аналитическо-эмпирическое решение А. Н. Степаненко момента инерции сечения гофробалки, которое учитывает параметры синусоидальных гофр стенки	22 202
Численное решение в ПК ЛИРА-САПР, как для балки, выполненной в виде пространственной системы из пластинчатых элементов	28 117
Экспериментально полученное значение	25 025

ции экспериментальной гофробалки на чистое кручение:

$$J_t = \frac{M_t L}{G\varphi}. \quad (7)$$

В соответствии с разработанной программой испытаний, каждая из трех экспериментальных балок загружалась тремя значениями крутящих моментов  $M_t$  в пределах упругих деформаций стали (17,815 Н·м, 26,723 Н·м, 35,63 Н·м). Каждое нагружение

дублировалось до 5–7 раз, при этом нагруженное и разгруженное состояния сопровождались выдержкой до 10 с.

Испытания проводились при установке балки с вертикальной (рис. 3) и горизонтальной (см. рис. 2) ориентацией стенки. В результате измерений не удалось зафиксировать разницу в отклонении лазерного луча  $\Delta$  при частных нагружениях, т. е. ориентация гофробалки в про-

странстве практически не влияет на результаты измерений.

После статистической обработки данных, полученных при испытании трех экспериментальных образцов гофробалок, определено усредненное значение момента инерции экспериментальной гофробалки на чистое кручение  $J_t = 25\,024,55 \text{ мм}^4 = 2,5025 \text{ см}^4$ .

### Обсуждение результатов и задачи дальнейших исследований

Результаты исследования сведены для сравнения в таблицу.

Будем считать экспериментально полученное значение  $J_t = 25\,025 \text{ мм}^4$  за истинное, интегрально учитывающее все несовершенства, дефекты и повреждения конструкции как геометрического, так и механического вида, имеющиеся в конструкции в пределах строительных допусков.

Аналитическо-эмпирическое решение по А. Н. Степаненко  $J_t = 22\,202 \text{ мм}^4$  и численное решение в ПК ЛИРА-САПР  $J_t = 28\,117 \text{ мм}^4$ , как для балки, выполненной в виде пространственной системы из пластинчатых элементов, будем считать идеальными значениями. Здесь не учитываются геометрические несовершенства формы, все идеально, все прямое, одинаковое, не имеющее каких-либо отклонений геометрии.

Логические рассуждения приводят к выводу, что идеальное значение  $J_t$  не может быть меньше экспериментального. В частности, такой опыт есть в СП 16.13330 при расчете общей устойчивости центрально-сжатых стержневых элементов (п. 7.1.3): критическая продольная сила по Эйлеру (для идеальных схем стержней и опор) имеет всегда большее на 10–30 % значение в зависимости от гибкости элемента, чем определенное по СП 16.13330 с учетом неидеальности конструкции.

Это значит, что аналитическо-

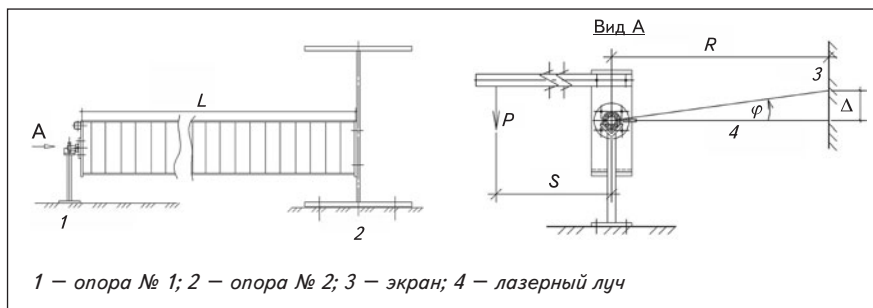


Рис. 3. Схема экспериментальной установки с основными обозначениями

эмпирическое решение А. Н. Степаненко  $J_t = 22\ 202\ \text{мм}^4$  не соответствует реальным положениям строительной механики и в дальнейшем следует ориентироваться на значение, полученное в ПК ЛИРА-САПР.

Задачами дальнейших исследований являются:

- экспериментальное определение равномерно распределенной нагрузки, приложенной к верхней полке в плоскости стенки, доставляющей общую потерю устойчивости гофробалки из плоскости стенки, и сравнение этой величины со значением критической нагрузки, определенной по СП 16.13330 (п. 8.4.1, прил. Ж), с моментом инерции экспериментальной гофробалки на чистое кручение, определенное в ПК ЛИРА-САПР  $J_t = 28\ 117\ \text{мм}^4$ ;
- при получении адекватных ре-

зультатов необходимо разработать методику уточненного (в сравнении с А. Н. Степаненко) аналитическо-эмпирического расчета параметра  $J_t$  на примере конкретного сортамента гофробалок, например сортамента производства австрийской фирмы ZEMAN BAUELEMENTE Produktionsgesellschaft mbH\* с использованием теории планирования эксперимента.

Исходя из поставленных задач дальнейших исследований, необходимо разработать методику, программу и стенд для испытаний гофробалок на общую устойчивость, провести эти экспериментальные исследования с последующей разработкой методики уточненного аналитическо-эмпирического расчета момента инерции гофробалок на чистое кручение  $J_t$ .

\* Гофрированные облегченные двутавровые SIN-балки (<http://buildingbook.ru/download/Sin-beam.pdf>).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Максимов Ю. С., Остриков Г. М. Стальные балки с тонкой гофрированной стенкой – эффективный вид несущих конструкций производственных зданий // Промышленное строительство. 1984. № 4. С. 10–11.
2. Дмитриева Т. Л., Уламбаяр Х. Использование балок с гофростенкой в современном проектировании // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2015. № 4(15). С. 132–139.
3. Брянцев А. А., Абсиметов В. Э., Лалин В. В. Эффективность применения двутавров с гофрированными стенками в производственных зданиях // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2017. № 3(54). С. 93–104.
4. Pasternak H., Kubieniec G. Plate girders with corrugated webs [Пластинчатые балки с гофрированными полотнами] // Journal of Civil Engineering and Management. 2010. No. 16(2). Pp. 166–171.
5. Pasternak H., Robra J., Kubieniec G. Plate girders with corrugated webs [Пластинчатые балки с гофрированными полотнами] // Stability and Ductility of Structures. Baltic Session of the International Colloquium. Vilnius (Lithuania), 2009.
6. Максимов Ю. С., Остриков Г. М., Долинский В. В. Устойчивость гофрированных стенок двутавровых балок // Строительная механика и расчет сооружений. 1985. № 6. С. 43–45.
7. Макеев С. А., Силина Н. Г. Разработка методики уточненного расчета гофробалок на общую устойчивость // Промышленное и гражданское строи-

## Выводы

1. Адекватное значение момента инерции гофробалки на чистое кручение  $J_t$  можно получить пока только с помощью пластинчатых моделей в конечно-элементных комплексах, например в ПК ЛИРА-САПР.

2. Для того чтобы подтвердить адекватность полученного в работе момента инерции гофробалки на чистое кручение  $J_t$  с помощью конечно-элементного расчета в ПК ЛИРА-САПР, необходимо выполнить экспериментальные исследования опытных образцов гофробалки на общую устойчивость.

3. Успешное проведение запланированных экспериментальных исследований даст возможность:

- выполнять расчеты гофробалок на общую устойчивость при изгибе в соответствии с апробированной методикой СП 16.13330 по аналогии с двутавровыми балками с плоской стенкой;
- ставить и решать задачу разработки уточненной методики аналитическо-эмпирического расчета параметра  $J_t$  частных сортов производителей гофробалок.

4. Выполнение всего запланированного комплекса работ позволит повысить точность расчетов гофробалок на общую устойчивость.

тельство. 2020. № 12. С. 50–58.  
DOI: 10.33622/0869-7019.2020.12.50-58.

8. *Макеев С. А., Силина Н. Г.* К вопросу определения момента инерции сечения гофробалок на чистое кручение // Образование. Транспорт. Инновации. Строительство : сб. материалов IV Нац. науч.-практ. конф. (Омск, 22–23 апр. 2021 г.). Омск : СибАДИ, 2021. С. 627–633.
9. *Тишков Н. Л., Степаненко А. Н., Шипелев И. Л., Устименко М. Б.* Совершенствование конструкции стальной двутавровой балки с тонкой поперечно-гофрированной стенкой // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 2. С. 104–111.
10. *Denan F., Osman M. H., Saad S.* The study of lateral torsional buckling behavior of beam with trapezoid web steel section by experimentally and finite element analysis [Исследование поведения поперечного изгиба при кручении балки с трапециевидным поперечным сечением из стали методом эксперименталь-

ного и конечно-элементного анализа] // Int. J. Res. Rev. Appl. 2010. Sci. 2(2). P. 232.

11. *Denan F., Shoong K. K., Hashim N. S., Ken C. W.* Nonlinear analysis of triangular web profile steel section under bending behavior [Нелинейный анализ стального профиля треугольного профиля при изгибе] // Lecture Notes in Civil Engineering. 2019. № 9. P. 463–472.
12. *Васильев А. Л.* [и др.]. Прочные судовые гофрированные переборки. Л. : Судостроение, 1964. 316 с.
13. *Остриков Г. М., Максимов Ю. С., Долинский В. В.* Исследование несущей способности стальных двутавровых балок с вертикально гофрированной стенкой // Строительная механика и расчет сооружений. 1983. № 1. С. 68–70.
14. *Степаненко А. Н.* Стальные двутавровые стержни с волнистой стенкой. Хабаровск : изд-во Хабар. гос. техн. ун-та, 1999. 115 с.

#### REFERENCES

1. *Maksimov Yu. S., Ostrikov G. M.* Steel beams with a thin corrugated wall – an effective type of load-bearing structures of industrial buildings. *Promyshlennoe stroitel'stvo*, 1984, no. 4, pp. 10–11. (In Russian).
2. *Dmitrieva T. L., Ulambayar H.* The use of beams with a corrugated wall in modern design. *Izvestiya vuzov. Investicii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'*, 2015, no. 4(15), pp. 132–139. (In Russian).
3. *Bryancev A. A., Absimetov V. E., Lalin V. V.* Efficiency of using I-beams with corrugated walls in industrial buildings. *Stroitel'stvo unikal'nyh zdaniy i sooruzheniy*, 2017, no. 3(54), pp. 93–104. (In Russian).
4. *Pasternak H., Kubieniec G.* Rlate girders with corrugated webs. *Journal of Civil Engineering and Management*, 2010, no. 16(2), pp. 166–171.
5. *Pasternak H., Robra J., Kubieniec G.* Plate girders with corrugated webs. *Stability and Ductility of Structures. Baltic Session of the International Colloquium*. Vilnius (Lithuania), 2009.
6. *Maksimov Yu. S., Ostrikov G. M., Dolinskiy V. V.* Resistance of the I-beams corrugated walls. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy*, 1985, no. 6, pp. 43–45. (In Russian).
7. *Makeev S. A., Silina N. G.* Technique for refined calculation of corrugated beams for general stability. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2020, no. 12, pp. 50–58. (In Russian). DOI: 10.33622/0869-7019.2020.12.50-58.
8. *Makeev S. A., Silina N. G.* On the issue of determining the moment of inertia of the section of corrugated beams for pure torsion. *Образование. Транспорт. Инновации. Строительство : сб. материалов IV Нац. науч.-практ. конф. [Education. Transport. Innovation. Construction: collection of materials of the IV National scientific and practical conference (Omsk, 22–23 April 2021)]*. Omsk, SibADI Publ., 2021, pp. 627–633. (In Russian).
9. *Tishkov N. L., Stepanenko A. N., Shipilev I. L., Ustimenko M. B.* Improving the design of steel I-beams with thin cross-corrugated wall. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*, 2020, vol. 22, no. 2, pp. 104–111. (In Russian).
10. *Denan F., Osman M. H., Saad S.* The study of lateral torsional buckling behavior of beam with trapezoid web steel section by experimentally and finite element analysis. *Int. J. Res. Rev. Appl*, 2010, sci. 2(2), p. 232.
11. *Denan F., Shoong K. K., Hashim N. S., Ken C. W.* Nonlinear analysis of triangular web profile steel section under bending behavior. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 2019, no. 9, pp. 463–472.
12. *Vasil'ev A. L. et al.* Prochnye sudovye gofirovannye pereborki [Strong ship corrugated bulkheads]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1964. 316 p. (In Russian).
13. *Ostrikov G. M., Maksimov Yu. S., Dolinskiy V. V.* Investigation of the bearing capacity of steel I-beams with a vertically corrugated wall. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy*, 1983, no. 1, pp. 68–70. (In Russian).
14. *Stepanenko A. N.* *Stal'nye dvutavrovye stержni s volnistoj stenkoy* [Steel I-beam rods with a wavy wall]. Habarovsk, Habarovskiy gosudarstvenny tekhnicheskii universitet Publ., 1999. 115 p. (In Russian).

Для цитирования: *Силина Н. Г., Макеев С. А., Комлев А. А., Матвеев С. А.* Экспериментальное определение момента инерции гофробалки на чистое кручение // Промышленное и гражданское строительство. 2022. № 1. С. 4–9. DOI: 10.33622/0869-7019.2022.01.04-09.

For citation: *Silina N. G., Makeev S. A., Komlev A. A., Matveev S. A.* Experimental Determination of the Moment of Inertia of a Gofro-Beam for Pure Torsion. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2022, no. 1, pp. 4–9. (In Russian). DOI: 10.33622/0869-7019.2022.01.04-09. ■