

УДК 624.011.2

О.А. МИХАЙЛЕНКО, П.А. ДМИТРИЕВ

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ДРЕВЕСИНЫ ПОД ШАЙБОЙ, УСТАНОВЛЕННОЙ НА ТОРЦЕ СТЕРЖНЯ ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ, ПРИ УДАРЕ ВДОЛЬ ВОЛОКОН

Методом конечных элементов исследовано сложное напряженное состояние в древесине под шайбами различных типов, загруженными ударной нагрузкой. Приведены результаты расчетов моделей с учетом анизотропии древесины.

Ключевые слова: напряженное состояние, анизотропия древесины, ударная нагрузка.

В работах [1–4] показано, что отказ узловых сопряжений деревянных конструкций может происходить от расслоения клееной древесины при передаче статических усилий на торцы элементов через жесткие распределительные детали (шайбы-штампы), под краями которых возникают опасные концентраторы нормальных, скалывающих и растягивающих напряжений. В [2–4] также были предложены конструктивные решения узлов с использованием шайб с переменной изгибной жесткостью, обеспечивающих благоприятное напряженное состояние в древесине. Отдельные варианты таких узлов защищены патентами РФ на изобретение^{1, 2}. Очевидно, что при воздействии на сопряжение импульсной (ударной), например, сейсмической или подвижной (мосты) нагрузки опасность упомянутого расслоения возрастает.

В настоящей работе представлены результаты численных исследований напряженного состояния в древесине под шайбами при действии такой нагрузки. Расчеты выполнены на базе вычислительного комплекса «LIRA».

Для исследования принятая условная модель в виде деревянного элемента размером 100×600×2000 мм с установленной по его торцу стальной шайбой с площадью контакта $A = 10 \times 20 = 200 \text{ см}^2$ (рис. 1). Считали, что стержень подвергается воздействию ударной нагрузки в виде массы $Q = 200 \text{ кН}$, падающей на шайбу с высоты 0,01 м. Следует отметить, что при статическом воздействии такой силой средние напряжения смятия под шайбой не превышали расчетного сопротивления.

Исследовалось напряженно-деформированное состояние (НДС) древесины под жесткой (неизгибающейся) шайбой-штампом, под шайбой с переменной изгибной жесткостью и такой же шайбой, установленной на подкладку из жесткой резины по всему торцу.

С учетом особенностей модели (а именно, торец деревянного элемента загружен шайбой по всей толщине) расчет был построен как решение плоской задачи с использованием конечных элементов оболочки. Жест-

¹ Пат. 2235836 РФ, 7 Е 04 С 3/42. Опорный узел деревометаллической конструкции / Дмитриев П.А., Михайленко О.А.; Заявл. 09.12.2002; Опубл. 10.09.2004, Бюл. № 25.

² Пат. 2256752 РФ, С2 Е 04 В 1/58. Коньковый узел деревянной конструкции / Дмитриев П.А., Михайленко О.А.; Заявл. 10.07.2003; Опубл. 20.07.2005, Бюл. № 20.

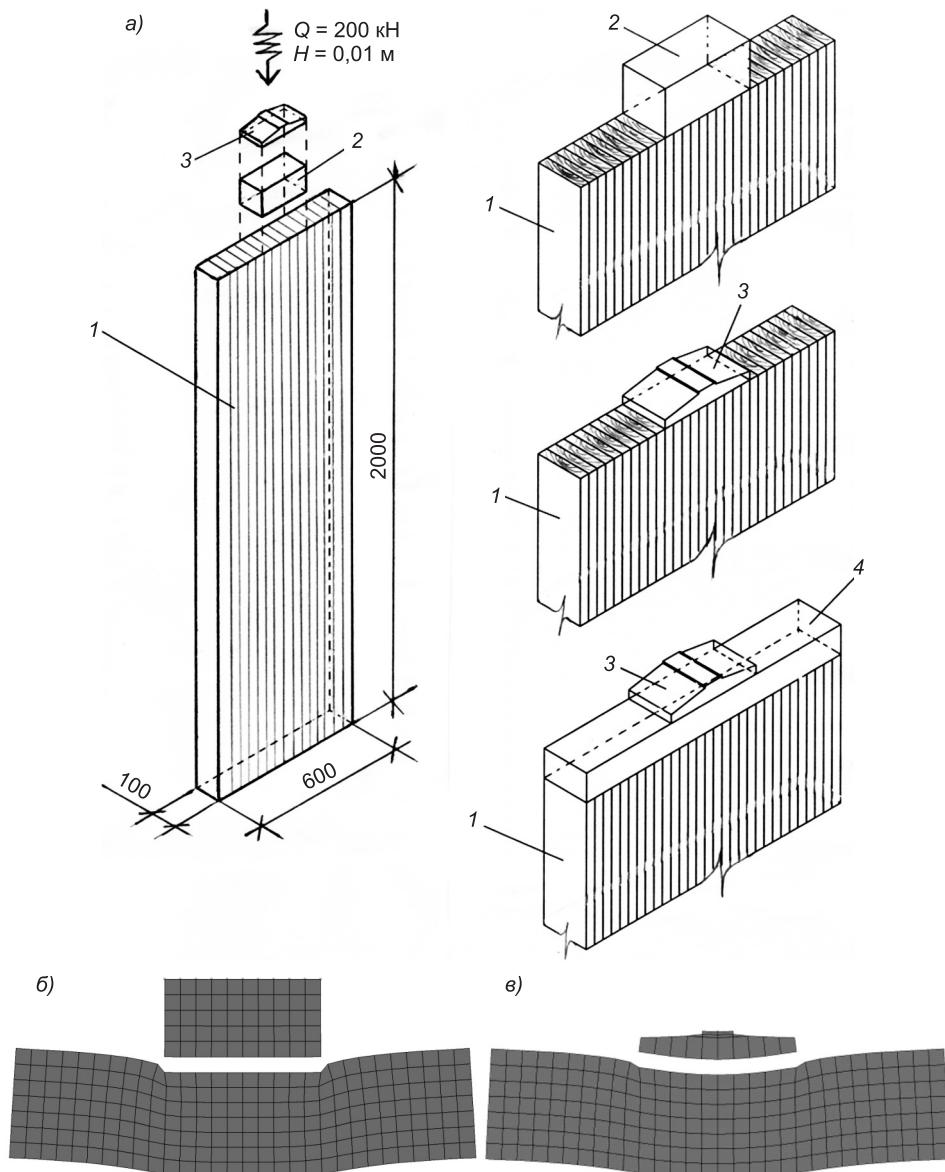


Рис. 1. Расчетная модель (а) и фрагменты деформированной конечно-элементной плоской модели с жестким штампом (б) и с шайбой переменной изгибной жесткости (в)
 1 — деревянный элемент; 2 — жесткий штамп; 3 — шайба переменной изгибной жесткости;
 4 — твердая резина

коэффициентные характеристики для деревянного элемента были заданы как для ортотропного упругого тела, в соответствии с правилами³:

$$E_x = 400 \text{ МПа}; E_y = 10\,000 \text{ МПа}; G_{xy} = 500 \text{ МПа}; \\ v_{xy} = 0,45; v_{yx} = 0,018.$$

В расчетных моделях рассматривались два случая контакта шайб с древесиной: отсутствие трения (что можно в некоторой степени обеспе-

³ СП 64.13330–2011. Свод правил. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80. М., 2011.

чить, например, при помощи антифрикционной прокладки); абсолютное трение (например, kleевое соединение). Эти крайние контактные случаи моделировались посредством объединения перемещений узлов по контакту шайбы с древесиной (по аналогии с расчетами, описанными в [1–3]).

В соответствии с методикой расчета на импульсную и ударную нагрузку^{4, 5}, были приняты следующие параметры (представленные в таблице):

1. Синусоидальная форма импульса (удара)

$$f(t) = \sin\left(\frac{\pi t}{\tau}\right). \quad (1)$$

2. Коэффициент динамичности

$$k_d = 1 + \sqrt{1 + \frac{2H}{\delta_{st}}}, \quad (2)$$

где H — высота падения груза;

δ_{st} — перемещение от веса Q , приложенного статически (определяемое по результатам предварительных статических расчетов).

Параметры ударного воздействия

Характеристика удара		δ_{st} , мм	k_d	P_d , кН	τ , с
Через жесткий штамп	При абсолютном трении	0,892	5,84	1168	0,010051
	При отсутствии трения	0,916	5,78	1156	0,010155
Через шайбу переменной изгибной жесткости	При абсолютном трении	0,977	5,63	1126	0,009624
	При отсутствии трения	1,02	5,54	1108	0,00978
Через шайбу переменной изгибной жесткости и резину (при отсутствии трения)	Толщина резины 6 см	50,6	2,18	436	0,041424
	Толщина резины 10 см	80,3	2,12	424	0,042597

3. Усредненная сила удара

$$P_d = k_d Q. \quad (3)$$

4. Время соударения

$$\tau = (1 + k_0) \frac{\sqrt{\frac{2H}{g}}}{k_d}, \quad (4)$$

где k_0 — коэффициент восстановления при ударе о деревянную поверхность (для жесткого штампа из твердого металла в форме параллелепипеда $k_0 = 0,3$; для шайбы из мягкого металла с переменной изгибной жесткостью $k_0 = 0,2$; при использовании подкладки из жесткой резины $k_0 = 1$); g — ускорение свободного падения.

5. Период повторения ударного воздействия и количество повторений равны нулю (одиночный мгновенный удар).

6. Коэффициент неупругого сопротивления принят 0,05.

⁴ Справочник по динамике сооружений. М.: Стройиздат, 1972.

⁵ Беляев Н.М. Сопротивление материалов. М.: Физматгиз, 1959.

На рис. 2 представлены эпюры нормальных напряжений вдоль ($\sigma_y = \sigma_0$) и поперек ($\sigma_x = \sigma_{90}$) волокон, а также скальвающих напряжений (τ_{xy}) в древесине торца элемента. Как видно из рис. 2, при ударе через штамп под его краями в древесине возникают концентраторы нормальных и скальвающих напряжений. Следует отметить, что характер распределения напряжений при абсолютном трении между штампом и торцом и его отсутствии, остается аналогичным полученному ранее при действии статических нагрузок [1]. Так, при наличии антифрикционной прокладки под штампом незначительно повышаются нормальные напряжения поперек (σ_x) и вдоль (σ_y) волокон, но снижаются скальвающие напряжения τ_{xy} .

При оценке напряженного состояния древесины под шайбой с переменной изгибной жесткостью можно выделить следующее:

- как и в результатах статических расчетов, выполненных ранее [2], постановка антифрикционных прокладок под шайбы носит благоприятный характер;
- значительно уменьшаются скальвающие напряжения τ_{xy} по сравнению с величинами τ_{xy} под жестким штампом;
- однако в случае ударных нагрузок максимальные величины скальвающих напряжений возникают на участках, близких к краям штампа;
- максимальные величины нормальных напряжений вдоль (σ_y) и поперек (σ_x) волокон древесины зарегистрированы под центром шайбы, т.е. непосредственно под точкой удара груза.

Очевидно, что как и в случае статических нагрузок, здесь путем конструктивной оптимизации (изменением изгибной жесткости шайбы) можно добиться более равномерного распределения напряжений σ_x , σ_y в древесине.

Как известно, в авиа-, машиностроении и т.п.⁶ для смягчения ударных воздействий используют разного рода демпферные устройства в виде твердых резин (полисульфид каучука), пружин (рессорных или тарельчатых) и т.д.

В настоящей работе выявлено влияние демпферного устройства на напряженное состояние в древесине. Для этого под шайбой переменной изгибной жесткости (испытывающей удар груза) была смоделирована твердая резина толщиной 6 см с жесткостными параметрами: $E = 10$ МПа; $v = 0,45$. На рис. 3, а представлены результаты расчета при условии, что между шайбой, резиной и торцом деревянного элемента прложены антифрикционные прокладки. При наличии демпфера нормальные (σ_x , σ_y) и скальвающие (τ_{xy}) напряжения значительно уменьшаются, причем нормальные напряжения вдоль (σ_y) и поперек (σ_x) волокон носят более равномерный характер. При увеличении толщины резины все напряжения уменьшаются (рис. 3, б).

Следует отметить, что такое благоприятное распределение напряжений (как в количественном, так и в качественном отношении) в древесине наблюдалось в случаях, когда демпфер выходил за пределы шайбы. Варианты, когда резиновый амортизатор перекрывал весь торец деревянно-

⁶ Александров В.Г., Базанов Б.И. Справочник по авиационным материалам и технологиям их применения. М.: Транспорт, 1979. 263 с.

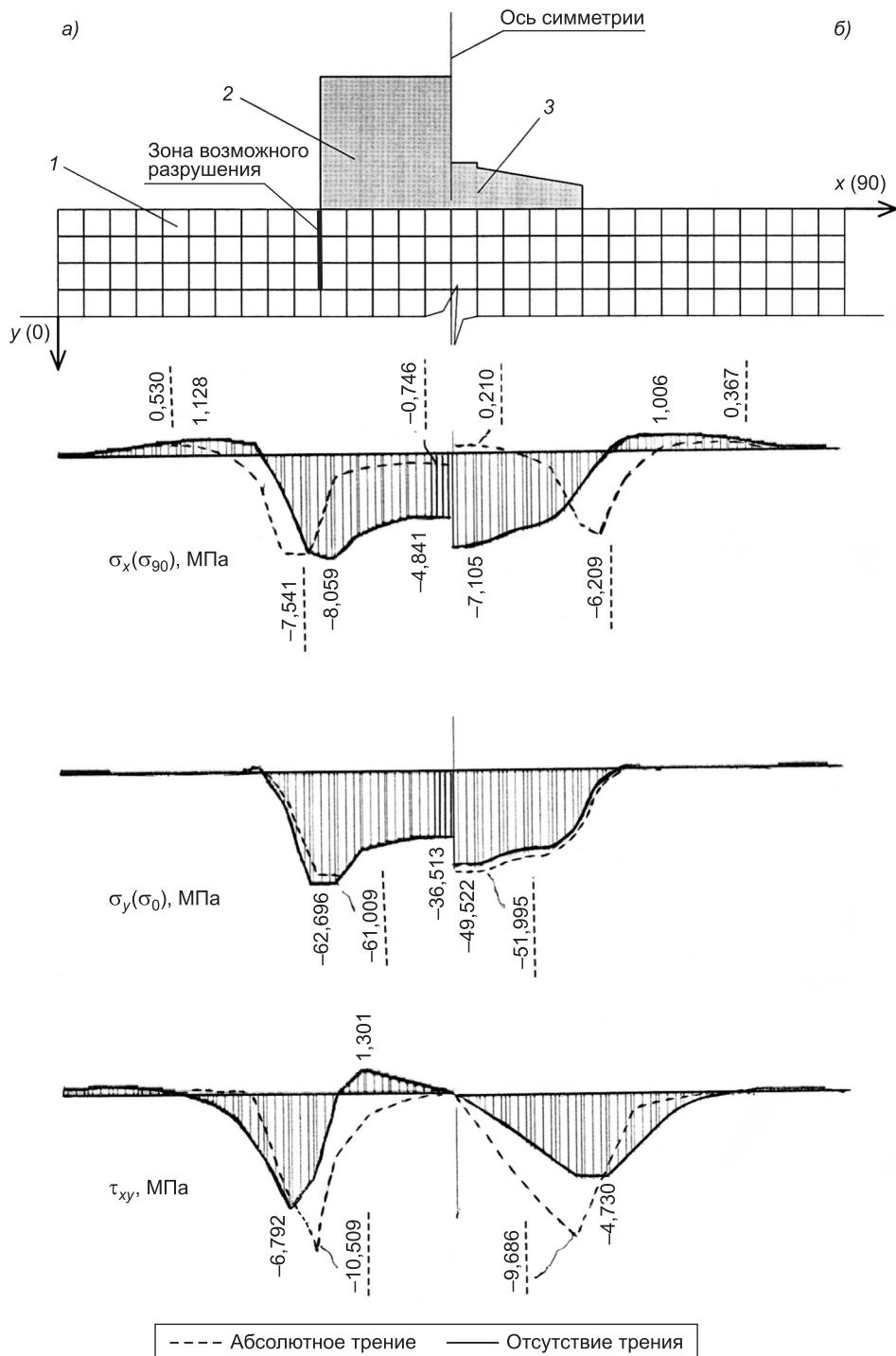


Рис. 2. Эпюры нормальных σ_x , σ_y и скальвающих τ_{xy} напряжений в торце деревянного элемента под жестким штампом (а) и под шайбой переменной изгибной жесткости (б)

1 — деревянный элемент; 2 — жесткий штамп; 3 — шайба переменной изгибной жесткости

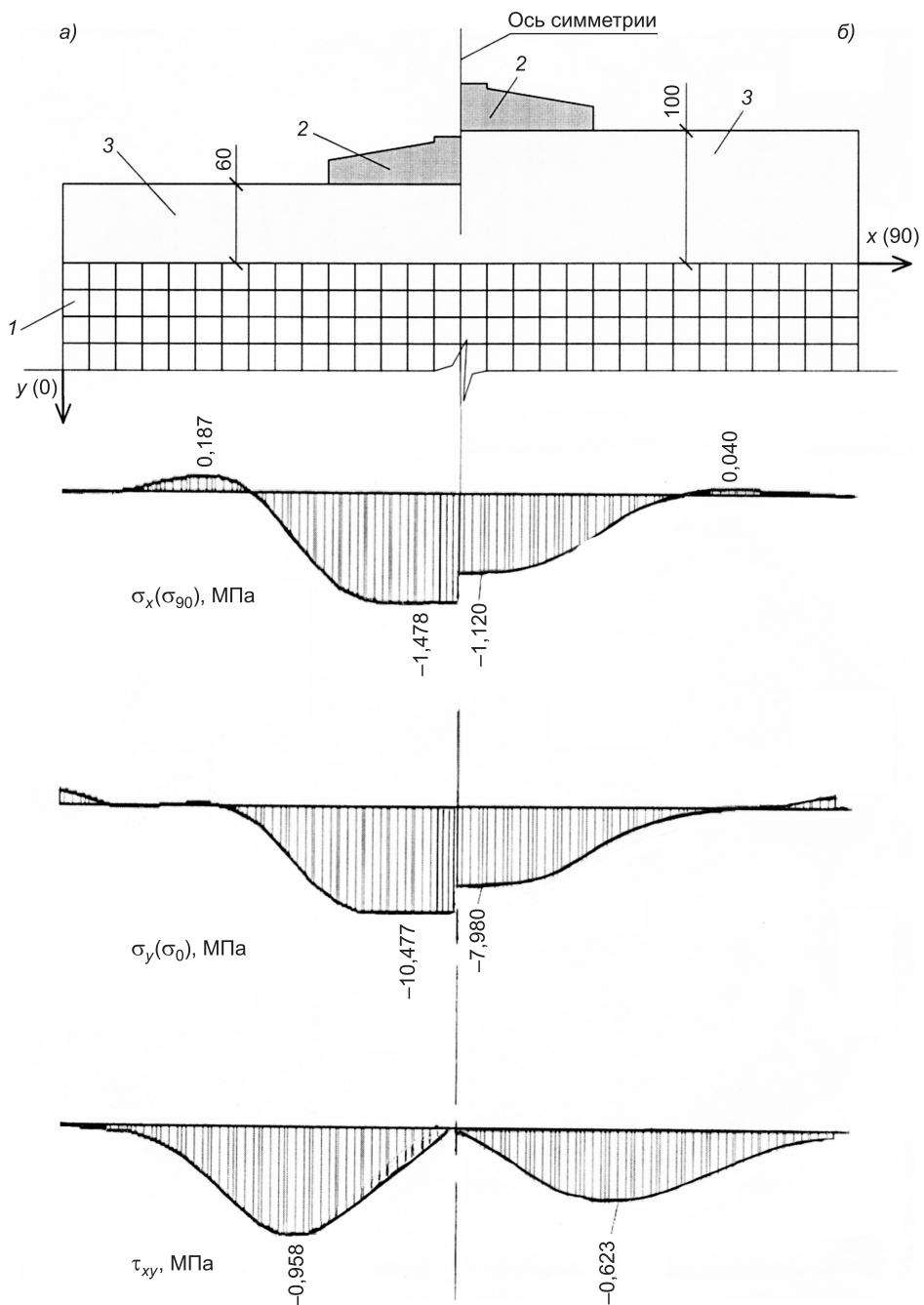


Рис. 3. Эпюры нормальных σ_x , σ_y и скальвающих τ_{xy} напряжений в торце деревянного элемента под шайбой переменной изгибной жесткости и твердой резиной толщиной 6 (а) и 10 см (б)

1 — деревянный элемент; 2 — шайба переменной изгибной жесткости; 3 — твердая резина

го элемента и выходил за пределы шайбы лишь на некоторую величину, показали сходные результаты. Для проверки результатов расчета представленных плоских моделей авторами проведены дублирующие расчеты аналогичных пространственных моделей (также при помощи метода

конечных элементов). Сравнительный анализ показал расхождения в пределах 3–5 %.

Таким образом, на основании численных исследований установлено:

— при ударных (импульсных) воздействиях на конструкцию торцы деревянных элементов испытывают местное давление от жестких узловых траверс (шайб-штампов), под краями которых возникают концентраторы нормальных и скалывающих напряжений, причем каждое из них способно вызвать разрушение древесины;

— как и в случае статических воздействий [2, 3], использование в узлах шайб с переменной изгибной жесткостью и антифрикционных прокладок позволяет благоприятным образом изменить характер распределения напряжений и снизить их величины (особенно для скалывающих напряжений);

— добиться более равномерного напряженного состояния в древесине, а также значительно снизить все напряжения, можно, используя под узловыми шайбами переменной изгибной жесткости разного рода демпферы: пружины, прокладки из твердой резины и прочие амортизирующие устройства.

В настоящей статье рассматривалась конструкция шайбы с переменной изгибной жесткостью в плоскости, иначе говоря, исследовалось плоское НДС древесины. Авторы намерены изучить и другие конструкции шайб (например, описанные в [3]) в сочетании с демпферными устройствами, что обуславливает уже пространственное НДС древесины.

Очевидно, что полученные результаты численных исследований требуют проведения физических экспериментов (на динамическую нагрузку) по аналогии с изучением аналогичных статических моделей [4]. Авторы также планируют и эксперименты, результаты которых будут в дальнейшем освещены.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дмитриев, П.А. О работе и расчете опорных узлов деревометаллических треугольных безраскосных ферм. Сообщение 1 [Текст] / П.А. Дмитриев, А.А. Кращук, О.А. Михайленко // Изв. вузов. Строительство. — 2002. — № 11. — С. 116–120.
2. Дмитриев, П.А. О работе и расчете опорных узлов деревометаллических треугольных безраскосных ферм. Сообщение 2 [Текст] / П.А. Дмитриев, О.А. Михайленко // Изв. вузов. Строительство. — 2003. — № 1. — С. 4–9.
3. Дмитриев, П.А. О работе и расчете опорных узлов деревометаллических треугольных безраскосных ферм. Сообщение 3 [Текст] / П.А. Дмитриев, О.А. Михайленко, Р.Б. Орлович // Изв. вузов. Строительство. — 2003. — № 11. — С. 10–15.
4. Михайленко, О.А. Экспериментальные исследования работы узлов деревометаллической треугольной безраскосной фермы [Текст] / О.А. Михайленко // Изв. вузов. Строительство. — 2007. — № 6. — С. 123–127.

МИХАЙЛЕНКО Олег Анатольевич, канд. техн. наук

*Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Рубцовск*

ДМИТРИЕВ Петр Андреевич, д-р техн. наук, проф.

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

Mikhailenko Oleg Anatolyevich, candidate of technical sciences, Altay State Technical University of I.I. Polzunov, Rubtsovsk, Russia

Dmitriev Petr Andreevich, doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

STRESS-STRAIN STATE OF THE WOOD UNDER A WASHER INSTALLED ON THE END FACE OF THE ROD OF RECTANGULAR SECTION, WITH THE IMPACT OF FIBRES

Finite element investigated the complex stress state in the wood under the washers of various types that are loaded by the load impact. Results of calculations of models taking into account the anisotropy of the wood.

Key words: stress-strain state, anisotropy of wood, shock.

REFERENCES

1. Dmitriev, P.A. On operation and design of supporting blocks for wood metal triangular vierendeel trusses. Message 1 [Text] / P.A. Dmitriev, A.A. Krashchuk, O.A. Mikhailenko // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2002. — N 11. — P. 116–120.
 2. Dmitriev, P.A. On operation and design of supporting units of wood metal triangular vierendul trusses. Message 2 [Text] / P.A. Dmitriev, O.A. Mikhailenko // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2003. — N 1. — P. 4–9.
 3. Dmitriev, P.A. On operation and design of supporting units of wood metal triangular vierendul trusses. Message 3 [Text] / P.A. Dmitriev, O.A. Mikhailenko, R.B. Orlovich // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2003. — N 11. — P. 10–15.
 4. Mikhailenko, O.A. Experimental investigations of units operation of wood metal triangular vierendul trusses [Text] / O.A. Mikhailenko // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2007. — N 6. — P. 123–127.
-

УДК 624.011.2

**А.Н. АКТУГАНОВ, А.А. АКТУГАНОВ, О.А. АКТУГАНОВ,
В.Г. КОТЛОВ, И.Л. КУЗНЕЦОВ**

РАБОТА ТОНКОСТЕННОЙ МЕТАЛЛОДЕРЕВЯННОЙ ДВУТАВРОВОЙ БАЛКИ С ОРТОГОНАЛЬНЫМИ РЕБРАМИ ЖЕСТКОСТИ В ВИДЕ ГОФР РАЗЛИЧНОГО СЕЧЕНИЯ

Рассмотрена работа новой металлодеревянной двутавровой тонкостенной балки, пояса которой выполнены из деревянных брусьев цельного сечения, а стенка — из тонкостенной оцинкованной стали. Приведены данные о действительной работе тонкостенных металлодеревянных балок с выштампованными ортогональными ребрами жесткости в виде полуцилиндра, квадрата и треугольника. Проанализированы результаты испытаний данных балок на натурных образцах и их напряженно-деформированное состояние.

Ключевые слова: тонкостенная металлодеревянная двутавровая балка, ортогональные ребра жесткости в виде гофров, выштампованные гофры, тонколистовая стальная стенка, экспериментальные исследования, сравнительные оценки, пояса из древесины.

В настоящее время наряду с деревянными балками, как за рубежом, так и в нашей стране, находят применение несущие конструкции, сочетающие в себе разномодульные материалы. Поэтому для уменьшения

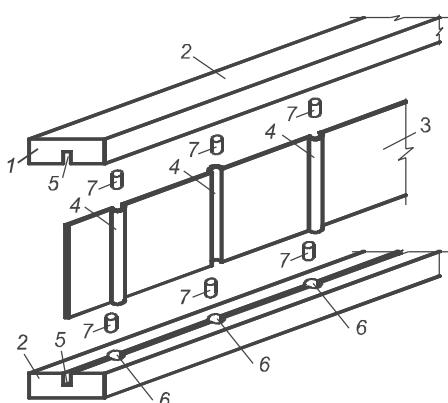


Рис. 1. Конструкция металлодеревянной двутавровой балки

1 — верхний пояс; 2 — нижний пояс; 3 — стальная стенка; 4 — гофры полуцилиндрической формы; 5 — продольный пропил; 6 — углубления цилиндрической формы; 7 — цилиндрические нагели

расхода материала предложена новая тонкостенная металлодеревянная двутавровая балка, в которой пояса выполняются из цельной или kleenой древесины, а стенка — из тонкой оцинкованной стали [1, 2]. В целях обеспечения местной устойчивости стенки на ней выштампованы ортогональные полуцилиндрические гофры с поочередной ориентацией влево и вправо относительно ее плоскости (рис. 1). Для крепления стенки балки к поясам в последних выполнены продольные пропилы и цилиндрические углубления, заполняемые эпоксидным kleем, в которые устанавливаются продольные кромки стенки и цилиндрические нагели. Также была изучена работа металлодеревян-

ных балок с ортогональными ребрами жесткости в виде выштампованных гофр прямоугольной и треугольной формы с поочередной ориентацией влево и вправо относительно ее плоскости.

© Актуганов А.Н., Актуганов А.А., Актуганов О.А., Котлов В.Г., Кузнецов И.Л.,
2013

Учитывая, что предлагаемые конструкции металлодеревянных балок являются новыми и отсутствуют методики расчета и данные о фактической их работе, проводились численные и экспериментальные исследования для определения их напряженно-деформированного состояния (НДС).

Для экспериментальных исследований НДС изготовлен опытный образец балки пролетом 3 м. Высота балки определялась из условия жесткости, размеры поясов — из условия прочности, а толщина стенки — по принятой гибкости $\lambda = 400$. Пояса балки изготавливались из деревянных брусьев сечением 100×40 мм (сосна, второй сорт), а стенка — из тонколистовой оцинкованной стали толщиной 0,7 мм, шириной 300 мм. В поясах выполнен продольный пропил шириной 2 мм, глубиной 20 мм и подготовлены цилиндрические углубления диаметром 42 мм, либо квадратные гнезда размерами 42×42 мм, в которые устанавливались продольные кромки стенки и закреплялись нагелями соответствующей формы (цилиндрическими, квадратными и треугольными). Пояса со стенкой соединялись эпоксидным клеем. На стенках балок соответственно были выштампованы полуцилиндрические гофры радиусом $R = 20$ мм, прямоугольные гофры 20×40 мм и треугольные гофры высотой $f = 20$ мм, разделяющие стенку на 12 отсеков шагом 310 мм. В опорной части выштампован дополнительный гофр на расстоянии 140 мм от опорного ребра. Гофрирование ребер жесткости выполнялось в поперечном направлении с поочередной ориентацией влево и вправо относительно оси стенки.

Опорное ребро балки представляет собой деревянные бруски из древесины, сечением 100×40 мм с пропилом шириной 2 мм, глубиной 20 мм, в который вставлен торец металлической стенки на эпоксидном клее. Опорное ребро устанавливалось в торцах балки и соединялось с поясами при помощи нагелей.

На балку прикладывалась сосредоточенная нагрузка на 1/3 пролета. Испытания проводились на специальной экспериментальной установке (рис. 2). Балка укладывалась на неподвижные и подвижные шарнирные опоры, загружение осуществлялось при помощи гидравлического домкрата ДГ-10 грузоподъемностью 10 тс. Этапы нагружения составляли $F = 2000$ Н, время выдержки нагрузки — 10 мин. Показания приборов снимались после загружения и перед началом следующего этапа. Напряжения в поясах балки определялись по показаниям тензодатчиков, наклеенных на полки и подключенных к цифровой тензостанции АИД-4. Прогиб балки устанавливался в середине балки прогибомером дистанционного типа. Для определения сдвига стенки относительно поясов в четырех крайних отсеках были установлены индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм.

Численное исследование НДС осуществлено для балки аналогичной экспериментальной. Расчетная схема балки представляла собой конечно-элементную модель. Построение модели проведено в трехмерном пространстве $OXYZ$ в масштабе 1:1. Для моделирования стальной стенки и ортогональных гофр использованы плоские 4-узловые прямоугольные конечные элементы (КЭ-41), поясов и опорных ребер из древесины — объемные 8-узловые изопараметрические конечные элементы (КЭ-36).

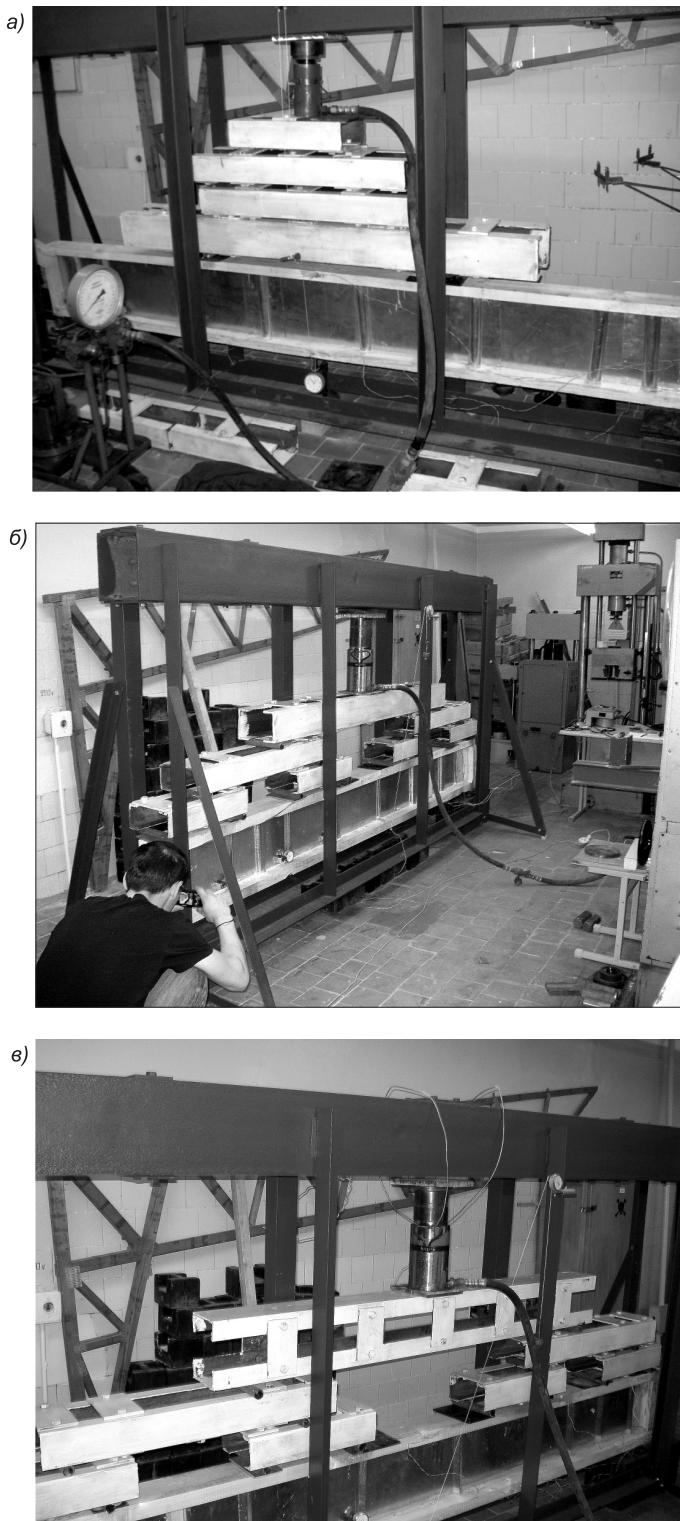


Рис. 2. Опытный образец балки с полуцилиндрическими (а), прямоугольными (б) и треугольными (в) гофрами в процессе испытания

Расчет по методу конечных элементов произведен в программном комплексе Structure CAD 11.1.

Результаты численных и экспериментальных испытаний, а также теоретических расчетов приведены на рис. 3–5.

Аналитический расчет поясов выполнен на продольные усилия, возникающие от действия изгибающего момента для однопролетных балок, и на опорные моменты, возникающие над гофрами [3].

Прочность пояса проверяется по формуле

$$\frac{N}{A_f R_f + S t_w R_y} \leq 1,0,$$

где $N = M / v$ — продольное усилие;

v — расстояние между центрами сечения поясов;

$S = 0,65 t_w \sqrt{E / R_y}$ — устойчивая часть стенки;

t_w — толщина стенки;

A_f — площадь поперечного сечения пояса;

R_f — расчетное сопротивление древесины, равное: R_p — при работе на растяжение, R_c — при работе на сжатие;

R_y — расчетное сопротивление материала стенки.

Экспериментальные исследования показали, что у всех балок пояса и стенка работают в упругой области до нагрузки $F = 8000$ Н. При нагрузках, превышающих 8000 Н, пояс функционирует в упругой области, а стенка — в упругопластической. При нагрузке более $F = 16\,000$ Н стенка переходит в закритическую стадию работы, т.е. образуются наклонные волны по диагонали, воспринимающие растягивающие усилия.

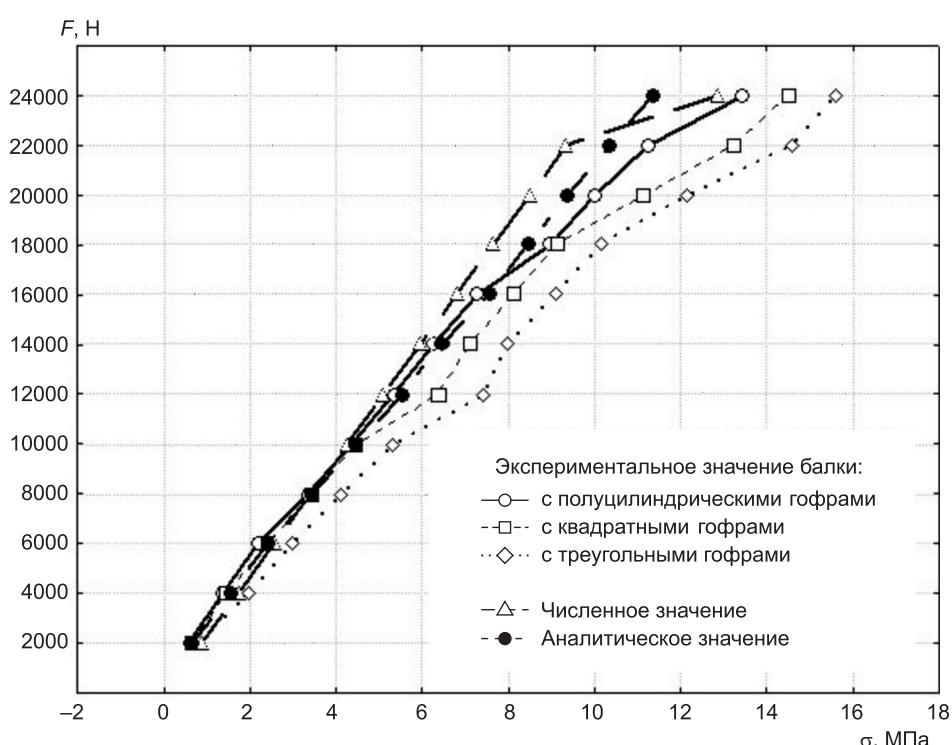


Рис. 3. Изменение напряжений в поясах балки

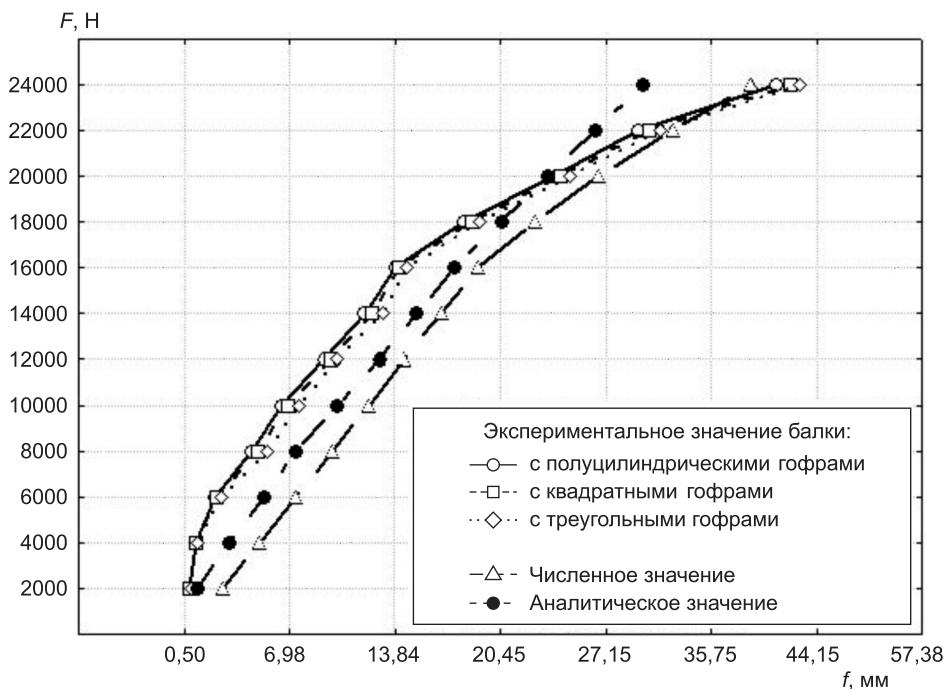


Рис. 4. Прогибы в середине пролета

Разрушение балки с полуцилиндрическими гофрами произошло при нагрузке $F = 26\,000$ Н, т.е. при $\sigma = 24,8$ МПа (248 кг/см 2), за счет потери прочности поясов.

В упругой области прогиб балки изменялся прямолинейно до нагрузки $F = 12\,000$ Н и составил 16 мм. В дальнейшем он увеличился от смятия нагелей (гофров), установленных в цилиндрические углубления. Остаточная деформация при нагрузке $F = 16\,000$ Н составила 1,9 мм или 10 % от полного прогиба. Теоретическая деформация рассчитывается по формуле

$$f = f_M + f_Q = \int \frac{\bar{M}M}{E_f I_f} + \int \frac{\bar{Q}Q}{G_1 A_w},$$

где $E_f I_f$ — жесткость пояса;

$G_1 A_w$ — сдвиговая жесткость стенки в закритической стадии работы.

Прогиб от поперечной силы составил 10–15 %. Сдвиг стенки относительно полки $f = 1,1$ мм при нагрузке $F = 16\,000$ Н, в основном он происходил из-за потери местной устойчивости гофров в опорной зоне. Разрушение по kleевому соединению не обнаружено, следовательно, сопряжение стенки с полками можно рассматривать как жесткое.

Выводы. 1. Аналитические расчеты, численные и экспериментальные исследования показали, что при нагрузке 22 000 Н:

- напряжения в поясах экспериментальных балок составили 11,2; 13,1; 14,8 МПа для балок с полуцилиндрическими, прямоугольными и треугольными гофрами соответственно;

- прогиб экспериментальных балок 45; 50; 50 мм соответственно;

- сдвиг пояса относительно стенки 1,9 (жесткое соединение); 1,95, 2,1 мм соответственно. Сдвиг стенки относительно полки во всех балках

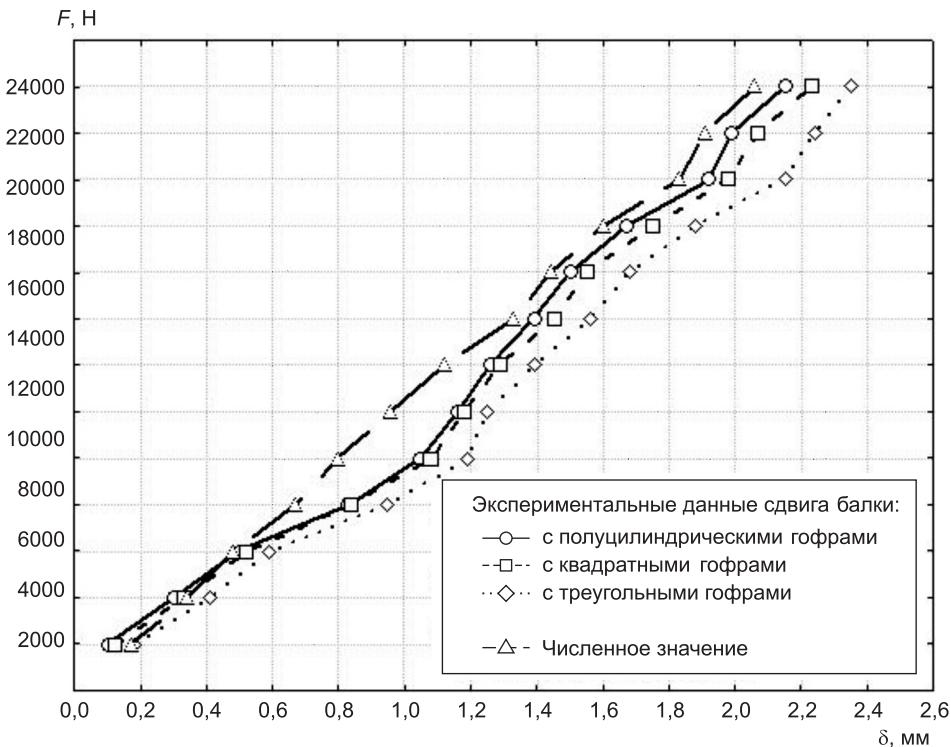


Рис. 5. Сдвиг пояса относительно стенки

произошел за счет образования наклонных волн по диагонали в отсеках между вертикальными гофрами.

2. Для тонкостенных металлодеревянных двутавровых балок с полуцилиндрическими гофрами расхождение, рассчитанное аналитически и при численных и экспериментальных исследованиях, составило:

— для напряжений в поясах до образования волн в стенке 9,6–28,3 %, в закритической стадии — 20,7–36,8 %;

— прогибов до образования волн в стенке 8,6–10 %, в закритической стадии — 18,4–21,5 %;

— сдвига пояса относительно стенки до образования волн в стенке 11–23,6 %, в закритической стадии — 27,2–34,2 %.

3. В результате численных и экспериментальных исследований наиболее рациональной с точки зрения экономии материала и технологичности изготовления, а также наибольших жесткостных характеристик является металлодеревянная двутавровая балка с ребрами жесткости в виде выштампованных ортогональных полуцилиндрических гофров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Кузнецов, И.Л. Разработка и исследование металлодеревянной двутавровой балки [Текст] / И.Л. Кузнецов, А.А. Актуганов, А.П. Трофимов // Изв. КазГАСУ. — 2010. — № 1(13). — С. 117–121.
- Пат. 2382855 РФ, МПК Е04С 3/29. Металлодеревянная двутавровая балка [Текст] / Кузнецов И.Л., Актуганов А.А., Трофимов А.П.; заявитель и патентодатель Казанский государственный архитектурно-строительный университет. RU 2382855C1; заявл. 12.12.2008, опубл. 27.02.2010, Бюл. № 6. — 6 с.

3. Актуганов, А.А. Методика расчета тонкостенных металлодеревянных двутавровых балок [Текст] / А.А. Актуганов, И.Л. Кузнецов, В.Г. Котлов и др. // Материалы международной научно-практической конференции «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития 2012» : Сб. науч. тр. Sworld. — Одесса : КУПРИЕНКО, 2012. — Т. 30, вып. 3. — С. 53–63.

АКТУГАНОВ Анатолий Николаевич, канд. техн. наук, доц.
Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола
АКТУГАНОВ Александр Анатольевич, ст. препод.
Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола
АКТУГАНОВ Олег Анатольевич, канд. техн. наук, доц.
Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола
КОТЛОВ Виталий Геннадьевич, канд. техн. наук, доц.
Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола
КУЗНЕЦОВ Иван Леонидович, д-р техн. наук, проф.
Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Получено 10.10.13

Aktuganov Anatoly Nikolaevich, candidate of technical sciences, assistant professor, Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russia

Aktuganov Aleksandr Anatolievich, senior lecturer, Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russia

Aktuganov Oleg Anatolievich, candidate of technical sciences, assistant professor, Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russia

Kotlov Vitaly Gennadievich, candidate of technical sciences, assistant professor, Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russia

Kuznecov Ivan Leonidovich, doctor of technical sciences, professor, Kazan State University of Architecture and Construction, Russia

THE REAL WORK OF METALLWOOD THIN-WALLED DOUBLE-T BEAM WITH ORTHOGONAL STIFFENING PLATES OF VARIOUS SECTIONS OF THE CORRUGATIONS FORM

Examined the work of the new metalwood thin-walled double-T beam, shelves are made of entire wood blocks and the wall of a thin-walled galvanized steel. Showed the evidences on the actual work of the metalwood thin-walled beams with stamped orthogonal stiffening plates in the form of a half-cylinder, foursquare and triangle. The test results on such beams relating to full-scale models and their stress-strain state given in the article.

Key words: thin-walled double-T beam, metalwood, orthogonal stiffening plates in the form of corrugations, stamped corrugations, thin sheet steel wall, experimental studies, comparative assessments, wood belts.

REFERENCES

1. Kuznecov, I.L. Development and research of a metalwooden double-T beam [Text] / I.L. Kuznecov, A.A. Aktuganov, A.P. Trofimov // Izv. KazGASU. — 2010. — N 1(13). — P. 117–121.
2. Pat. 2382855 RF, MPK E04S 3/29. Metalwooden double-T beam [Text] / Kuznecov I.L., Aktuganov A.A., Trofimov A.P.; applicant and patentor Kazan State University of Architecture and Engineering. RU 2382855C1; Appl. 12.12.2008, publ. 27.02.2010, Bull. N 6. — 6 p.
3. Aktuganov, A.A. Calculation procedure thin-walled metalwood double-T beam [Text] / A.A. Aktuganov, I.L. Kuznecov, V.G. Kotlov et al. // Materials of the international scientific and practical conference «Scientific researches and their practical application. Current state and ways of development 2012» : Collection of scientific works. — Odessa : KUPRIENKO, 2012. — Vol. 30, iss. 3. — P. 53–63.

УДК 624.074.011.1

Д.А. ЛОКТЕВ, И.С. ИНЖУТОВ, А.Ф. РОЖКОВ

ФОРМООБРАЗОВАНИЕ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ДЕРЕВЯННЫХ СЕТЧАТЫХ СВОДОВ С ОРТОГОНАЛЬНОЙ СЕТКОЙ ДЛЯ ПОКРЫТИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Рассмотрено формообразование деревянных сетчатых конструкций покрытия. С учетом накопленного опыта их использования предложено конструктивное решение сводов с ортогональной сеткой.

Ключевые слова: формообразование, свод, сетчатый, ортогональная сетка, деревянный, Цольбау.

В мировой научно-технической литературе значительное внимание уделено стрежневым пространственным конструкциям покрытий зданий и сооружений. Объясняется это, прежде всего, тем, что образованные из прямолинейных или криволинейных стержней конструкции сочетают в себе легкость с высокой несущей способностью, что обеспечивает их широкое применение при конструировании тонкостенных покрытий из металла, дерева и пластмасс [1, с. 136].

Развитие пространственных деревянных конструкций связано с деятельностью В.Г. Шухова, который в 1898 г. перекрыл несколько павильонов с пролетами от 13 до 22 м с помощью тонкостенных деревянных сводов, которые на тот момент были первыми пространственными конструкциями из древесины [2]. Основываясь на трудах В.Г. Шухова, немецкий инженер Ф. Цоллингер предложил конструкцию деревянных кружально-сетчатых сводов (своды системы Цольбау), мировой опыт использования которых убедительно свидетельствует о том, что среди деревянных сетчатых оболочек они получили наибольшее распространение [3]. Принцип формообразования данных сводов заложен в применении унифицированных коротких элементов-косяков, соединенных между собой в узлах на болтах, работающих на растяжение. При этом косяки свода расположены на пересекающихся арках с углом к образующей свода до 90° (рис. 1).

В нашей стране многие рационализаторы стремились оптимизировать покрытия системы Цольбау. Так, в 1927 г. С.И. Песельник разработал безметальную конструкцию из косяков цельного сечения. В этом покрытии все узловые сопряжения осуществляются при помощи врубок. Косяки в сетке покрытия сопрягаются между собой под прямым углом, образуя при этом квадратные ячейки. У каждого косяка по нижней кромке вблизи концевого сечения имеются вырезы шириной, равной толщине косяка, а посередине по верхней кромке — один вырез, равный двойной толщине косяка [1, с. 143].

Не обошли вниманием и усовершенствование косяков свода. В частности, для увеличения пролета Б.А. Освенским разработана конструкция клееванерного косяка с металлическим соединением в узлах. Особенность такой конструкции заключается в том, что косяки имеют крыловатую

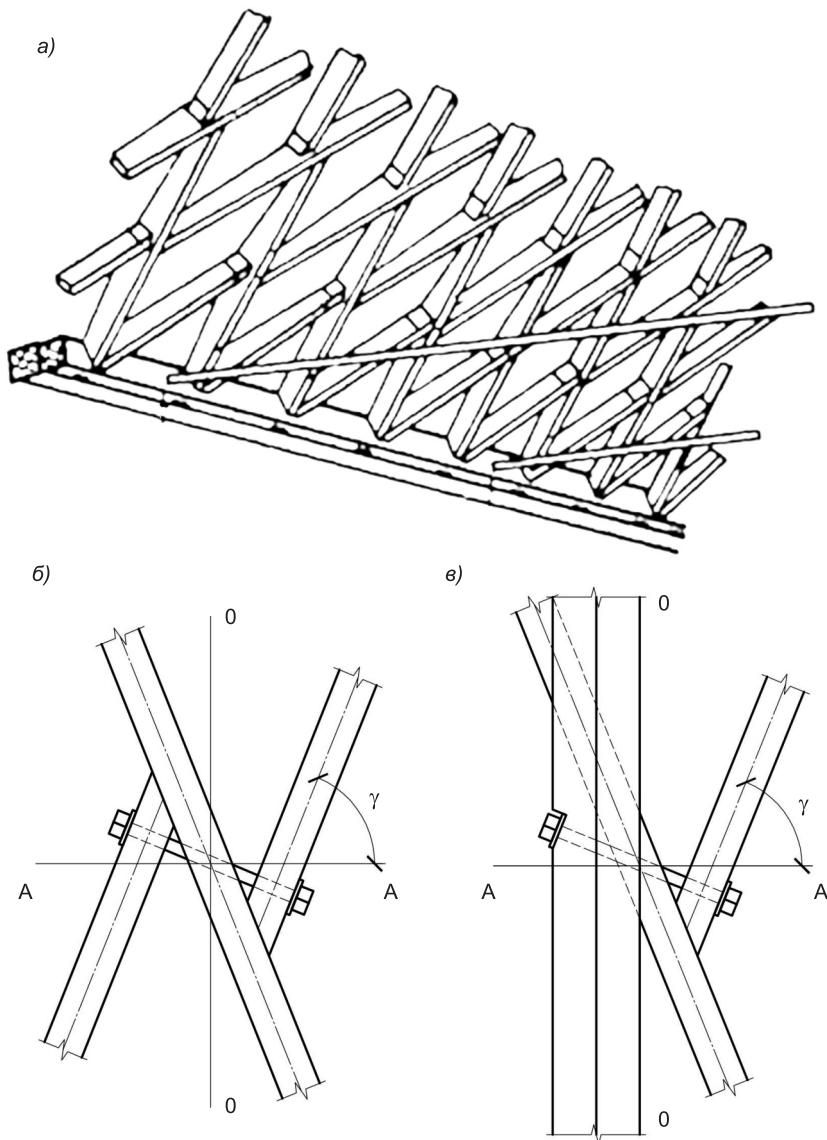


Рис. 1. Кружально-сетчатый свод системы Цольбау
а — 3D вид; б — средний узел; в — торцевой узел

форму, которая обеспечивает точное расположение их верхних кромок по винтовым линиям свода, и набегающие косяки располагаются немного выше сквозных. На концах косяков коробчатого сечения с двумя фанерными стенками к поясам приклеиваются ступенчатые накладки, имеющие пазы для пропуска металлических связей [1, с. 147].

Фактически, свод системы Цольбау стал универсальным прототипом для многих современных сетчатых конструкций. Использование короткомерных элементов, эстетические свойства покрытия и в целом рациональная работа несущего материала являются очевидными преимуществами данных сводов. Однако теория их расчета предполагает, что величина изгибающего момента за счет расположения арок свода под углом друг к другу больше, чем аналогичный изгибающий момент в классических

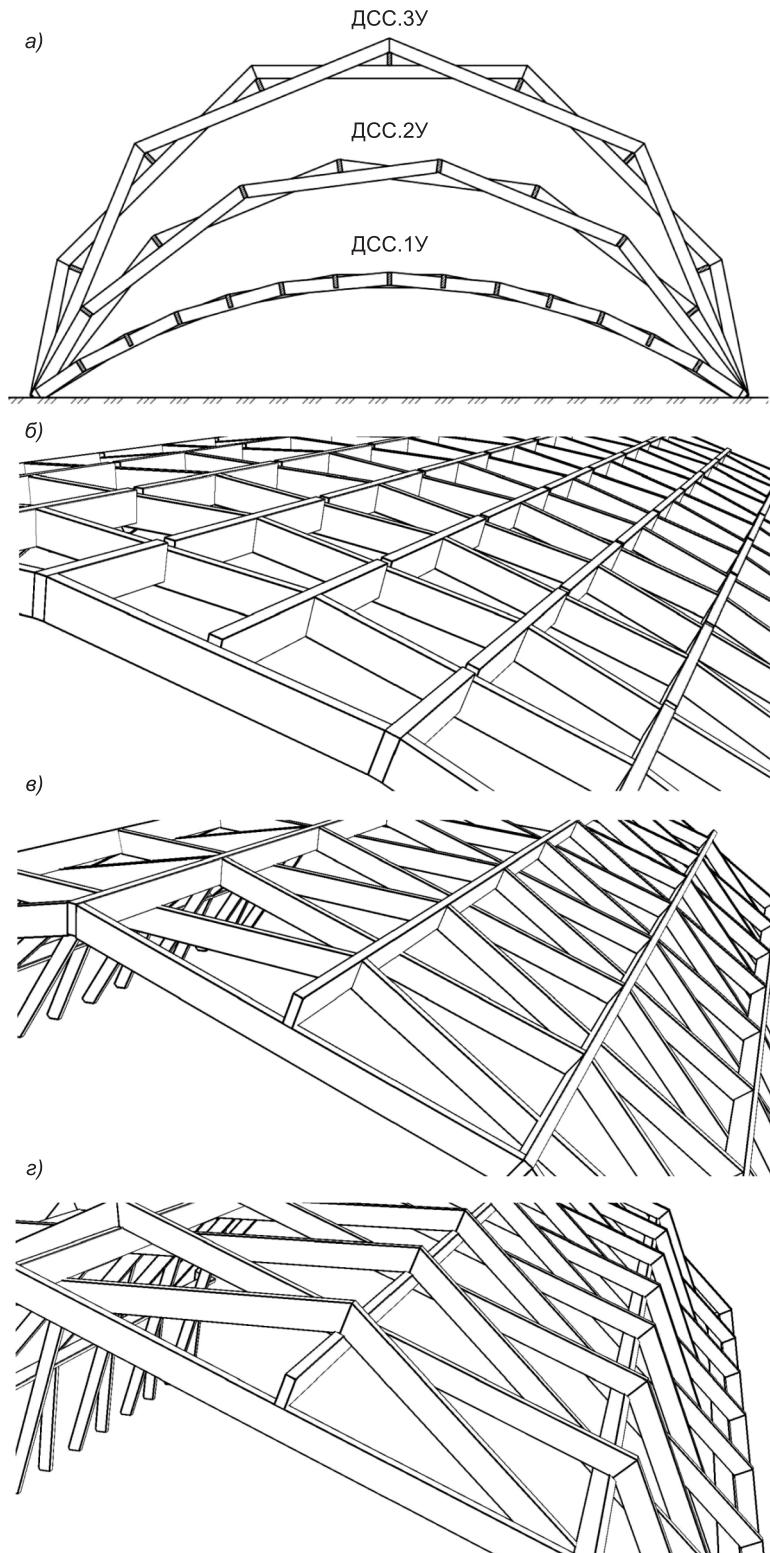


Рис. 2. Конструктивное решение сводов с ортогональной сеткой
а — вид с торца; б — фрагмент сетки свода марки ДСС.1У; в — ДСС.2У;
г — ДСС.3У

арочных конструкциях, и зависит от угла α ($0\text{--}90^\circ$) между косяками свода и его образующей [4]:

$$M_d = M_a / \sin \alpha, \quad (1)$$

где M_a — расчетный момент в выделенной для расчета арке;

α — угол между косяками и образующей свода.

Кроме того, определенное внимание удалено проблемам прощелкивания стержневой конструкции кружально-сетчатого свода на болтах [3], откалыванию концов косяков в сводах С.И. Песельника [1, с. 144], трудоемкости изготовления сводов Б.А. Освенского [1, с. 147].

Стремление оптимизировать конструктивные решения сводов системы Цольбау с сохранением их основных достоинств и преодолением недостатков осуществлено авторами на примере деревянных сетчатых сводов с ортогональной сеткой (рис. 2—4). При разработке этих сводов

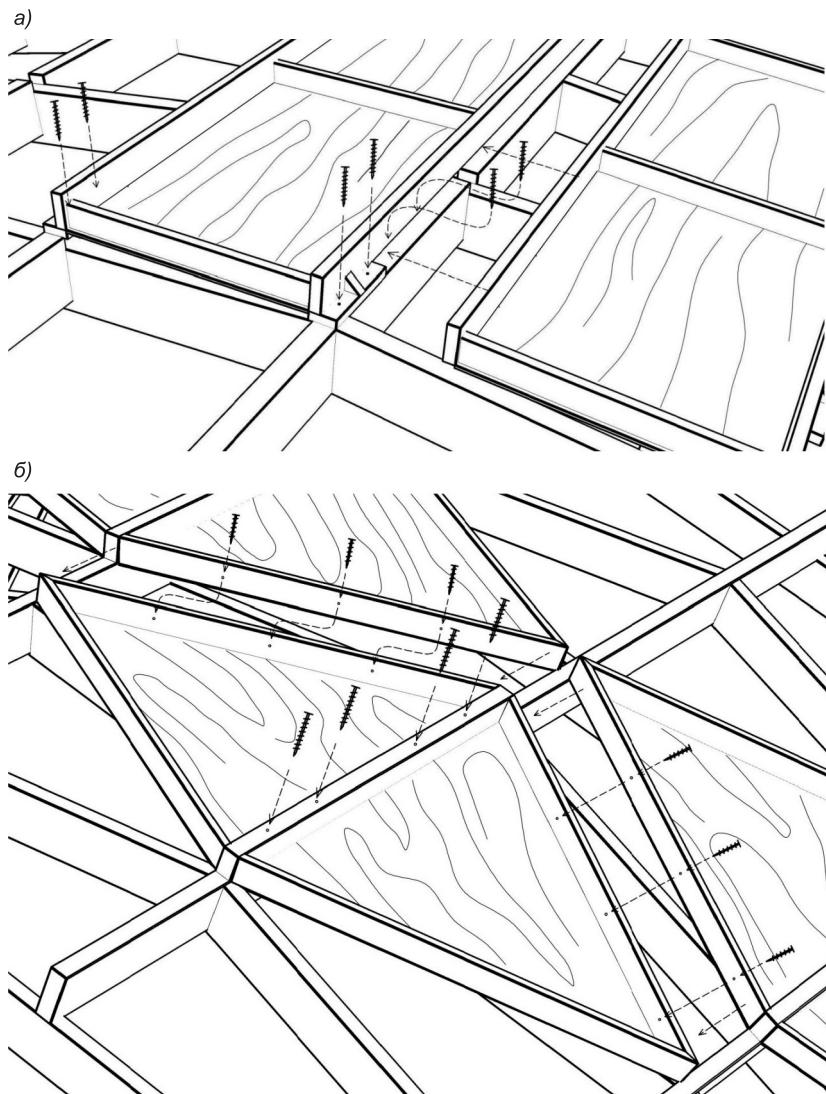


Рис. 3. Конструктивное решение плит со схемой их крепления
а — прямоугольных для сводов марки ДСС.1У; б — ромбовидных для сводов
марки ДСС.2У и ДСС.3У

учитывали накопленный опыт использования деревянных сетчатых конструкций покрытия. Основное внимание было обращено:

- 1) на обеспечение архитектурной выразительности;
- 2) унификацию основных несущих элементов;
- 3) разработку эффективных и простых конструктивных решений;
- 4) рациональное использование свойств применяемых материалов.

Принцип формообразования сводов с ортогональной сеткой основан на использовании связанных между собой короткомерных несущих элементов по геометрической сетке с квадратной или прямоугольной ячейкой. При этом две стороны ячейки всегда перпендикулярны образующей свода. Этот принцип реализован при разработке на стадии альбомов рабочих чертежей деревянных сетчатых сводов с ортогональной сеткой: свод марки ДСС.1У (Д — деревянный, С — сетчатый, С — свод, 1У — сопряжение элементов в один уровень), ДСС.2У (2У — сопряжение элементов в два уровня), ДСС.3У (3У — сопряжение элементов в три уровня). Объемная сетка элементов каждого из этих сводов представлена на рис. 2 (конструктивное решение узлов свода, плиты покрытия и межузловые связи условно не показаны).

Длина всех поперечных элементов равна двум сторонам ячейки свода. Они лежат по дуге свода и в шахматном порядке на его поверхности, тем самым образуя полигональные чередующиеся арки. Продольные элементы расположены на прямых линиях вдоль свода, и их количество равно количеству узлов в двух соседних арках. Для свода марки ДСС.1У длина продольных элементов равна двум сторонам ячейки, а для сводов марок ДСС.2У и ДСС.3У — длине всего свода¹. Пространственная геометрическая неизменяемость свода марки ДСС.1У обеспечена постановкой межузловых связей из перфоленты², для сводов ДСС.2У и ДСС.3У — работой ромбовидных ограждающих плит.

В любом узле свода марки ДСС.1У соединяются три элемента: два поперечных и один продольный или наоборот. В сводах марки ДСС.2У и ДСС.3У в половине узлов соединяются три элемента — два поперечных и один продольный, в другой половине — поперечный и продольный (погружено).

В качестве ограждения сводов предлагаются плиты с фанерной обшивкой на деревянном каркасе. Для свода марки ДСС.1У плиты запроектированы прямоугольными в плане с шириной в шаг продольных элементов, на которые они опираются. Для сводов марки ДСС.2У и ДСС.3У плиты выполнены ромбовидными в плане и опираются на продольные элементы и выступающие узлы арок соответственно. Все крепления плит осуществлены через самонарезающие винты. Конструктивное решение плит и варианты их крепления показаны на рис. 3 (для свода марки ДСС.3У крепление произведено через перфорированные уголки в узлах).

Один из вариантов узлового соединения элементов свода представлен на рис. 4. Его геометрические параметры позволяют адаптировать

¹ Пат. 2484210 Российская Федерация, МПК Е04B1/32. Сетчатый свод / Локтев Д.А., Инжутов И.С., Деордиев С.В., Сивчук Н.А., Жаданов В.И., Ермолин В.Н.; заявитель и патентообладатель Сибирский федеральный университет. № 2011152854/03; заявл. 23.12.2011; опубл. 10.06.2013, Бюл. № 16. 6 с.: ил.

² Пат. 2424403 Российская Федерация, МПК Е04B7/10. Сетчатый деревянный свод-оболочка / Инжутов И.С., Енджиевский Л.В., Локтев Д.А., Сивчук Н.А.: заявитель и патентообладатель Сибирский федеральный университет. № 2010108079/03; заявл. 04.03.2010; опубл. 20.07.2011. Бюл. № 20. 6 с.: ил.

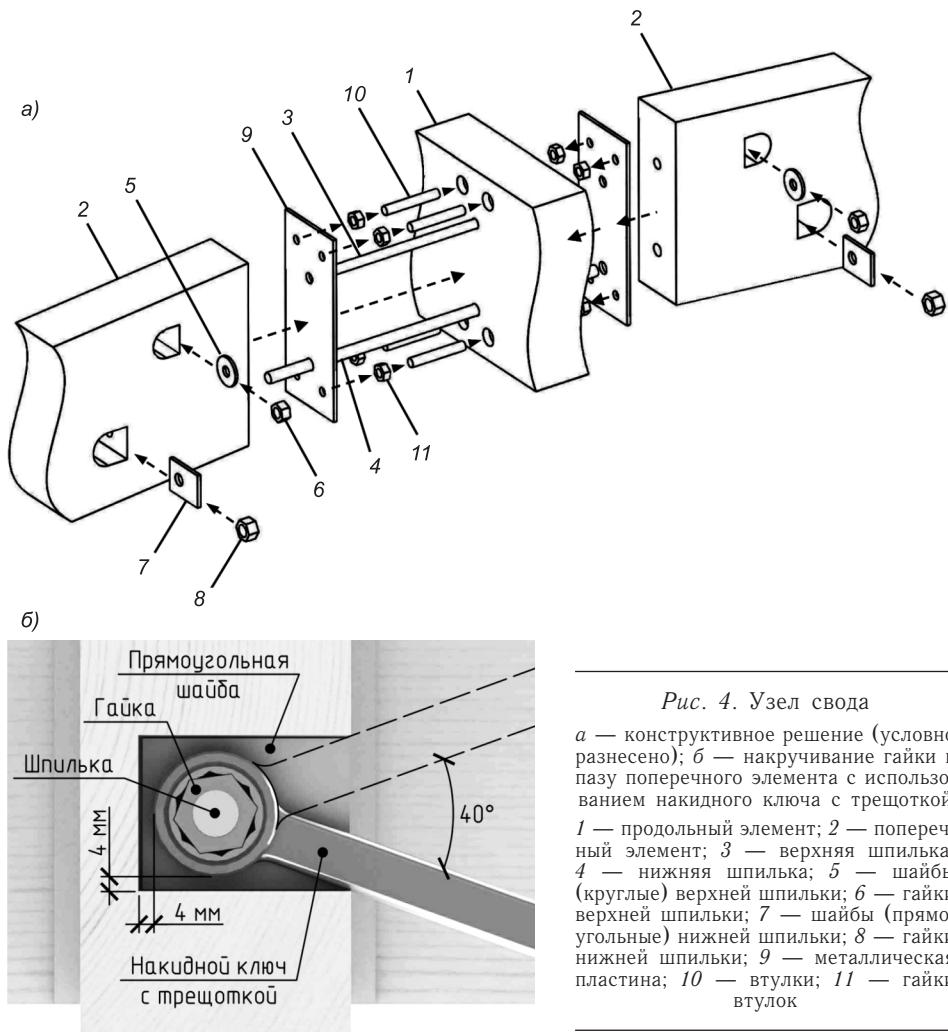


Рис. 4. Узел свода

a — конструктивное решение (условно разнесено); *b* — накручивание гайки в пазу поперечного элемента с использованием накидного ключа с трещоткой
 1 — продольный элемент; 2 — поперечный элемент; 3 — верхняя шпилька; 4 — нижняя шпилька; 5 — шайбы (круглые) верхней шпильки; 6 — шайбы (прямоугольные) верхней шпильки; 7 — шайбы (прямоугольные) нижней шпильки; 8 — гайки нижней шпильки; 9 — металлическая пластина; 10 — втулки; 11 — гайки втулок

узел под необходимые углы сетки свода, а снижение трудоемкости сборки узла достигается за счет выполнения болтовых соединений с использованием аккумуляторных шуруповертов и накручивания гаек на шпильки в пазах с помощью накидных ключей с трещоткой (рис. 4, б). Конструктивное решение опорных узлов, затяжек выполнено по известным техническим решениям, поэтому в данной статье не представлено.

Заметим, что на базе лаборатории ИСМИК СФУ ИСИ был собран и испытан фрагмент свода марки ДСС.1У, состоящий из трех арок, пролетом 12 м (рис. 5). Полученный опыт свидетельствует о небольшой трудоемкости сборки узловых соединений.

Таким образом, конструктивное решение сводов сочетает в себе следующие свойства:

- унифицированность элементов при постоянной по длине высоте поперечного сечения;
- ограждающие конструкции — унифицированные плиты, способные обеспечивать пространственную геометрическую неизменяемость всей системы;
- хорошая транспортабельность;



*Рис. 5. Свод марки ДСС.1У, состоящий из трех арок
а — этап сборки; б — испытание статической нагрузкой*

- монтаж без применения тяжелой подъемной техники;
- многосторонняя оптимизация напряженно-деформированного состояния системы на проектной стадии;
- вариабельность конструктивного решения сетки под конкретные задачи;
- возможность использования различной формы сечения элементов.

Предпочтительная область применения сетчатых сводов с ортогональной сеткой — культурно-массовое строительство. Они могут использоваться в легких покрытиях летних театров, выставочных павильонов, крытых рынков, в покрытиях над спортивными сооружениями (летние катки, теннисные корты, детские спортивные площадки и т.д.), открытых кафе, сценах, в современных культурно-развлекательных комплексах и т.д. Возможно применение в сельскохозяйственных сооружениях различного назначения, складских помещениях и т. п.

Выводы. Принцип формообразования сводов с ортогональной сеткой позволяет разработать конкурентно-способные конструктивные решения сводов с различными геометрическими параметрами. Их эффективность по сравнению с аналогами достигается за счет использования унифицированных ограждающих плит покрытия, участвующих в его работе, постоянной по длине высоте сечения продольных и поперечных элементов, широкого выбора конструктивного решения на проектной стадии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Журавлев, А.А. Пространственные деревянные конструкции [Текст] / А.А. Журавлев, Г.Б. Вержбовский, Н.Н. Еременко. — Ростов н/Д : ОАО ИПФ «Малыш», 2003. — 518 с.
2. Арленинов, Д.К. Конструкции из дерева и пластмасс [Текст] / Д.К. Арленинов, Ю.Н. Буслаев, В.П. Игнатьев, П.Г. Романов, Д.К. Чахов. — М. : Изд-во АСВ, 2002. — 175 с.
3. Доброгурский, А.Н. Несущая способность и деформативность стержневой конструкции цилиндрической оболочки из деревянных элементов [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Ростов н/Д, 2000. — 39 с.
4. Слицкоухов, Ю.В. Конструкции из дерева и пластмасс [Текст] / Ю.В. Слицкоухов, В.Д. Буданов, М.М. Гаппоев, И.М. Гуськов, З.Б. Махутова, Б.А. Освенский, В.С. Сарычев, Э.В. Филимонов; под ред. Г.Г. Карлсена и Ю.В. Слицкоухова. — М. : Стройиздат, 1986. — 358 с.

ЛОКТЕВ Дмитрий Александрович, асп.; E-mail: loktevda@gmail.com

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

ИНЖУТОВ Иван Семенович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: ivaninzhutov@gmail.com

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

РОЖКОВ Александр Федорович, канд. техн. наук, доц.; E-mail: labsfu@yandex.ru
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Получено 10.10.13

Loktev Dmitry Alexandrovich, post-graduate student; E-mail: loktevda@gmail.com, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Inzhutov Ivan Semenovich, doctor of technical sciences, professor; E-mail: ivaninzhutov@gmail.com, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Rozhkov Aleksandr Fedorovich, candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: labsfu@yandex.ru, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

FORMING AND CONSTRUCTING WOODEN COVING WITH AN ORTHOGONAL MESH NETTING FOR COVERING BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS

The article considers the forming of wooden mesh coving. Based on experience of their use proposed constructive solution of wooden coving with an orthogonal mesh netting.

Key words: forming, coving, net, orthogonal mesh, wood, Tsolbau.

REFERENCES

1. Zhuravlev, A.A. Spatial wooden structures [Text] / A.A. Zhuravlev, G.B. Verzhbovsky, N.N. Eremenko. — Rostov-on-Don : IAP of «Little Boy», 2003. — 518 p.
2. Arleninov, D.K. Construction of wood and plastics [Text] / D.K. Arleninov, Yu.N. Byslaev, V.P. Ignatiev, P.G. Romanov, D.K. Chahov. — M. : Publ. ASV, 2002. — 175 p.
3. Dobrogursky, A.N. Bearing capacity and deformability of the core design of the wooden cylindrical shell elements : diss. ... Ph.D. [Text] / A.N. Dobrogursky. — Rostov-on-Don, 2000. — 39 p.
4. Slitskouhov, Yu.V. Structures made of wood and plastics [Text] / Yu.V. Slitskouhov, V.D. Budanov, M.M. Gappoev, I.M. Guskov, Z.B. Mahutova, B.A. Osvensky, V.S. Sarychev, E.V. Filimonov; ed. G.G. Carlsen and Yu.V. Slitskouhov. — M. : Stroyizdat, 1986. — 358 p.

УДК 624.011

В.Б. ЗИНОВЬЕВ, Б.П. РУСОВ, В.Н. ШВЕДОВ

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ ВО ВСТРЕЧНЫХ ПУЧКАХ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ЭЛЕМЕНТОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ

Приводятся физические основы метода голографической интерферометрии во встречных пучках. На примерах исследования напряженно-деформированного состояния при опорной части kleenой балки из древесины и области, прилегающей к винтовому нагелю крестообразного поперечного сечения, демонстрируется эффективность метода.

Ключевые слова: голографическая интерферометрия, деформации, напряжения, деревянные элементы, прочность, нагель.

Сотрудники кафедры «Конструкции из дерева и пластмасс», руководимые П.А. Дмитриевым, активно сотрудничали с лабораторией «Прочности» СГУПС и принимали участие в разработке оптических методов исследования деформированного состояния изделий из анизотропных материалов. Одним из них является метод голографической интерферометрии во встречных пучках [1, 2].

Сущность метода заключается в следующем. На поверхность изучаемого изделия наносился светоотражающий слой. Перед поверхностью исследуемого объекта закреплялась высокоразрешающая фотопластинка, которая дважды экспонировалась коллинированным пучком лазерного света. Первая экспозиция проводилась в начальном состоянии древесины, вторая — после нагружения. После второго экспонирования фотопластиинка отделялась от образца и подвергалась фотохимической обработке. Полученные интерферограммы восстанавливались в белом свете.

Положение интерференционных полос определяется перемещением тождественных точек образца между экспозициями и описывается уравнением:

$$\Delta_1 - \Delta_2 = N\lambda, \quad (1)$$

здесь Δ_1 — разность хода световых лучей, объектного и опорного, образовавшаяся на стадии первой экспозиции;

Δ_2 — разность хода тех же лучей, но во время второй экспозиции.

Рассмотрим схему интерферометра, соответствующего проведенным экспериментам (рис. 1). Разность хода лучей будем отсчитывать от плоскости фотопластиинки, на которую падает плоская волна с единичным вектором \vec{p}_0 . Лучи света, соответствующие распространению световых волн при первой экспозиции, обозначены сплошными линиями, при второй экспозиции — пунктирными линиями.

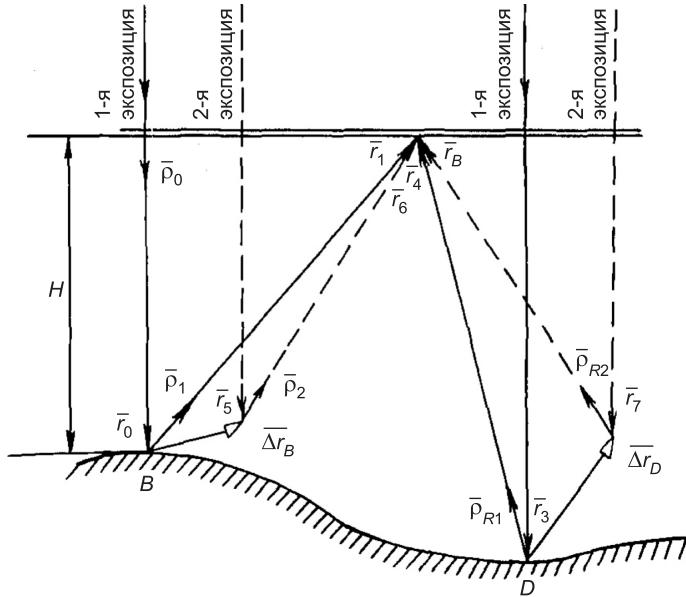


Рис. 1. Расчетная схема для анализа разности хода интерферирующих лучей

Вычислим разности хода Δ_1 и Δ_2

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= \bar{\rho}_0 \bar{r}_0 + \bar{\rho}_1 \bar{r}_1 - \bar{\rho}_3 \bar{r}_0 - \bar{\rho}_4 \bar{\rho}_{R1}; \\ \Delta_2 &= \bar{r}_5 \bar{\rho}_0 + \bar{r}_6 \bar{\rho}_2 - \bar{r}_7 \bar{\rho}_0 - \bar{r}_8 \bar{\rho}_{R2} = (\bar{r}_0 + \vec{W}_B) \bar{\rho}_0 + \\ &+ (\bar{r}_1 - \Delta \bar{r}_B)(\bar{\rho}_1 + \Delta \bar{\rho}_{12}) - \bar{\rho}_0 (\bar{r}_3 + \vec{W}_D) - (\bar{\rho}_{R1} + \Delta \bar{\rho}_R)(\bar{r}_4 - \Delta \bar{r}_D). \end{aligned} \quad (2)$$

При записи соотношений (2) учтено, что

$$\begin{aligned} \bar{r}_5 &= \bar{r}_0 + \vec{W}_B; \quad \bar{r}_6 = \bar{r}_1 - \Delta \bar{r}_B; \quad \bar{r}_7 = \bar{r}_3 + \vec{W}_D; \\ \bar{r}_8 &= \bar{r}_4 - \Delta \bar{r}_D; \quad \bar{\rho}_2 = \bar{\rho}_1 + \Delta \bar{\rho}_{12}; \quad \bar{\rho}_{R2} = \bar{\rho}_{R1} + \Delta \bar{\rho}_R. \end{aligned} \quad (3)$$

Подставим выражения (2) в уравнение (1)

$$\begin{aligned} \bar{r}_0 \bar{\rho}_0 + \bar{\rho}_1 \bar{r}_1 - \bar{r}_3 \bar{\rho}_0 - \bar{r}_4 \bar{\rho}_{R1} - \bar{r}_0 \bar{\rho}_0 + \vec{W}_B - \bar{r}_1 \bar{\rho}_1 + \Delta \bar{r}_B \bar{\rho}_1 - \\ - \Delta \bar{\rho}_{12} \bar{r}_6 + \bar{\rho}_0 \bar{r}_3 - \vec{W}_D + \bar{\rho}_{R1} \bar{r}_4 - \bar{\rho}_{R1} \Delta \bar{r}_D + \Delta \bar{\rho}_R \bar{r}_8 = \\ = (\vec{W}_B + \Delta \bar{r}_B \bar{\rho}_1) - (\vec{W}_D + \Delta \bar{r}_D \bar{\rho}_{R1}) - (\Delta \bar{\rho}_{12} \bar{r}_6 - \Delta \bar{\rho}_R \bar{r}_8) = N\lambda. \end{aligned} \quad (4)$$

Последняя скобка в первой части уравнения (4) равна нулю, так как направления векторов $\Delta \bar{\rho}_{12}, \bar{r}_6$ и $\Delta \bar{\rho}_R, \bar{r}_8$ близки к ортогональным. Первая скобка описывает разность хода, накопившуюся в объектных пучках между первой и второй экспозициями, а вторая скобка — разность хода, накопившуюся за тот же промежуток времени в опорных пучках.

Для интерференционных полос, наблюдаемых в отраженном голограммой свете, вторая скобка тождественно равна нулю, так как их опорный пучок в момент времени между экспозициями не изменяется.

Итак, для интерпретации интерференционных полос, наблюдаемых в отраженном голограммой свете, можно использовать уравнение

$$(\vec{W}_B + \Delta \bar{r}_B \bar{\rho}_1) = U_B \cos \alpha + V_B \cos \beta + W_B (1 + \cos \gamma) = N\lambda, \quad (5)$$

а для оптических картин, наблюдаемых на просвет,

$$\begin{aligned}
 & (W_B + \Delta\vec{r}_B \vec{\rho}_1) - (W_D + \Delta\vec{r}_D \vec{\rho}_R) = \\
 & = [U_B \cos\alpha + V_B \cos\beta + W_B (1 + \cos\gamma)] - \\
 & - [U_D \cos\alpha_R + V_D \cos\beta_R + W_D (1 + \cos\gamma_R)] = N\lambda.
 \end{aligned} \tag{6}$$

В уравнениях (5) и (6) искомыми величинами являются компоненты U , V и W вектора перемещения $\Delta\vec{r}$;
углы α, β, γ задаются экспериментатором при выборе направления наблюдения за точкой объекта;
углы $\alpha_R, \beta_R, \gamma_R$ определяются параметрами индикатрисы рассеивания материала поверхности изделия и геометрической формой этой поверхности на участке формирования опорного пучка;
 N — порядок интерференционных полос, определяемый в эксперименте.

Предполагая, что опорный пучок формируется только зеркально отраженными световыми волнами (нулевой порядок дифракции), не будем учитывать световые волны, рассеянные в других направлениях. При исследовании инженерных конструкций чаще всего приходится иметь дело с плоскими участками поверхности или с участками, кривизной которых можно пренебречь. В этом случае $\alpha_R = 90^\circ, \beta_R = 90^\circ, \gamma_R = 0$ и уравнение (6) принимает вид:

$$U_B \cos\alpha + V_B \cos\beta + W_B (1 + \cos\gamma) - 2W_D = N\lambda. \tag{7}$$

При выводе уравнений (5) и (7) не вводилось никаких допущений о состоянии поверхности образца, поэтому они должны выполняться для картин полос, восстанавливаемых голограммами, записанными как у поверхности зеркального растра, так и у диффузно рассеивающей поверхности. В первом случае углы α, β, γ изменяются дискретно и постоянны по всей изучаемой поверхности образца, во втором случае — определяются параметрами индикатрисы рассеивания поверхности изделия.

Для раздельного определения компонент вектора по картинам интерференционных полос, наблюдаемых в отраженном голограммой свете, обычно регистрируют картины полос, наблюдаемых с симметричных относительно нормали к регистрирующей среде направлений. Если направления наблюдений лежат в плоскости xoz , то разрешающие уравнения принимают вид:

$$\begin{aligned}
 U_B \sin\gamma + W_B (1 + \cos\gamma) &= N\lambda; \\
 -U_B \sin\gamma + W_B (1 + \cos\gamma) &= N_2\lambda,
 \end{aligned} \tag{8}$$

здесь N_1 и N_2 — порядки интерференционных полос в картинах, наблюдаемых с симметричных направлений. И компонента вектора перемещения, лежащая в плоскости регистрации, определяется выражением:

$$U_B = \frac{(N_1 - N_2)\lambda}{2\sin\gamma}. \tag{9}$$

Определение перемещений в плоскости изделия по картинам полос, наблюдаемым в проходящем через голограмму свете, возможно только при отсутствии зазора между объектом и регистрирующей средой или малых углах наблюдения. В последнем случае, как в методе традиционного муара или спекла, можно считать, что положение полос зависит только от перемещений в плоскости

$$U_B \sin\alpha = N\lambda,$$

здесь $\sin\alpha = n\lambda\psi$ (n — номер дифракционного порядка; λ — длина световой волны; ψ — частота растра);

U_B — перемещение в плоскости образца, нормальное к линиям растра;
 N — порядок полосы.

Поверхность древесины обладает недостаточной отражательной способностью, поэтому для создания отражающего слоя на деревянный брус с помощью эпоксидного клея наносится слой алюминиевой пудры. Методика создания отражающего слоя следующая. Предварительно на поверхность бруса наносится тонкий слой эпоксидного клея. Затем на kleевой слой равномерно напыляется алюминиевая пудра. После затвердевания клея (24 ч) остатки пудры тщательно удаляются с помощью марлевого тампона, пропитанного ацетоном.

Приведем два примера исследования элементов строительных конструкций из древесины. Исследовалось напряженно-деформированное состояние фрагмента при опорной части стрельчатой арки из древесины с поперечным сечением 75×400 мм. Усилия передавались на торцы склеенных в заводских условиях деревянных элементов под углом $\alpha = 15^\circ$ к вертикальной оси симметрии через опорные шарниры из стеклопластика АГ-4С.

На рис. 2 показаны фотографии интерференционных полос, наблюдаваемых в отраженном свете под углом $\gamma = 36^\circ$ с четырех симметричных относительно нормали к поверхности направлений при действии нагрузки 12 кН. Гребенчатый характер полос свидетельствует о структурной неоднородности древесины.

По картинам интерференционных полос вычисляли деформации, а затем в соответствии с законом Гука определяли напряжения. Эпюры напряжений для уровней, отстоящих на 2, 6, 10 и 14 см от опоры, приведены на рис. 3. Результаты эксперимента использовались для верификации расчетов при разработке опорной части из стеклопластика.

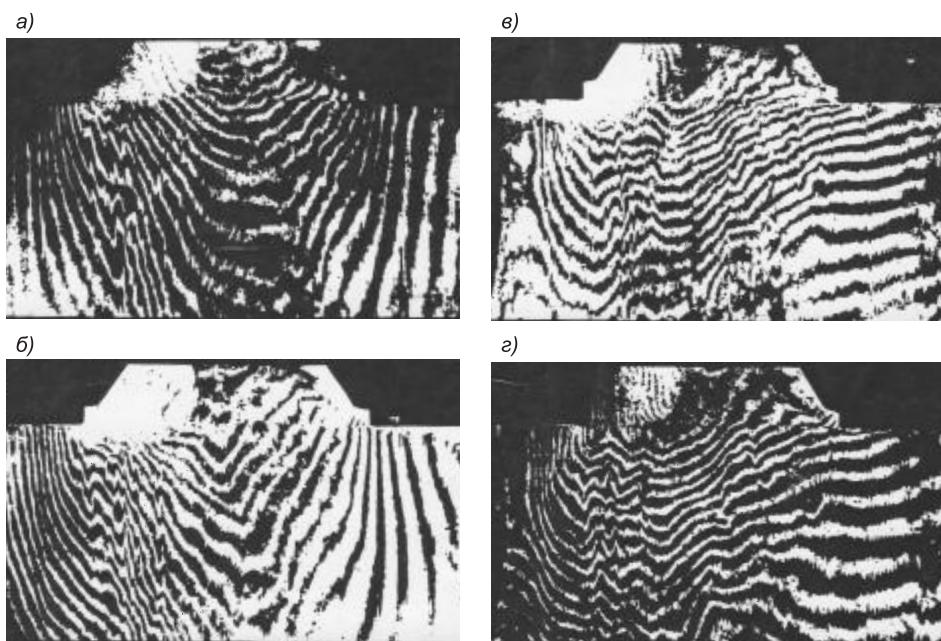


Рис. 2. Картинки интерференционных полос, наблюдаемые в плоскости yoz (а и б) и в плоскости xoz (в и г)

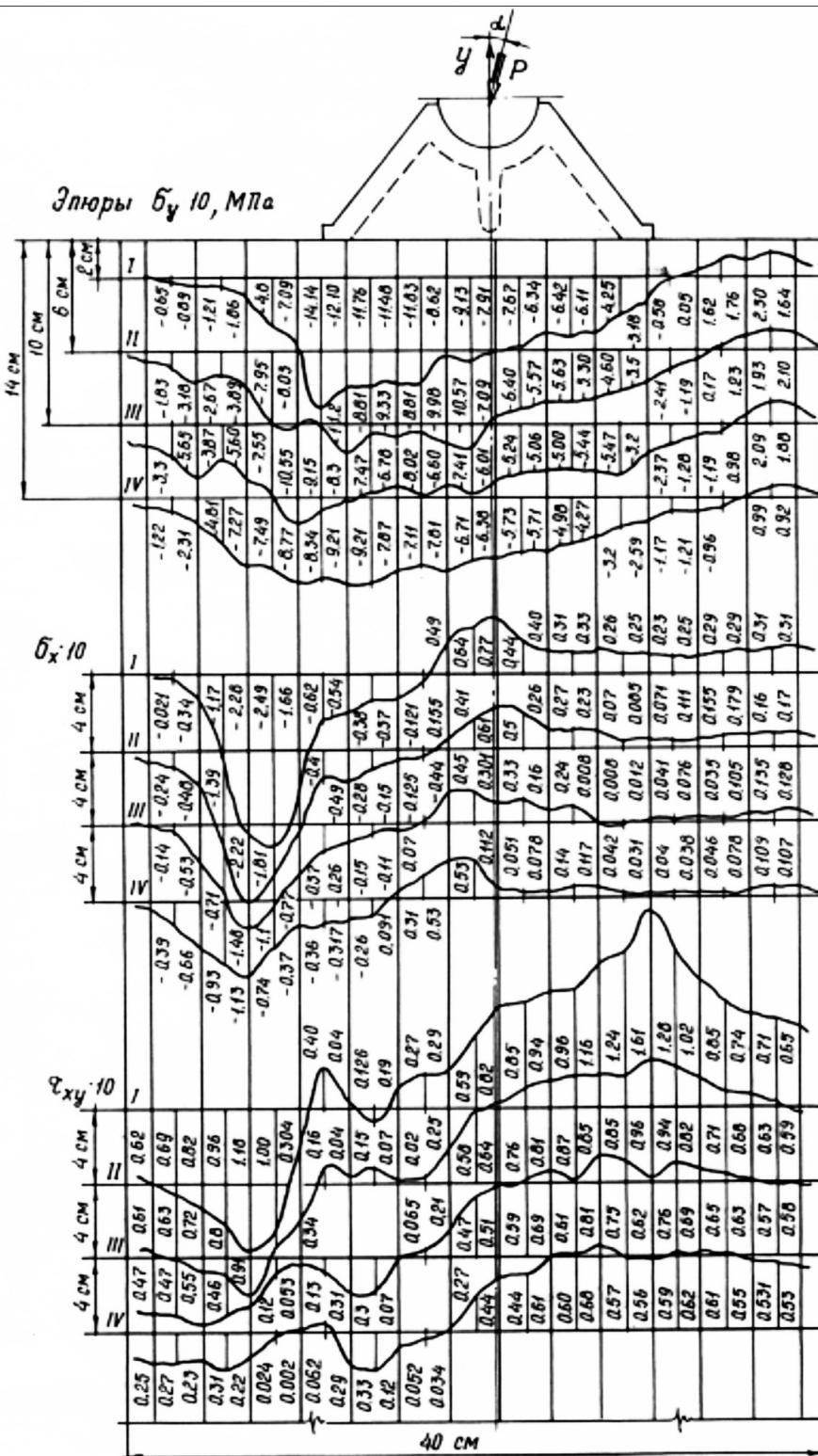


Рис. 3. Эпюры напряжений в поперечных сечениях опорного участка

Второй пример: применение метода для оценки допустимых расстояний между нагелями. Вопрос о расстановке нагелей, основанный на прочности деревянных элементов при забивании, рассмотрен в [3]. Здесь мы изучаем вопрос прочности при нагружении нагелей. В этом случае первая экспозиция выполнялась при ненагруженном нагеле. Нагель нагружался с помощью пресса ДМ-30М и производилась вторая экспозиция. На рис. 4 приведены фотографии интерферограмм, зарегистрированных вблизи нагеля с характерным размером 14 мм, при нагружении его усилием 400 Н.

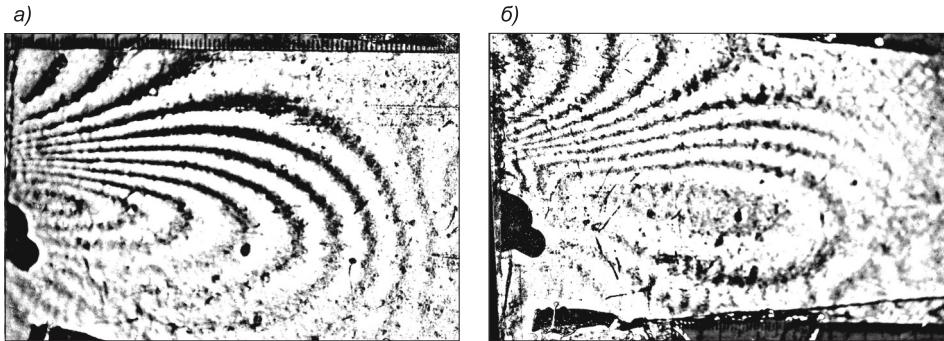


Рис. 4. Фотографии интерферограмм (а, б), зарегистрированных с двух симметричных направлений. Нагель 14 мм, нагрузка 400 Н

Деформации древесины, вызванные усилиями, передаваемыми нагелям, можно представить как сумму деформаций от равномерно распределенной и самоуравновешенной нагрузок, характеризующих неоднородность деформированного состояния, обусловленного локальностью приложения нагрузки. При расчете нагельных соединений расстояния между нагелями следует выбирать такими, чтобы неоднородности деформированных состояний, вызванные разными нагелями, не перекрывались. Неоднородность деформированного состояния может характеризоваться изменением сдвиговой деформации.

Как следует из (9), в случае линейной аппроксимации распределения компоненты U компонента сдвиговой деформации может быть определена соотношением:

$$\frac{dU}{dy} = \frac{\Delta N}{h} \frac{\lambda}{\sin y}, \quad (10)$$

где ΔN — разность величин $\frac{N_1 - N}{2}$, определенная в точках с одинаковой координатой x в разных сечениях; h — расстояние между сечениями.

Ранее отмечалось, что затухание возмущения, вызванного приложением самоуравновешенной нагрузки, носит экспоненциальный характер [4]. Поэтому можно предположить, что сдвиговая деформация $\frac{dU}{dy}$ описывается выражением

$$\frac{dU}{dy} = Ce^{-\frac{x}{\tau}}. \quad (11)$$

Тогда

$$\ln \frac{dU}{dY} = \ln c - \frac{x}{\tau} = \ln \Delta N + \ln \frac{\lambda}{h \sin \gamma}. \quad (12)$$

Отсюда следует, что за постоянную затухания возмущения τ можно принять расстояние, на котором величина $\ln \Delta N$ уменьшается на единицу.

На рис. 5 приведены графики изменения $\ln \Delta N$ вдоль волокон древесины вблизи нагелей. Как видно из рисунка, полученные данные хорошо ложатся на прямые, что подтверждает предположение об экспоненциальной зависимости деформаций. По построенным прямым можно определить постоянные затухания. При нагружении нагеля 14 мм, усилием 400 Н, постоянная затухания равняется 1,80 см, для нагеля 16 мм — 1,95 см.

Чтобы исключить раскачивание деревянного элемента при нагружении нагелей, расстояние между нагелями следует принимать таким, чтобы в области наложения напряжений, обусловленных забивкой двух соседних нагелей, величина каждого из напряжений снижалась до 2 % от максимальной величины, т.е. 8τ . Таким образом, для нагелей с характерным размером 14 мм рекомендуется принять расстояние между нагелями 14,4 см, а для нагелей 16 мм — 15,6 см.

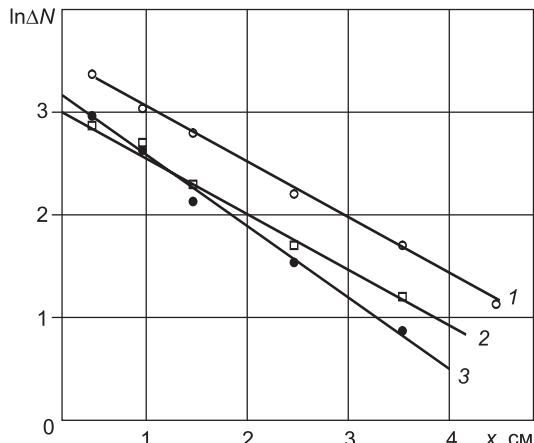


Рис. 5. Графики изменения $\ln \Delta N$ в сечениях вдоль волокон в древесине вблизи нагеля 14 мм
 1 — в сечении, проходящем через середину нагеля;
 2 — в сечении, отстоящем от середины нагеля на 6 мм вверх;
 3 — в сечении, отстоящем от середины нагеля на 6 мм вниз

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Жилкин, В.А. Расшифровка интерференционных картин в методе голографического муара [Текст] / В.А. Жилкин, В.Б. Зиновьев // Журн. техн. физики. — 1986. — Т. 56, № 1. — С. 113.
- Жилкин, В.А. Исследование анизотропных задач механики деформируемых тел методом голографического муара [Текст] / В.А. Жилкин, В.Б. Зиновьев, Т.В. Горбунова // Механика композитных материалов. — 1983. — № 2. — С. 341–347.
- Зиновьев, В.Б. О расстановке нагелей крестообразного сечения в соединениях деревянных элементов [Текст] / В.Б. Зиновьев, В.Н. Шведов, А.М. Попов // Изв. вузов. Строительство. — 2012. — № 3. — С. 127–131.
- Жилкин, В.А. Определение зоны краевого эффекта с помощью метода голографического муара [Текст] / В.А. Жилкин, В.Б. Зиновьев // Журн. прикл. механики и теорет. физики. — 1986. — № 5. — С. 132–135.

ЗИНОВЬЕВ Владимир Борисович, канд. техн. наук, доц.; E-mail: termech@stu.ru
 Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск
 РУСОВ Борис Петрович, д-р техн. наук, проф.
 Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
 (Сибстрин)

ШВЕДОВ Владимир Николаевич, канд. техн. наук, доц.

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

Получено 17.10.13

Zinovjev Vladimir Borisovich, candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: teormech@stu.ru; Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

Rusov Boris Petrovich, doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Shvedov Vladimir Nikolaevich, candidate of technical sciences, assistant professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

EXPERIENCE OF INTERFEROMETRII IN COUNTER BEAM ELEMENT OF INVESTIGATION CONSTRUCTION OF WOOD

The physical basis of the method of holographic interferometry in colliding beams are given. On examples of research on stress strain state in support of the laminated wood beams and the area adjacent to the screw Nagel of cruciform cross-section, effectincy of a method is shown.

Key words: holographic interferometry, deformation, stress, wooden elements, durability, nail.

REFERENCES

1. Zhilkin, V.A. Transcript of the interference patterns in the method of holographic moire [Text] / V.A. Zhilkin, V.B. Zinovjev // J. technical physics. — 1986. — Vol. 56, N 1. — P. 113.
2. Zhilkin, V.A. Study the anisotropic problems of mechanics of deformable bodies by the method of holographic moire [Text] / V.A. Zhilkin, V.B. Zinovjev, T.V. Gorbunova // Mechanics of composite materials. — 1983. — N 2. — P. 341–347.
3. Zinovjev, V.B. About arrangement nails of crosswise section in connections of wooden elements [Text] / V.B. Zinovjev, V.N. Shvedov, A.M. Popov // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2012. — N 3. — P. 127–131.
4. Zhilkin, V.A. The determination of the area of the edge effect with the help of the method of holographic moire [Text] / V.A. Zhilkin, V.B. Zinovjev // J. of applied mechanics and theoretical physics. — 1986. — N 5. — P. 132–135.

УДК 624.014:2

К.А. ШАФРАЙ, С.Д. ШАФРАЙ

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ФЛАНЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ. КОНТАКТНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ И РЫЧАЖНЫЕ СИЛЫ*

Для конструктивных решений фланцевых соединений стержней открытого профиля на основе численного эксперимента выявлено распределение контактных напряжений между фланцами и под шайбами болтов. Получено, что характер эпюра контактных напряжений и местоположение (эксцентриситеты) рычажных сил зависят от соотношения жесткостей фланцев и болтов. Установлена зависимость изгибающего момента во фланце от величины рычажных сил. Дан анализ результатов численного эксперимента.

Ключевые слова: фланцевые соединения, болты, контактные напряжения, эксцентриситет рычажных сил, расчетная схема, изгибающий момент во фланце.

В развитие темы о конструктивных решениях фланцевых соединений (ФС) и особенностей их работы в настоящем исследовании представлен раздел, затрагивающий важные вопросы о распределении контактных напряжений и рычажных сил в ФС. Актуальность решения данной задачи очевидна, так как в официально принятой методике расчета ФС [1] априори считается, что рычажные силы под головкой и шайбой болта незначительны, а эксцентриситет смещения сил растяжения в болте под нагрузкой минимален и не зависит от соотношения жесткостей фланца и болта.

Целью исследования, которое осуществлено в продолжение работы [2], является изучение распределения контактных напряжений во фланцах и шайбе под головкой болта, определение положения равнодействующих указанных напряжений относительно оси болта по мере изменения толщины фланца и величины изгибающего момента во фланце от внешней нагрузки с учетом рычажных сил. В качестве объекта исследования приняты конструктивные решения ФС стержней открытого профиля с расположением болтов в наружной зоне [1].

Методика исследования. Для ФС стержней открытого профиля можно предложить расчетную схему (рис. 1), соответствующую механизму рычага 2-го рода. В данном рычаге точки приложения сил (P_f , N_b) находятся по одну сторону от опоры, местоположение которой определяется точкой приложения равнодействующей (N_f) силового контакта между фланцами. Неопределенность работы такого рычага обусловлена тем, что при заданных отношениях жесткостей болтов и фланцев возможно перераспределение контактных напряжений под шайбой и головкой болта, а также между фланцами по мере изменения внешней нагрузки. При этом равнодействующие N_b и N_f могут смещаться: первая

* Работа выполнена в рамках госзадания Министерства образования и науки РФ (шифр проекта 7.2667.2011).

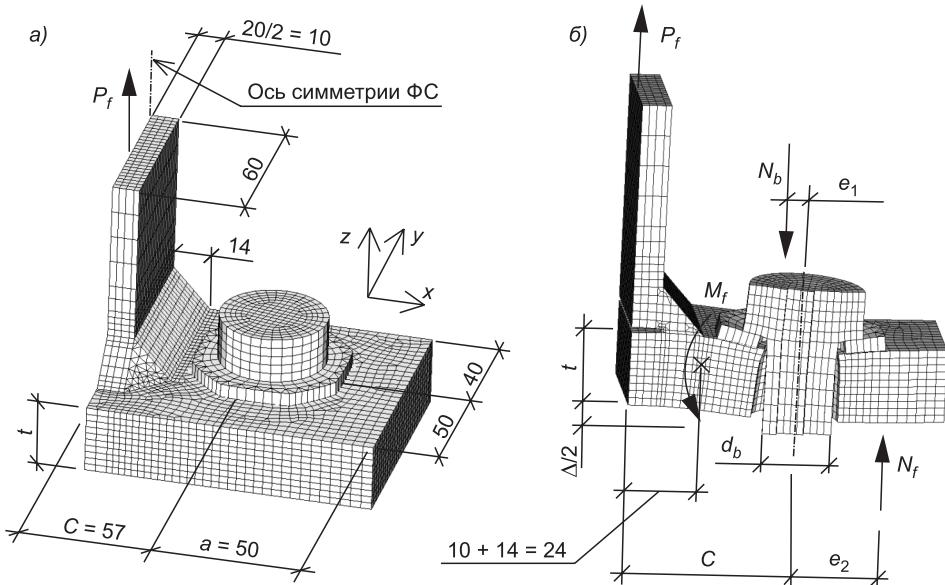


Рис. 1. Конечно-элементная модель (с учетом симметрии) ФС (а) и расчетная схема ФС с фрагментом деформированной конечно-элементной модели (б)

(экцентриситет e_1) — от оси болта к оси силонагружения фланца, вторая (экцентриситет e_2) — в противоположную сторону, к свободной кромке фланца. Решение задачи сводится к определению эксцентриситетов e_1 и e_2 , которые при нагружении и деформировании ФС меняют свои значения.

Для достижения поставленной цели был осуществлен численный эксперимент. В качестве конечно-элементных моделей рассмотрены расстянутые Т-образные ФС, представляющие расчетный участок одного ряда болтов наружной зоны, который по своим геометрическим параметрам, свойствам материала, условиям нагружения (см. рис. 1, а) адекватен требованиям рекомендаций [1]. Для снижения объемов расчетов применен принцип симметрии, что позволило создать модель расчетного участка ФС в виде его $1/4$ части. Участок стержня открытого профиля, закрепленный к фланцу угловыми швами, был принят толщиной 20 мм. Толщина фланцев t задана с шагом 5 мм и принимала значения от 15 до 35 мм. Диаметры болтов $d_b = 24$ мм. Размеры болтов, шайб и гаек назначались согласно ГОСТ 22356–77, 22354–77, 22355–77 на высокопрочные болты из стали 40Х «Селект» для ФС.

Модель построена из объемных конечных элементов в виде призм и пирамид, в основании которых треугольники и выпуклые четырехугольники с минимальным масштабом в 2,5 мм. Это позволило осуществить вариацию размера толщины фланцев при переходе от одной модели к другой путем изменения количества слоев конечных элементов во фланце. Метод дает возможность учесть «масштабный фактор» — влияние изменения толщины фланца на его напряженно-деформированное состояние. Границные условия между шайбой и фланцем, а также между фланцами, обусловлены параметрами одностороннего контакта при

сжатии, задаваемыми контактными нелинейными GAP-элементами. GAP-элементы моделируют одностороннюю связь между смежными узлами контактирующих поверхностей фланцев и шайбы. При этом реализуются эффект связи между узлами при сжатии и отсутствие связи при растяжении.

В модели также учитывалась физическая нелинейность свойств материалов, поведение которых под нагрузкой задано в виде билинейных зависимостей. Для этого в элементах модели ФС были приняты диаграммы упругопластической работы материала, соответствующие стальям: пластина и сварной шов — сталь С345, фланец — С255, шайба и болт — сталь 40Х «Селект».

Нагружение модели производилось ступенчато. Первая ступень нагрузки соответствовала предварительному натяжению болта силой

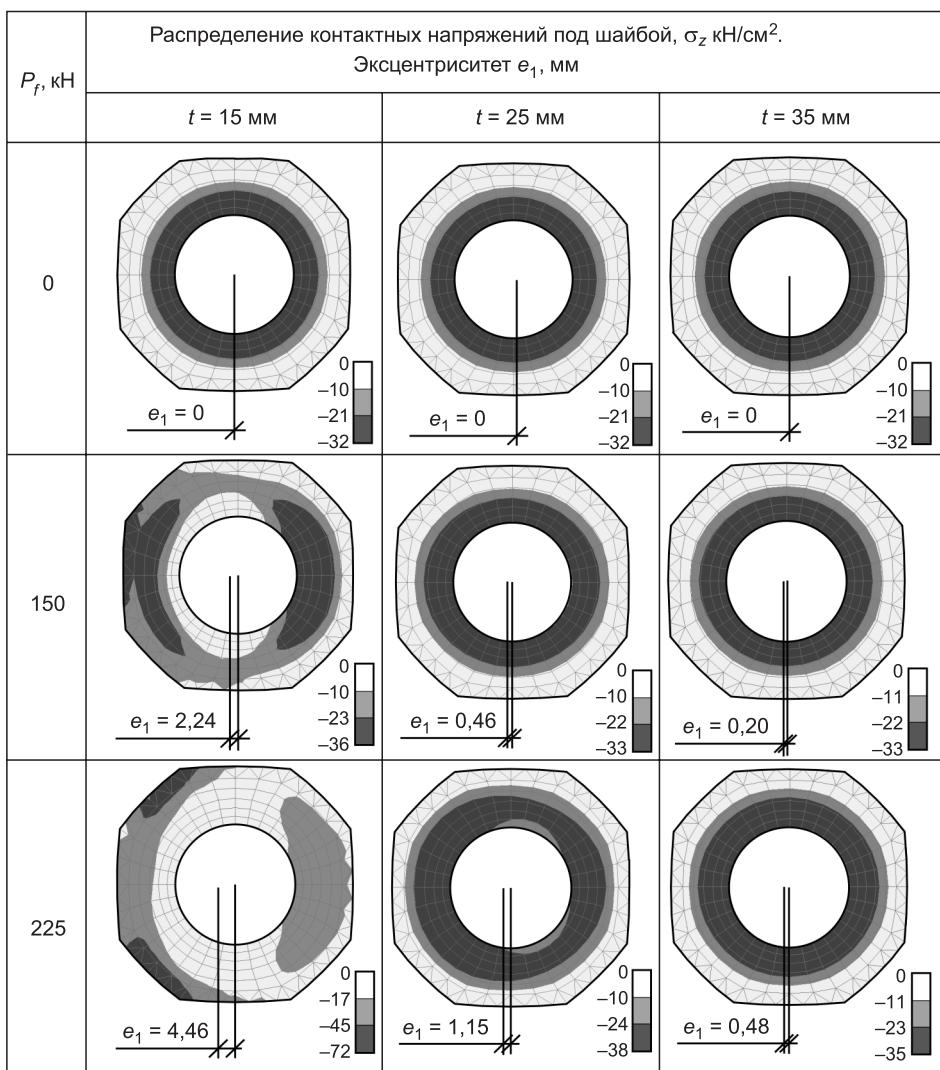


Рис. 2. Изменение контактных напряжений под шайбой и смещение e_1 рычажной силы N_b от оси болта при ступенях нагрузки $P_f = 0, 150, 225$ кН для фланцев толщиной $t = 15, 25$ и 35 мм

$N_b = 240$ кН. Последующие ступени осуществлялись последовательно равными долями внешней нагрузки P_f , приложенной к торцу элемента (см. рис. 1) так, чтобы на десятой ступени нагружения $P_f = 150$ кН, что соответствовало номинальным напряжениям по сечению элемента 25 кН/см². Предельное количество ступеней нагружения было принято равным 20, что создавало напряжение в присоединяемой пластине 50 кН/см² ($P_f = 300$ кН). В этих предельных условиях элементы ФС работали в упругопластической стадии.

В результате численного эксперимента получено распределение контактных напряжений в зависимости от величины внешней нагрузки и толщины фланцев, а также установлены местоположения равнодействующих N_f и N_b силовых контактов между фланцами и фланцем и шайбой соответственно.

Координаты равнодействующих N_f и N_b (эксцентрикитеты e_1 , e_2) вычислены по аналогии с методом определения центра тяжести в механике. Для этого использовались значения продольных усилий N_i в каждом из GAP-элементов (усилие между узлами контактирующих поверхностей) и их положение x_i относительно оси болта. Таким образом, эксцентрикитеты вычислялись по формуле:

$$e_1, e_2 = \sum x_i N_i / \sum N_i.$$

Характер изменения контактных напряжений под шайбой и смещение e_1 рычажной силы N_b в зависимости от толщины фланца и нагрузки можно проследить на рис. 2. Подобным образом на рис. 3 представлены смещение e_2 от оси болта рычажной силы N_f и изменение соответственных контактных напряжений между фланцами. При растяжении ФС по мере роста внешней нагрузки P_f контактные напряжения испытывают существенное перераспределение как под подошвой фланца, так и под шайбой болта. Наиболее значимое изменение контактных напряжений под шайбой (см. рис. 2) наблюдается для «тонких» фланцев $t = 15$ мм, и наоборот контактные напряжения между фланцами более интенсивно смещаются к внешней кромке фланца у «толстых» фланцев при $t = 35$ мм (см. рис. 3).

Результаты эксперимента представлены в виде графиков. Зависимости на рис. 4, а , б для e_1 и e_2 от P_f по характеру их изменения можно условно разбить на два участка, которые будут соответствовать упругой и упругопластической стадии работы фланца.

Первый участок — упругая область работы фланцев — находится в диапазоне P_f от 0 до 60 кН ($t = 15$ мм), 105 кН ($t = 20$ мм), 195 кН ($t = 25$ мм), 225 кН ($t = 30$ мм), 240 кН ($t = 35$ мм).

Второй участок — упругопластическая работа фланца. Эти участки можно аппроксимировать линейными зависимостями между эксцентрикитетами e_1 и e_2 и внешней нагрузкой P_f . Приведенные абсолютные значения эксцентрикитетов e_1 и e_2 следует соотнести с геометрическими размерами d_6 болта и a фланца (см. рис. 1), чтобы оценить их вклад в напряженно-деформированное состояние ФС.

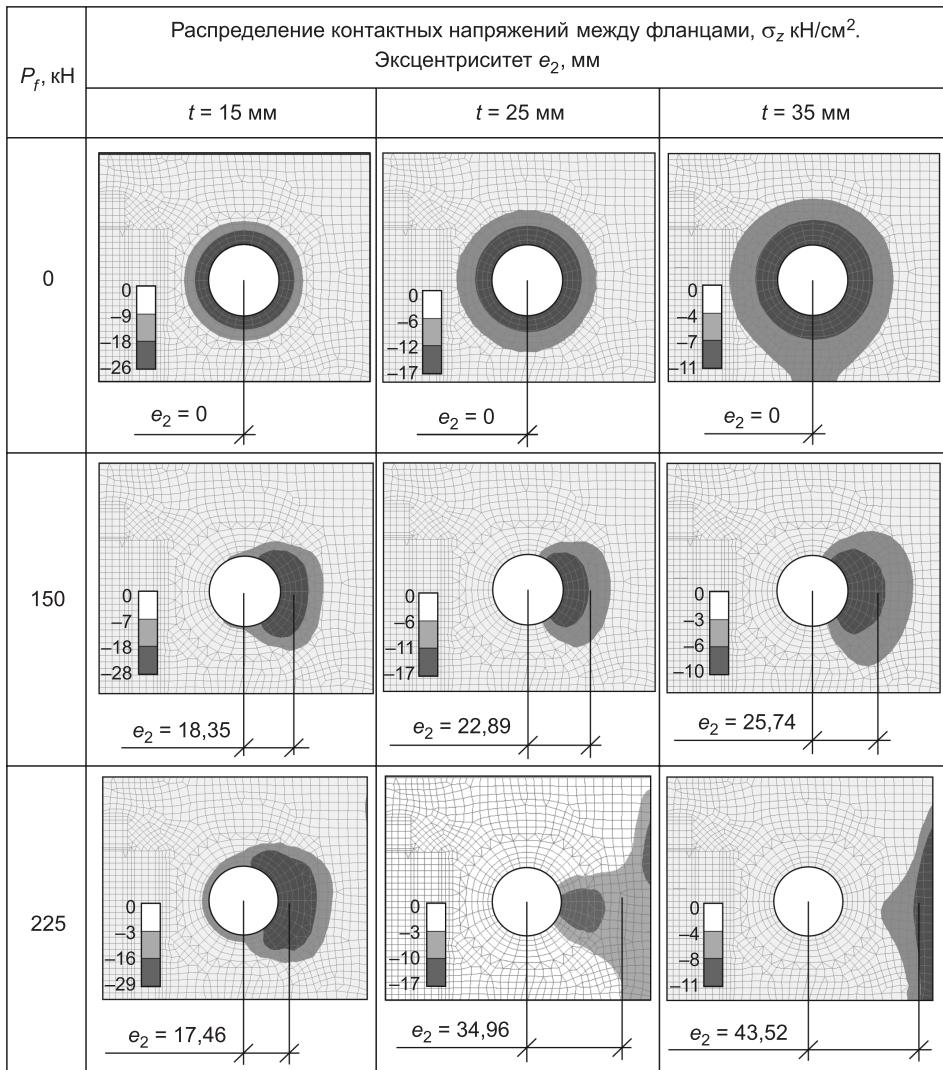


Рис. 3. Смещение e_2 от оси болта рычажной силы N_f силового контакта между фланцами и изменение соответственных контактных напряжений при ступенях нагрузки $P_f = 0, 150, 225$ кН для фланцев толщиной $t = 15, 25$ и 35 мм

Проанализируем относительные значения e_1/d_6 и e_2/a (табл. 1). Из табл. 1 следует, что по мере увеличения толщины от 15 до 35 мм для нагрузок $P_f = 150$ и 225 кН отношение e_1/d_6 уменьшается в 9 раз. Для отношения e_2/a наблюдается обратная тенденция, т.е. для нагрузок $P_f = 150$ и 225 кН отношение e_2/a увеличивается в 1,4 и 2,5 раза соот-

Таблица 1

Относительные значения e_1/d_6 , e_2/a , %

P_f , кН	$t = 15$ мм		$t = 25$ мм		$t = 35$ мм	
	e_1/d_6	e_2/a	e_1/d_6	e_2/a	e_1/d_6	e_2/a
150	9	37	2	46	1	51
225	19	35	5	70	2	87

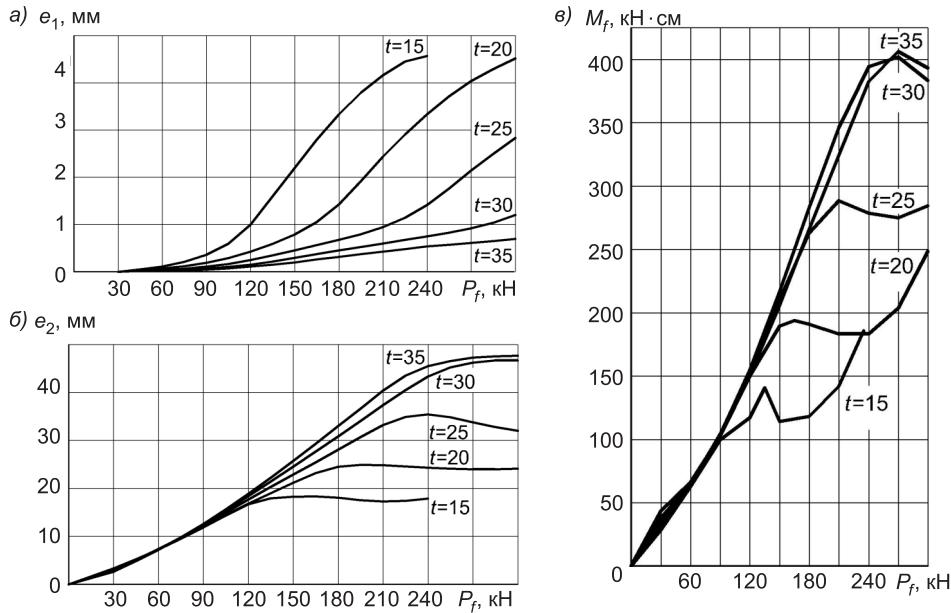


Рис. 4. Изменение эксцентрикитетов e_1 , e_2 и изгибающего момента M_f во фланце с ростом нагрузки для разных толщин фланцев

a — эксцентрикитет e_1 рычажной силы N_b под шайбой болта; *б* — эксцентрикитет e_2 рычажной силы N_f силового контакта между фланцами; *в* — изгибающий момент во фланце M_f

ветственно. Для ФС с $t = 35$ мм и выше рычажная сила N_f практически расположена у свободной кромки фланцев.

Опираясь на условия прочности фланца на изгиб и прочности по болтам согласно рекомендациям [1], определены для моделей ФС соответствующие им предельные значения расчетной нагрузки $P_{f\phi}$ и $P_{f\beta}$ (табл. 2). В табл. 2 также даны эксцентрикитеты e_1 и e_2 , которые согласно графикам на рис. 4, *a*, *b* соответствуют внешней нагрузке, равной по величине расчетным значениям $P_{f\phi}$ и $P_{f\beta}$. Эти эксцентрикитеты обозначены как $e_{1\phi}$, $e_{1\beta}$, $e_{2\phi}$, $e_{2\beta}$ (индекс « ϕ » соответствует нагрузке, равной по величине $P_{f\phi}$, « β » — равной по величине $P_{f\beta}$). Анализируя значения $e_{1\phi}$, $e_{1\beta}$, $e_{2\phi}$, $e_{2\beta}$ (см. табл. 2), можно отметить, что они принадлежат к первым участкам графиков на рис. 4, *a*, *b*, соответствующих упругой работе материала фланцев.

Помимо представленных выше параметров, вычислен изгибающий момент в сечении фланца по краю сварного шва. Для определения изги-

Таблица 2

Расчетные усилия для модели ФС из условий прочности фланца на изгиб $P_{f\phi}$ и прочности по болтам $P_{f\beta}$ и соответствующие им эксцентрикитеты

t , мм	$P_{f\phi}/P_{f\beta}$, кН	$e_{1\phi}/e_{1\beta}$, мм	$e_{2\phi}/e_{2\beta}$, мм
15	55 / 107	0,09 / 0,65	6,62 / 14,70
20	97 / 136	0,24 / 0,60	13,16 / 19,18
25	146 / 157	0,43 / 0,51	22,21 / 24,08
30	199 / 178	0,55 / 0,44	35,00 / 30,42
35	248 / 196	0,56 / 0,38	46,08 / 36,92

бающего момента использовалась балочная расчетная схема (см. рис. 1, б), согласно которой момент будет равен

$$M_f = P_f(57 - 24 + e_2) - N_b(e_1 + e_2).$$

При этом каждому значению P_f принимались соответствующие значения N_b , e_1 и e_2 . Зависимость изгибающего момента M_f от внешней нагрузки P_f представлена на рис. 4, в.

Из графика следует, что между величинами M_f и P_f наблюдается зависимость, близкая к линейной до $P_f = 90$ кН, не зависящая от толщины фланцев. Зависимость между M_f и P_f при данной внешней нагрузке для фланцев толщиной $t = 15$ мм, вследствие принятой билинейной схемы работы материала в модели ФС, претерпевает изменение. Остальные модели по мере увеличения толщин фланцев показывают подобное отклонение от линейной зависимости при более высоких уровнях внешней нагрузки. Это наблюдается при $P_f = 90, 150, 180, 240, 242$ кН, при толщинах фланцев $t = 15, 20, 25, 30, 35$ мм соответственно.

Выводы. 1. Расчетная схема для ФС стержней открытого профиля соответствует механизму рычага 2-го рода, у которого точки приложения внешней нагрузки и равнодействующая усилий от болта на фланец находятся по одну сторону от местоположения равнодействующей силового контакта между фланцами. Указанные равнодействующие в зависимости от внешней нагрузки и толщины фланца меняют свои величины и положение. Так, равнодействующая усилий от болта на фланец смещается от оси болта к оси силонагружения фланца, а равнодействующая силового контакта между фланцами — в противоположную сторону, к свободной кромке фланца.

2. Установлены численные значения эксцентриситетов e_1 и e_2 от оси болта, определяющих расположение во фланцевом соединении равнодействующих усилий силовых контактов под шайбой болта и между фланцами соответственно, в зависимости от внешней нагрузки и толщины фланца.

3. По мере роста внешней нагрузки контактные напряжения испытывают существенное перераспределение как под подошвой фланца, так и под шайбой болта. Наибольшее изменение контактных напряжений под шайбой наблюдается для «тонких» фланцев $t = 15$ мм по отношению к «толстым» фланцам $t = 35$ мм, и наоборот контактные напряжения между фланцами более интенсивно смещаются к внешней кромке фланца у «толстых» фланцев.

4. Для фланцевых соединений стержней открытого профиля при диапазоне внешней нагрузки от 0 до расчетных значений из условий прочности фланца на изгиб и прочности по болтам на разрыв наблюдается линейная зависимость между внешней нагрузкой и указанными выше эксцентриситетами e_1 и e_2 . Величина изгибающего момента в сечении фланца по краю сварного шва изменяется в зависимости от внешней нагрузки по закону, не зависящему от толщины фланцев.

5. Для оценки напряженно-деформированного состояния ФС важно соотносить величины эксцентриситетов e_1 и e_2 с геометрическими размерами болта и фланца. По мере увеличения толщины от 15 до 35 мм для внешней нагрузки 150 и 225 кН отношение e_1 к диаметру болта уменьшается в 9 раз, а при тех же условиях нагружения отношение e_2 к размеру от оси болта до свободной кромки фланца увеличивается в 1,4 и 2,5 раза соответственно. Для ФС с $t = 35$ мм и выше рычажная сила при

внешней нагрузке, близкой к расчетному значению, практически расположена у свободной кромки фланцев.

Можно надеяться, что исследования о местоположении и величине рычажных сил в зависимости от толщины фланцев и уровня внешней нагрузки позволяют уточнить методы расчета ФС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рекомендации по расчету, проектированию, изготовлению и монтажу фланцевых соединений стальных строительных конструкций [Текст]. — М. : ЦБНТИ Минмонтажспецстроя СССР, 1989. — 52 с.
2. Шафрай, С.Д. Влияние конструктивно-технологической формы фланцевого соединения на его работоспособность [Текст] / С.Д. Шафрай // Изв. вузов. Строительство. — 2012. — № 9. — С. 92–100.

ШАФРАЙ Константин Анатольевич, канд. техн. наук, доц.; E-mail: konst_shafrai@mail.ru

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

ШАФРАЙ Сергей Дмитриевич, д-р техн. наук, проф.; E-mail: shafray.sd@yandex.ru

Новосибирская государственная архитектурно-художественная академия

Получено после доработки 15.10.13

Shafray Konstantin Anatolievich, candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: konst_shafrai@mail.ru, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Shafray Sergey Dmitrievich, doctor of technical sciences, professor; E-mail: shafray.sd@yandex.ru, Novosibirsk State Academy of Architecture and Fine Arts, Russia

FEATURES THE WORK OF FLANGED CONNECTIONS FOR BUILDING STRUCTURES.

CONTACT PRESSURE AND PRYING FORCES

For the design of flanges based on the public profile rods of numerical experiment revealed the distribution of contact stresses between the flanges and washers to the bolts. It is obtained that the nature of diagrams of the contact stresses and location (eccentricities) prying forces depend on the ratio of shear of flanges and bolts. The dependence of bending moment in the flange of the prying forces. Analysis of results of numerical experiment.

Key words: flange, bolts, contact stress, the eccentricity of the prying forces, estimated the scheme, the bending moment in the flange.

REFERENCES

1. Recommendations on the calculation, design, manufacture and installation of flange joints of steel building structures [Text]. — M. : CBNTI within Minmontazhspetsstroy Ministry of the USSR, 1989. — 52 p.
2. Шафрай, С.Д. The influence constructive-technological form of the flanged connection on his capacity to work [Text] / С.Д. Шафрай // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2012. — N 9. — P. 92–100.

УДК 620.172.21

С.И. ГЕРАСИМОВ, В.А. ЖИЛКИН, П.И. ОСТРОМЕНСКИЙ

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА НАКОПЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ ПОВТОРНОМ НАГРУЖЕНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАКЛАДНОГО ГОЛОГРАФИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА

Рассмотрен интерференционно-оптический метод изучения поверхностных перемещений. Показана высокая эффективность способа реального времени записи голограмм для определения накопления деформаций объекта исследования.

Ключевые слова: перемещения, деформации, интерференционно-оптический метод.

1. Возможности методов реального времени и двойной экспозиции. С помощью накладной голограммической интерферометрии задачу определения накопления деформаций можно решать двумя способами: используя двухэкспозиционные голограммы, либо проводя исследование в реальном времени [1]. В первом случае необходимо поэтапно записать большое количество голограммических интерферограмм, расшифровать их, а затем провести анализ с целью установления изменения какой-либо компоненты тензора деформаций при нестационарном нагружении, измеряемой при одной величине нагрузки. Если учесть, что диапазон деформаций $\Delta\epsilon$, измеряемых с помощью одной голограммы, мал и для полного исследования одного цикла нагружения пластины с отверстием (рис. 1) требуется порядка 10 двухэкспозиционных голограмм, то становится ясно, что такой подход к решению проблемы на практике трудно осуществим. Для изучения накопления деформаций, при одной величине нагрузки за n циклов потребуется порядка $10n$ голограммических интерферограмм.

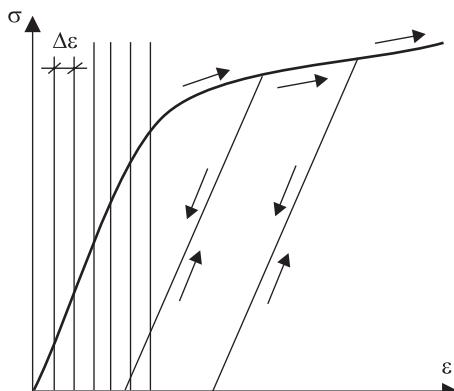


Рис. 1. К вопросу применения двухэкспозиционных голограмм

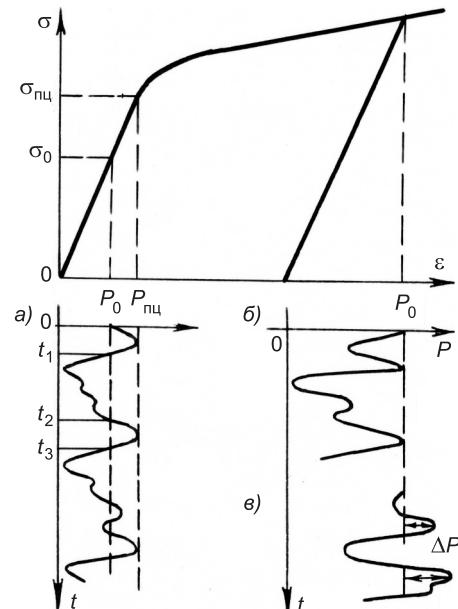


Рис. 2. К вопросу об испытаниях в реальном времени

а — в зоне упругих деформаций; б — в пределах упругой разгрузки; в — за пределами упругой разгрузки

Другой прием — интерферометрия в реальном времени — позволяет наиболее рационально использовать уникальное свойство голограммической интерферометрии как дифференциального (разностного) метода измерения. Для этого записывают голограмму поверхности изделия при некоторой заданной исследователем нагрузке P_0 . Затем объект деформируют и наблюдают поведение интерференционной картины при той же нагрузке. Картина полос может быть различной в зависимости от характера прикладываемой нагрузки, уровня P_0 и вида диаграммы нагружения материала изделия. Если максимальная внешняя нагрузка $P_{\max}^{\text{упр}} = P_{\text{пп}}$ (где $P_{\text{пп}}$ — нагрузка, соответствующая пределу пропорциональности) такова, что возникающие в образце напряжения не превышают $\sigma_{\text{пп}}$, то уровень P_0 может быть любым в пределах от 0 до $P_{\max}^{\text{упр}}$ и характер изменения силового воздействия допускается самым разнообразным. При этом если нет изменения компонент тензора деформаций, то интерференционная картина в моменты t_1 , t_2 , t_3 и т.д. (рис. 2, а) аналогична начальной картине, т.е. поверхность образца будет равномерно освещенной.

В том случае, когда прикладываемая нагрузка превышает $P_{\text{пп}}$, необходимо внимательно следить за характером ее изменения. Наиболее просто наблюдать за изменением деформаций при выбранном P_0 , если нагрузка не превышает P_0 (рис. 2, б). Накопление деформаций вызывает появление интерференционной картины, а ее (картины) отсутствие свидетельствует о постоянстве деформаций. Если же нагрузка P изменяется, как показано на рис. 2, в, т.е. в отдельные моменты времени превышает P_0 , то на голограмме возникает система полос, по которой можно найти приращение пластических деформаций $\Delta\varepsilon$.

С целью проверки высказанной выше возможности испытания образцов по методу реального времени был осуществлен ряд экспериментов.

Образцы представляли собой плоские пластины из материала Д16Т длиной 400 мм, шириной 60 мм и толщиной 5,85 мм. В центре каждого образца просверливали отверстие диаметром 6,15 мм. В центральной части горизонтально расположенного образца прикрепляли посредством промежуточной среды фотопластинку размером 70×70 мм. Время полимеризации среды составило несколько часов. Как было показано в [2], время полимеризации должно примерно вдвое превышать длительность испытаний. При этом появится не более одной интерференционной полосы, не связанной с процессом деформирования.

В первых экспериментах образец помещали в стандартные губчатые захваты испытательной машины УМЭ-10ТМ. К сожалению, при таком способе крепления образца фотопластинка отслаивалась от исследуемой поверхности уже после 3–5 циклов нагружения. Внешне это проявлялось в возникновении высокочастотной паразитной системы интерференционных полос, постепенно распространяющейся от краев фотопластинки к ее центру по мере увеличения числа циклов нагружения. Было установлено, что причина явления заключалась в значительном изгибе образца в момент приложения нагрузки.

Для устранения нежелательного эффекта в последующих экспериментах нагружение стали осуществлять через переходные пальцы диа-

метром 20 мм. Оптическая схема экспериментальной установки обеспечивала освещение поверхности фотопластинки по нормали плоской волной [3]. Регистрирующая фотокамера располагалась вблизи оптической оси установки, что позволило регистрировать перемещения W точек исследуемой поверхности.

2. Результаты испытаний при упругом и упругопластическом деформировании материала в зоне концентратора.

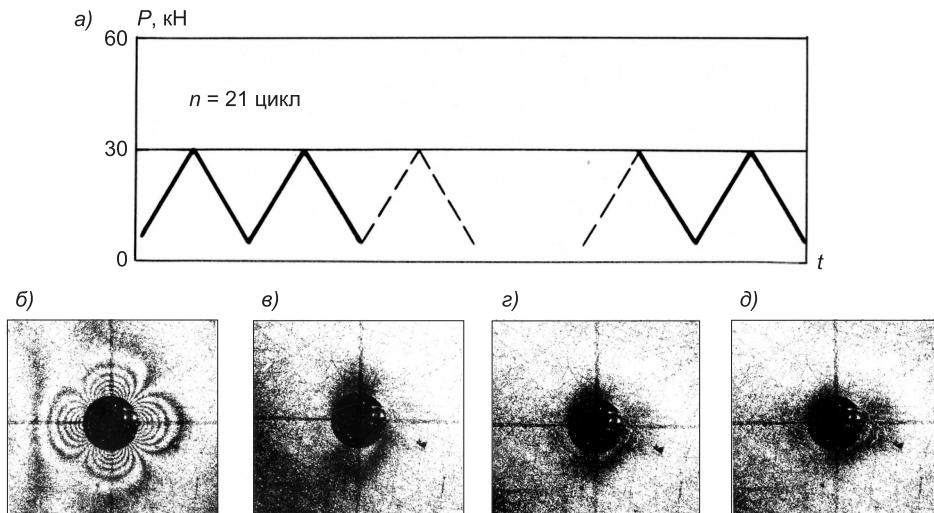


Рис. 3. Результаты испытаний 1-го образца

a — режим нагружения; *б* — разгрузка 30–2 кН; *в* — начальная картина полос; *г* — 5-й цикл; *д* — 20-й цикл

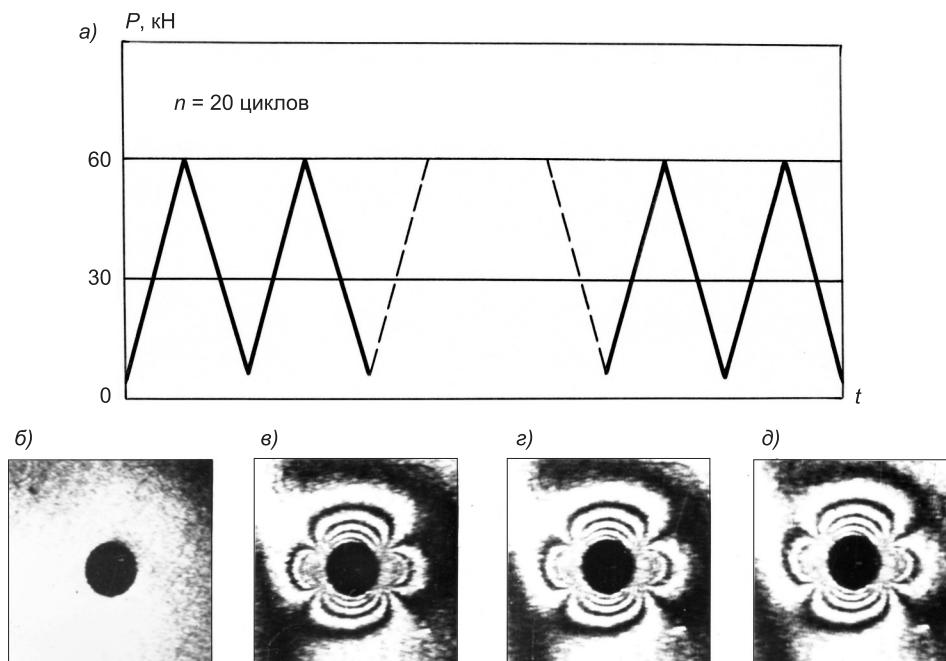


Рис. 4. Результаты испытаний 2-го образца

a — режим нагружения; *б* — начальная картина полос; *в* — 1-й цикл; *г* — 6-й цикл; *д* — 19-й цикл

1-й образец. Нагрузка изменялась во времени согласно рис. 3, а. Максимальное значение $P_{\max} = 30$ кН обеспечило упругое деформирование материала по всему полю образца. Уровень P_0 был выбран равным P_{\max} . При этом исследователю легче определить момент начала накопления деформаций по возникновению первой интерференционной полосы. На рис. 3, б приведена фотография, характеризующая упругую разгрузку образца. Картина полос представляет собой изолинии W с шагом:

$$W = \frac{\lambda}{2n} \approx 0,226 \text{ мкм.} \quad (1)$$

Последующие фотографии на рис. 3, в–д, сделанные при $P = 30$ кН после различного числа циклов нагружения, свидетельствуют об отсутствии накопления деформаций.

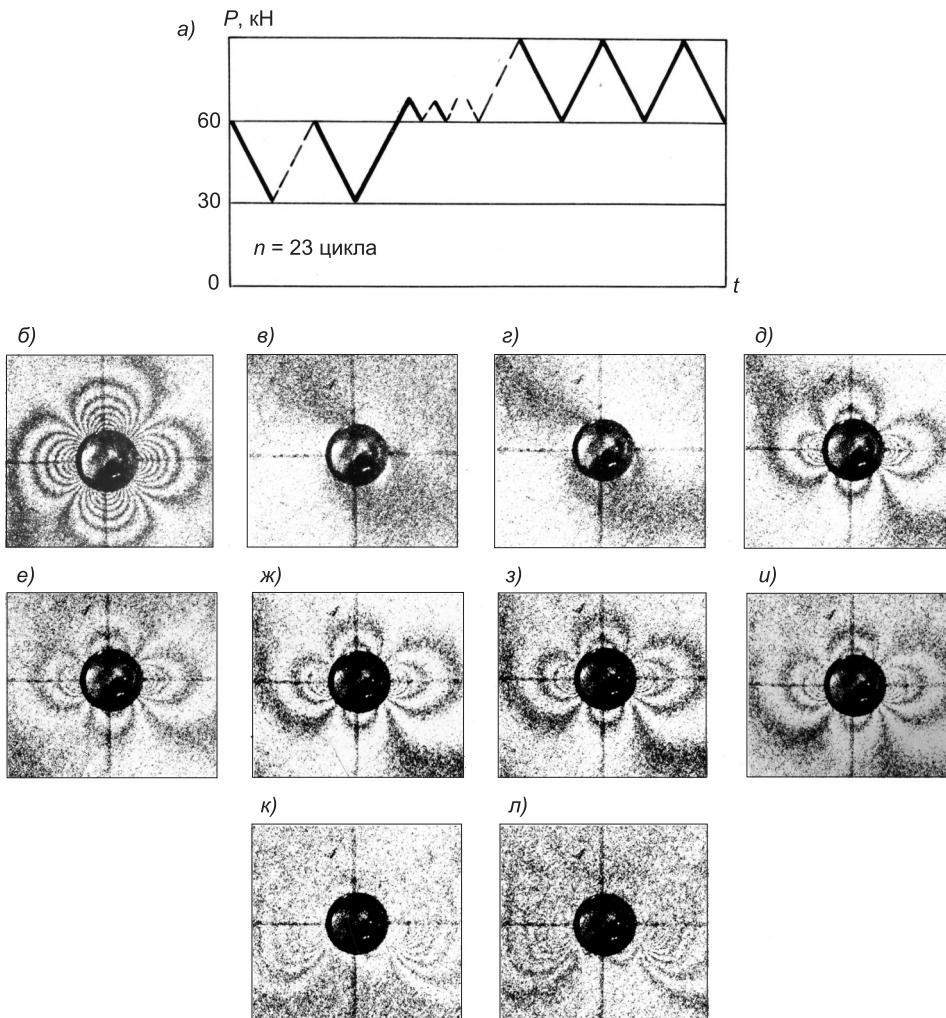


Рис. 5. Результаты испытаний 3-го образца

а — режим нагружения; б — разгрузка 60–30 кН; в — начальная картина полос; г — 3-й цикл; д — 4-й цикл; е — 7-й цикл; ж — 14-й цикл; з — 18-й цикл; и — 19-й цикл; к — 20-й цикл; л — 21-й цикл

2-й образец. Характер приложенной нагрузки представлен на рис. 4, а. С целью устранения люфтов в элементах испытательной машины первая экспозиция была сделана при нагрузке $P_0 = 4$ кН. На рис. 4, б приведена фотография начальной картины полос вблизи концентратора. На последующих фотографиях, сделанных при $P = 4$ кН после различного количества циклов, видно отсутствие накопления деформаций. Визуальный контроль за положением интерференционных полос затруднителен, поэтому целесообразно нанести координатную сетку на поверхность образца.

3-й образец. Характер изменения внешней нагрузки, показанный на рис. 5, а, призван имитировать сложные нагрузки, подобные рассмотренным на рис. 2, в. Первая экспозиция сделана при $P_0 = 60$ кН. Упругая разгрузка до 30 кН вызвала появление интерференционной картины (рис. 5, б), подобной картине на рис. 3, б. В обоих случаях изменения нагрузки близки между собой (30 и 28 кН соответственно). После трех циклов при $P_0 = P_{\max} = 60$ кН, не приведших к изменению уровня деформаций, нагрузка P_{\max} была увеличена до 68 кН, что вызвало дополнительные пластические деформации и, как следствие, возникновение картины интерференционных полос. Шаг полос по-прежнему равен 0,226 мкм. После 19 циклов P_{\max} довели до 90 кН. Картина полос стала малоконтрастной и высокочастотной. По фотографии на рис. 5, к можно лишь определить приращение пластически деформированной зоны по отношению к той же зоне, что была при $P = 60$ кН. Последующие три цикла 90–60 кН не дали приращения компонент деформаций.

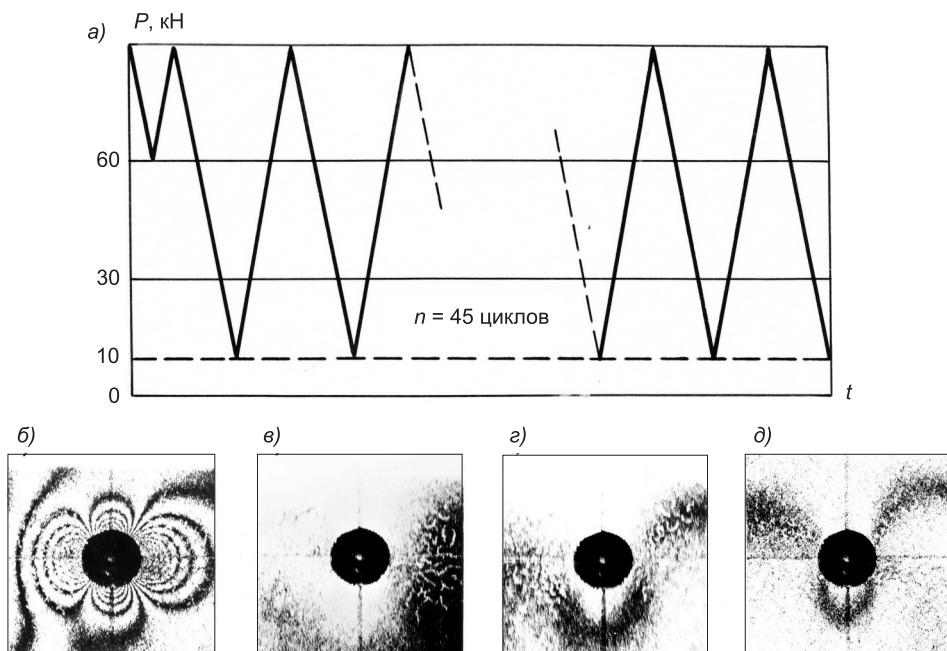


Рис. 6. Результаты испытаний 4-го образца

а — режим нагружения; б — разгрузка 90–60 кН; в — начальная картина полос; г — 5-й цикл;
д — 45-й цикл

4-й образец. С целью выяснения влияния уровня P_0 на процесс накопления деформаций первая экспозиция была осуществлена при $P_0 = 90$ кН. Изменение нагрузки происходило в соответствии с рис. 6, а. Общее число циклов равнялось 45. Накопления деформаций обнаружено не было. Для сравнения характера процессов упругой разгрузки на рис. 6, б приведена соответствующая фотография. Изменение нагрузки составило $90 - 60 = 30$ (кН). Если между фотографиями 3, б и 5, б наблюдается соответствие, что можно объяснить постоянством модуля упругости материала изделия после пластического деформирования, то рис. 6, б несколько отличается от названных выше. По-видимому, при таком уровне нагрузки модуль упругости при разгрузке отличается от модуля упругости в исходном состоянии и проявляется влияние неоднородных остаточных напряжений.

По результатам исследований отметим:

- применение накладных голографических интерферометров для изучения изменения компонент деформаций при нестационарном нагружении, измеряемых при одной величине нагрузки, целесообразно с использованием записи информации в реальном времени;
- показана практическая возможность применения накладных интерферометров для изучения накопления деформаций при различных уровнях деформаций в зоне концентратора: упругом, упругопластическом, пластическом;
- экспериментально установлено отсутствие накопления деформаций в пластине с отверстием, изготовленной из сплава Д16Т, при номинальных растягивающих напряжениях: 85,6 МПа; 171,2 МПа; 256,8 МПа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жилкин, В.А. О возможности изучения деформированного состояния изделий с помощью накладного голографического интерферометра [Текст] / В.А. Жилкин, С.И. Герасимов // Журн. техн. физики. — 1982. — Т. 52, № 10. — С. 2079–2085.
2. Герасимов, С.И. Исследование циклической стабильности прозрачного эластомера методом голографической интерферометрии [Текст] / С.И. Герасимов // Изв. вузов. Строительство. — 2006. — № 6. — С. 101–104.
3. Герасимов, С.И. Исследование плоских упругопластических задач методом голографической интерферометрии [Текст] / С.И. Герасимов, В.А. Жилкин // Журн. приклад. механики и техн. физики. — 1988. — № 2. — С. 107–115.

*ГЕРАСИМОВ Сергей Иванович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: 912267@gmail.com
Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск
ЖИЛКИН Виталий Афанасьевич, д-р техн. наук, проф.
Челябинская государственная агротехническая академия
ОСТРОМЕНСКИЙ Петр Иванович, д-р техн. наук, проф.
Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск*

Получено 24.10.13

Gerasimov Sergey Ivanovich, doctor of technical sciences, professor; E-mail: 912267@gmail.com, Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

Zhilkin Vitaliy Afanasyevich, doctor of technical sciences, professor, Chelyabinsk State Agroengineering Academy, Russia

Ostromensky Petr Ivanovich, doctor of technical sciences, professor, Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

STUDY OF DEFORMATION ACCUMULATION RELOADING PROBLEM BY A SUPERPOSED HOLOGRAPHIC INTERFEROMETER

Interference-optical method for analysis of the surface displacements is proposed. The proposed approach is shown to be effective in determining the surface deformation accumulation reloading.

Key words: displacements, strains, interference-optical method.

REFERENCES

1. Zhilkin, V.A. Study of deformed samples using an interferometer attached to the sample [Text] / V.A. Zhilkin, S.I. Gerasimov // Sov. Phys. Tech. Phys. — 1982. — Vol. 27, N 10. — P. 1270–1279.
 2. Gerasimov, S.I. Investigation of cyclic stability transparent elastomer by the holographic interferometry [Text] / S.I. Gerasimov // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2006. — N 6. — P. 101–104.
 3. Gerasimov, S.I. Investigation of plane elastic-plastic problems by the holographic interferometry method [Text] / S.I. Gerasimov, V.A. Zhilkin // J. Appl. Mech. Tech. Phys. (USA). — 1988. — Vol. 29, N 2. — P. 260–268.
-

УДК 624.156

В.М. МИТАСОВ, М.А. ЛОГУНОВА, А.П. КРИВОРОТОВ

ФУНДАМЕНТНЫЕ ПЛАТФОРМЫ АРОЧНОГО ТИПА

Численные и физические исследования применения арочных конструкций в фундаментостроении показали их высокую эффективность для использования на слабых грунтах с неравномерными осадками. Материалоемкость таких фундаментов на 10–35 % ниже по сравнению с плитными.

Ключевые слова: арочные фундаменты, фундаментные платформы, численное моделирование, физический эксперимент.

Фундаментостроение является одним из наиболее материалоемких видов строительства — «нулевой цикл» составляет 10–30 % стоимости здания и 10–15 % трудоемкости. Поэтому важную роль приобретает внедрение новых эффективных фундаментов и способов их возведения, позволяющих снизить стоимость работ нулевого цикла.

По оценкам ведущих ученых и специалистов Международного общества механики грунтов и фундаментостроения в настоящее время зачастую при возведении нулевого цикла зданий и сооружений происходит существенный (до 20–50 %) перерасход материальных ресурсов (бетона, железобетона, металла и др.), который ежегодно составляет миллионы тонн. Перспективным и экономичным решением является применение пространственных фундаментных платформ, которые имеют повышенную жесткость при малом весе, оказывают небольшое давление на основание благодаря пространственному перераспределению нагрузки, обладают малой чувствительностью к неравномерным осадкам и просадкам основания.

В данной статье предлагается новое эффективное решение в виде пространственной фундаментной платформы арочного типа [1]. Пространственная конструкция предотвращает возможные неблагоприятные последствия неравномерных осадок.

Основные достоинства фундамента арочного типа:

возможность создания платформы, отличающейся меньшим расходом материалов по сравнению с ребристыми, плоскими и коробчатыми плитами и обладающей большей пространственной жесткостью;

небольшая глубина заложения (фундамент мелкого заложения) — уменьшение объема земляных работ;

возможность применения в особых грунтовых условиях — просадочные, пучинистые, вечномерзлые, засоленные, набухающие, насыпные и другие грунты.

Выполнен численный эксперимент — в среде SCAD создана модель железобетонного монолитного плитного фундамента и железобетонной платформы арочного типа и произведено их сравнение. Также была сделана модель, отражающая физический эксперимент.

© Митасов В.М., Логунова М.А., Криворотов А.П., 2013

Цель численного эксперимента — установить эффективность использования железобетонной платформы арочного типа. На этом этапе решались следующие задачи:

конечно-элементное моделирование в проектно-вычислительном комплексе SCAD каркасного железобетонного 10-этажного здания с двумя конструктивными решениями фундаментов: железобетонный плитный фундамент и железобетонная фундаментная платформа арочного типа;

сравнение двух вариантов фундаментов при переменном коэффициенте постели;

моделирование физического эксперимента.

В качестве численных моделей были рассмотрены две схемы:

1-я схема — 10-этажное каркасное железобетонное здание с фундаментом в виде железобетонной фундаментной плиты (25 567 элементов, 22 711 узлов);

2-я схема — 10-этажное каркасное железобетонное здание с фундаментом в виде фундаментной железобетонной платформы арочного типа (32 506 элементов, 29 470 узлов);

3-я схема — два соприкасающихся опорных крестообразных элемента с г-образными колоннами (численная модель физического эксперимента, 1885 элементов, 2144 узла).

Элементы фундаментов данных численных моделей выполнены из следующих конечных элементов (КЭ):

пластинчатый КЭ № 44 — с помощью этого элемента моделировалась плитная часть фундамента;

объемные КЭ № 34 и 36 — для моделирования массива фундамента;

КЭ № 5 — пространственный стержень — с помощью этого элемента моделируется напрягаемая арматура.

С помощью первых двух схем производилось сравнению двух вариантов фундамента под одно и то же здание. Прочностные и деформационные характеристики данных КЭ численной модели задавались как для бетона класса В20. Основанием моделей являются нижние узлы, в которых установлены связи, обеспечивающие неподвижность нижней части в горизонтальном направлении.

Третья схема необходима для сопоставления с результатами испытания физической модели. Геометрические размеры опорных крестообразных элементов задавались такими же, как и размеры физической модели. Прочностные и деформационные характеристики данных КЭ численной модели задавались как для бетона класса В15. Продольная жесткость элементов, моделирующих предварительно напряженные трассы, принята равной 120 кН, а преднапряжение — 1 кН. Коэффициент постели C_1 для данной модели принят 500 кН/м³.

Нагружение численной модели осуществлялось такими же этапами, что и нагружение физической модели. Основное отличие — невозможность учета в проектно-вычислительном комплексе SCAD реологических свойств железобетона, по причине которых при испытании физической модели проявились неупругие деформации.

Каркас моделируемого здания включает в себя: железобетонные колонны сечением 40×40 см; перекрытия монолитные железобетонные

толщиной 0,2 м; диафрагмы жесткости — железобетонные толщиной 0,2 м.

В первом варианте в качестве фундамента была принята фундаментная плита толщиной 1,4 м. Такая толщина плиты выбрана с целью повышения изгибной жесткости фундамента и снижения расхода арматурной стали. Во втором варианте — железобетонная фундаментная платформа (рис. 1) с размерами: общая высота — 1,6 м; высота плитной части фундамента — 0,2 м; ширина и длина нижнего обреза элемента — 6 м; ширина и длина верхнего обреза элемента (подколонник) — 1,2 м. Коэффициенты постели упругого основания в первом варианте — $C_1 = 1500 \text{ кН/м}^3$; во втором варианте — $C_1 = 4150 \text{ кН/м}^3$.

Результаты расчетов перемещений точек подошвы фундаментов при коэффициенте постели $C_1 = 4150 \text{ кН/м}^3$ приведены на рис. 2.

Выводы по расчету.

При $C_1 = 4150 \text{ кН/м}^3$ максимальная (локальная) осадка при использовании арочных фундаментов уменьшается по сравнению с плитным фундаментом на 30 %. Отпор грунта под фундаментом арочного типа распределяется более равномерно, чем под фундаментной плитой. У фундаментной плиты максимальное значение отпора грунта на 19 % больше, чем у фундамента арочного типа.

При $C_1 = 1500 \text{ кН/м}^3$ максимальная (локальная) осадка арочного фундамента по сравнению с плитным уменьшилась на 34 %. Таким обра-

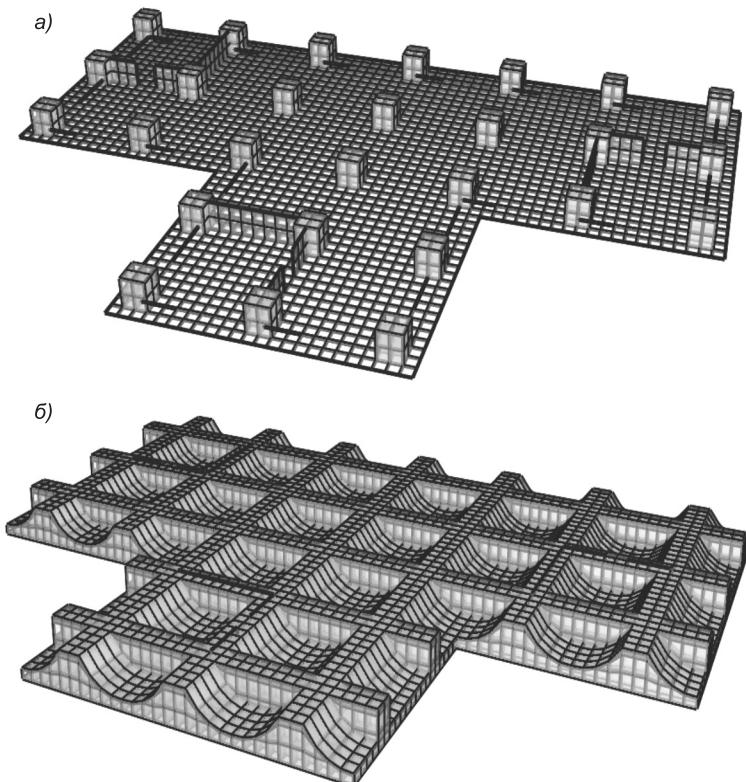


Рис. 1. Вид модели железобетонной фундаментной плиты (а) и железобетонной фундаментной платформы арочного типа (б)

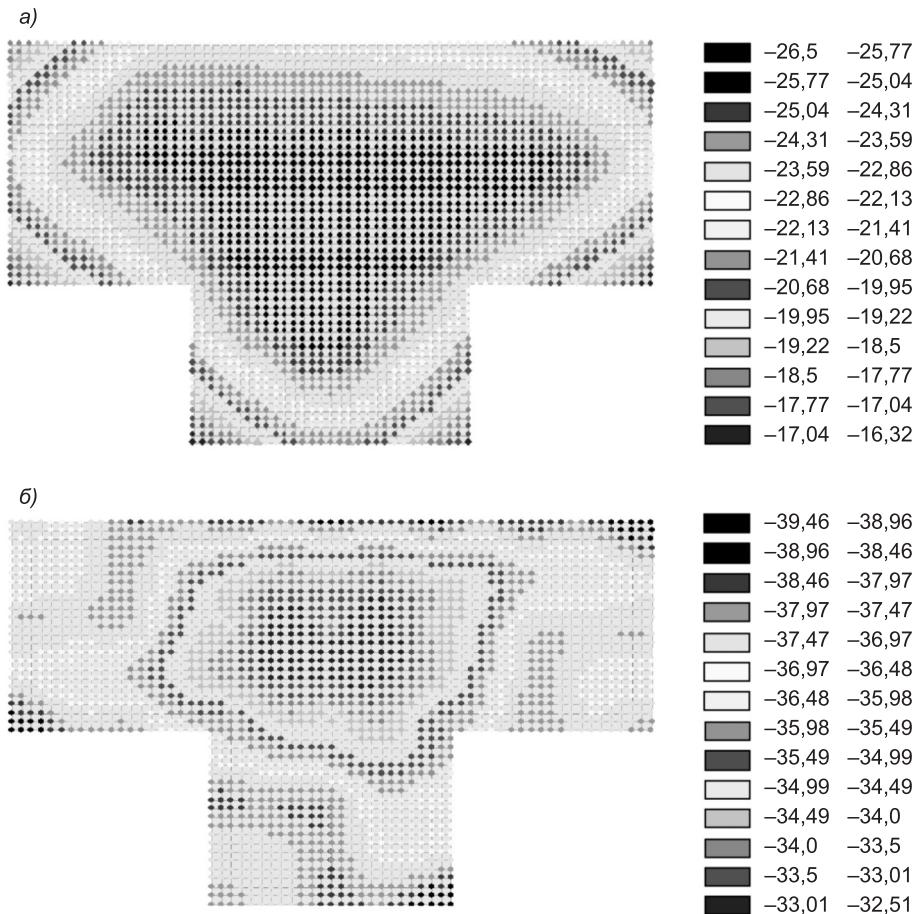


Рис. 2. Перемещения по оси z , мм
а — арочный фундамент, б — железобетонная монолитная фундаментная плита

зом, чем слабее грунтовое основание, тем применение фундаментов арочного типа становится более эффективным.

Для определения напряженно-деформированного состояния сопряжения арочных фундаментов и колонн выполнен модельный эксперимент в численном и физическом исполнении. Модель представляет собой раму, состоящую из двух опорных крестообразных элементов и г-образных колонн с устройством предварительного напряжения в двух направлениях. Расчетная схема представлена на рис. 3.

Расчетная модель выполнена из объемных и пластинчатых элементов. Модуль упругости бетона принят как для класса В15 — $23,5 \cdot 10^6$ кН/м². Напрягаемая арматура моделировалась пространственными стержнями. Нагружение на колонны произ-

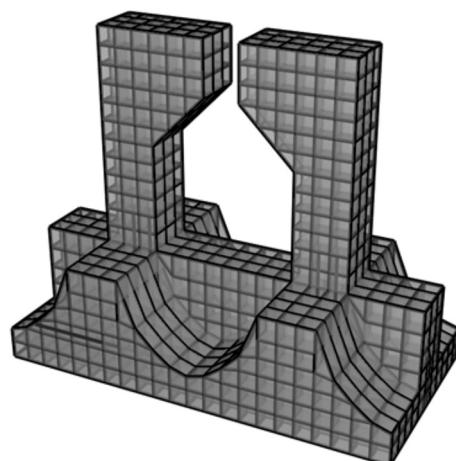


Рис. 3. Расчетная схема численного эксперимента

водилось семью ступенями с интервалом в 1 кН и эксцентрикитетом 7 см. Схема испытания физической модели показана на рис. 4.

В процессе проведения эксперимента измерялись деформации на стыке двух фундаментов и на стыке фундаментов с колоннами. Модель

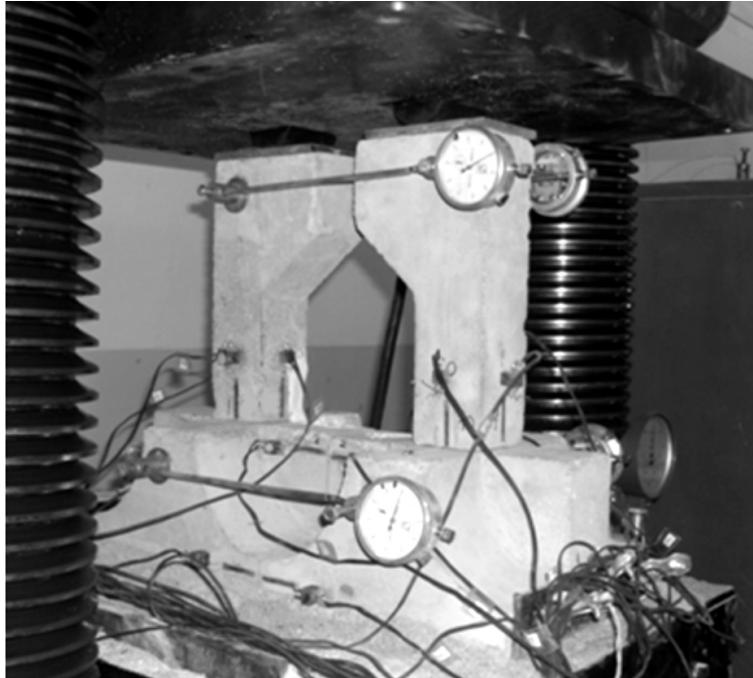


Рис. 4. Схема испытания

нагружалась ступенями по 10 кН. Каждая ступень выдерживалась 10 мин. Всего осуществлялось 7 ступеней нагружения.

Деформации, полученные с помощью тензорезисторов, сравнивались с деформациями при нагружении численной модели рамы. Сравнение результатов физического и численного моделирования показывает, что деформативность стыков при численном моделировании несколько ниже за счет того, что программный комплекс SCAD производит линейный расчет упругих моделей, а физическая модель линейной не является.

Выводы. 1. Следует ожидать, что железобетонная пространственная фундаментная платформа будет обладать более равномерной распределительной способностью передачи нагрузки на основание по сравнению со сплошной фундаментной плитой.

2. Сравнительные расчеты показали, что существует возможность эффективного использования арочных фундаментных платформ на слабых грунтах.

3. Основные достоинства арочного фундамента — возможность создания платформы, отличающейся меньшим расходом материалов (расход бетона можно уменьшить от 10 до 35 %, расход арматуры — от 15 до 40 %) и, вероятно, обладающей большей пространственной жесткостью.

4. Результаты численного эксперимента удовлетворительно совпадают с результатами физических испытаний.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. 83520 Россия, МПК E02D27/00, E02D27/34, E02D27/35. Пространственная фундаментная платформа [Текст] / Митасов В.М., Пантелейев Н.Н., Михайлова Н.С. — № 2008142905/22; заявл. 29.10.2008; опубл. 10.06.2009, Бюл. № 16.

МИТАСОВ Валерий Михайлович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: mitassovv@mail.ru
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

ЛОГУНОВА Мария Александровна, канд. техн. наук, доц.; E-mail: m-nblack@yandex.ru
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

КРИВОРОТОВ Александр Петрович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: 170-171@mail.ru

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено 25.10.13

Mitasov Valery Mikhailovich, doctor of technical sciences, professor; E-mail: mitassovv@mail.ru, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Logunova Mariya Alexandrovna, candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: m-nblack@yandex.ru, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Krivorotov Aleksandr Petrovich, doctor of technical sciences, professor; E-mail: 170-171@mail.ru, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

ARCH TYPE FOUNDATION PLATFORMS

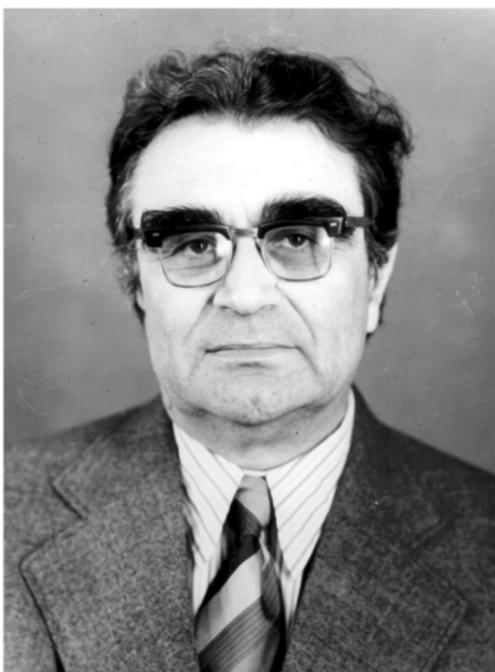
Numerical and physical studies of arch type foundation using have shown their high efficiency for application on soft soils with irregular upsetting. Such foundations have consumption of materials 10–35 % lower than slab foundations.

Key words: arched foundations, foundation platform, numerical modeling, physical experiment.

REFERENCES

-
1. Patent RF N 83520, MPK E02D27/00, E02D27/34, E02D27/35. Arch type foundation platform [Text] / Mitasov V.M., Panteleyev N.N., Mikhailova N.S. — N 2008142905/22; appl. 29.10.2008; publ. 10.06.2009; Bull. N 16.

НАШИ ЮБИЛЯРЫ



КРУПНЫЙ УЧЕНЫЙ И ПЕДАГОГ (к 90-летию со дня рождения Петра Андреевича Дмитриева)

Петр Андреевич Дмитриев родился 6 декабря 1923 г. в г. Семипалатинске, в 1935 г. переехал в г. Новосибирск, где в 1941 г. окончил среднюю школу, а затем обучался в НИСИ им. В.В. Куйбышева. После окончания в 1947 г. института с отличием Петр Андреевич навсегда связал свою судьбу с этим вузом. В 1954 г. он успешно защитил кандидатскую диссертацию, а в 1975 г. стал доктором технических наук.

В НИСИ П.А. Дмитриев в течение ряда лет возглавлял кафедру металлических и деревянных конструкций и затем — созданную по его инициативе кафедру конструкций из дерева и пластмасс, которая под его руководством превратилась в одну из самых сильных по своему научному потенциалу среди аналогичных кафедр. Результатом активной научной, организационной и педагогической деятельности профессора П.А. Дмитриева стало формирование признанной в нашей стране и за рубежом научной школы, внесшей видный вклад в решение проблем совершенствования конструктивной формы, теории расчета и оптимизации новых видов комплексных конструкций на основе древесины.

Петр Андреевич — автор более 300 научных трудов в области строительных конструкций из дерева и пластмасс, 6 монографий, им получено более 50 авторских свидетельств и патентов на изобретения. Под его руководством защитили кандидатские диссертации 17 аспирантов, подготовлены и защищены 2 докторские диссертации, при его участии в каче-

стве профессора-консультанта подготовлены 10 кандидатов технических наук.

Многие годы Петр Андреевич сохраняет активные творческие связи с учеными вузов и исследовательских организаций нашей страны, работающими в области строительных конструкций и теории расчета сооружений, со специалистами-практиками. Результатами таких научных контактов явилось выполнение ряда актуальных совместных проектов в рамках различных межвузовских программ и конкурсов грантов. Научные результаты его работ и инженерные решения использованы в нормативных документах и руководствах по проектированию, в учебниках и учебных пособиях, а также применяются при разработке новых экспериментальных и типовых конструкций в ведущих научно-исследовательских и проектных организациях (ЦНИИСК, ЦНИИПромзданий, ЦНИИЭПсельстрой, СибНИИЭП и др.).

Среди работ последнего десятилетия — такие крупные, как специальный курс конструкций из дерева и пластмасс «Автодорожные и пешеходные мосты» (2002), «Атлас строительных конструкций из кленой древесины и водостойкой фанеры» (2002), монография «Большеразмерные совмещенные плиты из кленой древесины и пространственные конструкции на их основе» (2007), учебное пособие «Конструкции из дерева и пластмасс. Курс в вопросах и ответах» (2011).

Многогранна научно-педагогическая и инженерная деятельности П.А. Дмитриева — длительное время он работал членом секции «Деревянные конструкции» Научно-координационного совета Госстроя СССР; является членом ученого совета Инженерно-строительного института Сибирского федерального университета, советов по защите кандидатских и докторских диссертаций при Новосибирском ГАСУ (Сибстрин) и Сибирском федеральном университете (г. Красноярск). Много лет Петр Андреевич плодотворно работает как член редколлегии журнала «Известия вузов. Строительство» — эта его деятельность отмечена почетной грамотой Минвуза РФ.

П.А. Дмитриев награжден орденом «Знак Почета», медалями «За доблестный труд», «Ветеран труда» и другими, почетным знаком Минвуза СССР «За отличные успехи в работе».

Высокий профессионализм и замечательные личные качества — интеллигентность, эрудированность, доброжелательность и внимательность к людям, в сочетании с принципиальностью и твердостью в отстаивании истины вызывают глубокое уважение у коллег Петра Андреевича.

И сейчас Петр Андреевич полон жизненной энергии, продолжает изобретать и делиться своими идеями.

Коллеги, ученики, научно-педагогическая общественность поздравляют Петра Андреевича со славным юбилеем и желают ему здоровья и новых творческих свершений.

Редакция журнала присоединяется к поздравлениям юбиляру.

УКАЗАТЕЛЬ

статьей, опубликованных в 2013 г. (с № 1 по № 12)

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

- Актуганов А.Н., Актуганов А.А., Актуганов О.А., Котлов В.Г., Кузнецов И.Л.** Работа тонкостенной металлодеревянной двутавровой балки с ортогональными ребрами жесткости в виде гофр различного сечения № 11–12
- Барков М.С., Инжутов И.С., Дмитриев П.А., Деордиев С.В., Рожков А.Ф.** Исследования напряженно-деформированного состояния древесины в узлах ферм при различных технических решениях упорных элементов с переменной изгибной жесткостью № 8
- Герасимов С.И., Жилкин В.А., Остроменский П.И.** Изучение процесса накопления деформаций при повторном нагружении с использованием накладного голографического интерферометра № 11–12
- Гребенюк Г.И., Дмитриев П.А., Жаданов В.И., Асташенков Г.Г.** Конструирование, расчет и оптимизация совмещенных ребристых конструкций на основе древесины № 11–12
- Деордиев С.В., Абовский Н.П., Енджиевский Л.В., Инжутов И.С., Палагушкин В.И.** Формообразование строительных конструкций. Общие и частные принципы № 11–12
- Зиновьев В.Б., Русов Б.П., Шведов В.Н.** Опыт применения интерферометрии во встречных пучках при исследовании элементов строительных конструкций из древесины № 11–12
- Копаница Д.Г., Капарулин С.Л., Лоскутова Д.В.** Оценка деформированного состояния деревянных конструкций по результатам измерений динамических параметров № 11–12
- Лабудин Б.В.** Расчет пространственных конструкций с учетом деформативности податливых связей (развитие идей П.А. Дмитриева, В.М. Коченова, В.А. Лебедева, Г.В. Никитина и др.) № 11–12
- Локтев Д.А., Инжутов И.С., Рожков А.Ф.** Формообразование и конструирование деревянных сетчатых сводов с ортогональной сеткой для покрытий зданий и сооружений № 11–12
- Митасов В.М., Логунова М.А., Криворотов А.П.** Фундаментные платформы арочного типа № 11–12
- Митасов В.М., Логунова М.А., Шатохина М.В.** Железобетонные балки с организованными трещинами под воздействием длительной нагрузки № 10
- Михайленко О.А., Дмитриев П.А.** Напряженно-деформированное состояние древесины под шайбой, установленной на торце стержня прямоугольного сечения, при ударе вдоль волокон № 11–12
- Пятикрестовский К.П., Хунагов Х.С.** Нелинейные деформации статически неопределеных деревянных конструкций № 11–12
- Стоянов В.В., Окунь И.В.** Усиление балочных конструкций методом послойного армирования № 11–12
- Федосов С.В., Котлов В.Г., Актуганов А.А.** Индустримальные деревянные конструкции на металлических зубчатых пластинах № 11–12

Шафрай К.А., Шафрай С.Д. Особенности работы фланцевых соединений строительных конструкций. Контактные напряжения и рычажные силы № 11–12

ТЕОРИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

- Адищев В.В., Шмаков Д.С., Шмаков Е.С.** Расчет осадки здания на естественном основании в неформализованной постановке № 5
- Вохмянин И.Т., Немировский Ю.В.** Динамика жесткопластического многоэтажного здания № 1
- Вохмянин И.Т., Немировский Ю.В.** Проектирование равнопрочных упругих круглых и кольцевых пластинок в условиях термосилового нагружения № 2–3
- Гребенюк Г.И., Гаврилов А.А., Яньков Е.В.** Расчет и оптимизация неразрезной балки тонкостенного профиля № 7
- Дукарт А.В., Олейник А.И.** О влиянии нелинейности параметров подстроичного звена двухмассового динамического гасителя на его эффективность при гармоническом воздействии с нестабильной частотой № 8
- Крылова Е.Ю., Жигалов М.В., Папкова И.В., Крысько В.А.** Математическое моделирование и прогнозирование характера нелинейных колебаний гибких балок № 1
- Мищенко А.В.** Особенности упругопластического деформирования однородных и слоистых рационально профилированных балок при запроектных воздействиях. Собщение 1 № 7
- Мищенко А.В.** Особенности упругопластического деформирования однородных и слоистых рационально профилированных балок при запроектных воздействиях. Собщение 2 № 9
- Мищенко А.В., Немировский Ю.В.** Нелинейное деформирование бетонных элементов при продольно-поперечном изгибе № 4
- Овчинников И.И., Мигунов В.Н.** Напряженно-деформированное состояние и долговечность железобетонной пластины при одновременном действии нагрузки и хлоридной агрессии № 6
- Потапов А.Н., Уфимцев Е.М.** Динамика конструкций с выключающимися связями при запроектных воздействиях № 1
- Серпик И.Н., Алексейцев А.В.** Проверка геометрической неизменяемости конструкций на основе ослабления связей № 8
- Шляхин Д.А.** Вынужденные осесимметричные колебания тонкой круглой пластины ступенчато переменной толщины и жесткости № 4

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

- Абдрахимов В.З., Колпаков А.В.** Инновационные направления использования кальцийсодержащего нанотехногенного сырья: осадок-отхода сточных вод, отхода пыли-уноса асфальтобетонных заводов, шлама от водоочистки воды и гальванического шлама в производстве кирпича № 8
- Абдрахимов В.З., Колпаков А.В.** Экологические, теоретические и практические аспекты использования кальцийсодержащих отходов в производстве керамических материалов № 7
- Безбородов В.А., Кудоманов М.В.** Использование отходов промышленности для производства сухих строительных смесей № 1
- Бочкарева О.С., Зимакова Г.А.** Влияние конфигурации дисперсно-армирующего компонента на механические свойства сталефибробетона № 4
- Бузулуков В.И., Черкасов В.Д., Емельянов А.И., Сыркина Н.П., Гарцева С.О.** Белковый пенообразователь для пенобетонов № 7

Указатель

- Гарькина И.А., Данилов А.М.** Опыт разработки композиционных материалов: некоторые аспекты математического моделирования № 8
- Горгодзе Г.А., Зимакова Г.А., Кудоманов М.В., Княжев В.В.** Модификация керамических структур углеродсодержащими материалами № 2-3
- Завадская Л.В., Бердов Г.И., Агалакова Я.С., Шишмакова Е.А.** Влияние дисперсных минеральных добавок на структуру и прочность гипсового камня № 10
- Завадская Л.В., Бердов Г.И., Агалакова Я.С., Шишмакова Е.А.** Изменение свойств гипсового камня при введении дисперсных техногенных добавок № 9
- Завадская Л.В., Бердов Г.И., Агалакова Я.С., Шишмакова Е.А.** Упрочнение гипсового камня с введением дисперсных минеральных добавок № 8
- Игнатова О.А., Пименов А.Т., Фоменко В.В.** Повышение качества систем, образованных основанием и покрывающим слоем № 4
- Ионов Д.С.** Взаимодействие полиэтиленгликоля с продуктами гидратации цемента и его влияние на свойства бетона № 9
- Каклюгин А.В., Трищенко И.В., Козлов А.В., Мирская М.В.** Мелкозернистый керамзитобетон на основе безобжигового ангидритового вяжущего № 6
- Кара-сал Б.К., Куулар Л.Э., Серен Ш.В.** Формирование структуры керамического стенового материала на основе полевошпатоцеолитовой породы № 2-3
- Киселёв В.П., Шевченко В.А., Бугаенко М.Б., Иванова Л.А., Ворончин В.Д.** Использование смолы пиролиза, антиоксидантов и дивинилакрилонитрильного каучука для модификации свойств битума и асфальтобетонных смесей № 5
- Колпаков А.В., Абдрахимов В.З.** К вопросу о фазовом составе керамических материалов на основе межсланцевой глины, отходов горючих сланцев и углеобогащения № 6
- Комиссаренко Б.С., Абдрахимов В.З., Ковков И.В., Колпаков А.В.** Исследование прочностных и деформативных характеристик керамзитовых гранул в бетоне № 4
- Лесовик В.С., Савин А.В., Алфимова Н.И.** Степень гидратации композиционных вяжущих как фактор коррозии арматуры в бетоне № 1
- Логанина В.И., Арискин М.А., Акжигитова Э.Р., Петухова Н.А.** Оценка трещиностойкости отделочного штукатурного слоя на основе сухих строительных смесей № 1
- Логанина В.И., Кислицына С.Н., Жегера К.В.** Применение синтезированных алюмосиликатов в составе плиточного клея на основе цемента № 10
- Логанина В.И., Кислицына С.Н., Макарова Л.В., Садовникова М.А.** Реологические свойства композиционного известкового вяжущего с применением синтетических цеолитов № 4
- Машкин Н.А., Косач А.Ф., Обадьянов А.В.** Эффективность раздельной кавитационной активации песка при производстве мелкозернистых бетонов № 5
- Машкин Н.А., Елесин М.А., Низамутдинов А.Р., Ботвиньева И.П.** Гидрохимическое модифицирование бетонных смесей затворением в известково-серном отваре № 6
- Машкин Н.А., Крутасов Б.В., Бернацкий А.Ф., Крутасова И.Б., Ларичкин В.В.** Применение кремнийорганических модификаторов для защиты памятников деревянного зодчества № 10
- Никонов А.С., Панов Ю.Т.** Эксплуатационные свойства теплоизоляционного материала на основе отходов стекольной промышленности № 7
- Овчаренко Г.И., Гильмияров Д.И.** Взаимосвязь прочности и фазового состава автоклавного известково-зольного камня. Часть I № 10
- Овчаренко Г.И., Гильмияров Д.И.** Фазовый состав автоклавных известково-зольных материалов № 9

- Селяев В.П., Неверов В.А., Куприяшкина Л.И.** Фрактальность наноразмерной структуры природных диатомитов № 5
- Селяев В.П., Седова А.А., Куприяшкина Л.И., Осипов А.К.** Комплексное изучение процессов повреждения цементного камня растворами карбоновых кислот № 8
- Столбоушкин А.Ю., Столбоушкина О.А., Иванов А.И., Сыромясов В.А., Пляс М.Л.** Стеновые керамические материалы матричной структуры на основе отходов обогащения углистых аргиллитов № 2–3
- Сулейманова Л.А., Хархардин А.Н.** Распределение частиц композиционного вяжущего в ячеисто-бетонной смеси № 2–3
- Углиница А.В., Хмеленко Т.В., Солонин К.Д.** Структурообразование твердеющих закладочных смесей на основе доменных граншлаков № 1
- Фомина Е.В., Строкова В.В., Кудеярова Н.П.** Особенности применения предварительно гашеной извести в ячеистых бетонах автоклавного твердения № 5
- Хархардин А.Н., Сулейманова Л.А.** Реверс водоотделения ячеистобетонных смесей № 1
- Шахов С.А., Рудая Т.Л., Кожемяченко А.С.** Изучение возможности применения осадка водоочистки при производстве строительной керамики № 1
- Юхневский П.И.** Влияние химических добавок-пластификаторов на структуру и свойства гидросиликатного геля № 4

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

- Авдеев Ю.В., Кононов А.Д., Кононов А.А.** К вопросу оперативного измерения объема грунта, разрабатываемого отвалом землеройно-транспортной машины № 2–3
- Авдеев Ю.В., Кононов А.Д., Кононов А.А., Варданян Н.А., Аникин В.Н.** Экспериментальное исследование радиоволнового канала системы дистанционного управления землеройно-транспортными машинами № 6
- Анферов В.Н., Кузнецов С.М., Васильев С.И.** Имитационная модель оценки организационно-технологической надежности работы стреловых кранов № 1
- Анферов В.Н., Недавний О.И., Базилевич С.В., Кузнецов С.М.** Повышение организационно-технологической надежности проектирования строительных объектов № 8
- Анферов В.Н., Недавний О.И., Кузнецов С.М., Кандаурова Н.М.** Оценка организационно-технологической надежности работы бульдозеров № 4
- Болотин С.А., Дадар А.Х., Оолакай З.Х., Чебокчинова Г.С.** Методика детализации «новых» норм продолжительности строительства на основе статистики СНиП 1.04.03–85 № 5
- Волков С.В., Волкова Л.В., Шведов В.Н.** Особенности проектирования организационно-технологических схем строительства жилых зданий № 2–3
- Волков С.В., Волкова Л.В., Шведов В.Н.** Технико-экономические показатели оценки качества организационно-технологических решений строительства жилых объектов № 9
- Герасимов В.В., Коробова О.А., Левченко А.В., Бабакова А.В.** Онтологический подход в инжиниринге организационной безопасности строительного производства № 7
- Гныря А.И., Титов М.М., Кузнецов С.М.** Комплексная оценка надежности применения поворотного бункера для электроразогрева бетонных смесей № 6

Указатель

- Голубева Д.Н., Титов М.М.** Использование технологии отогрева мерзлого грунта при бетонировании конструкций фундаментов № 5
- Калугин Ю.Б.** Выбор рациональной организационной схемы строительства линейно-протяженного объекта № 1
- Нефедова Л.Ю.** Системы управления качеством в инвестиционно-строительных компаниях № 9
- Шацкий В.П., Титова И.В.** Технология переработки строительных отходов полимеров и анализ измельчающего оборудования № 2–3
- Щепотин Г.К.** Оценка надежности технологического процесса № 10

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

- Дегтярев-мл. В.В., Ершов Д.И.** Численное моделирование процессов, происходящих в устьевых зонах рек № 9
- Дегтярев-мл. В.В., Ершова Е.Е.** Исследование влияния положения цилиндров на дне канала с неразмываемым дном на поле скорости потока № 7
- Дегтярев-мл. В.В., Ершова Е.Е.** К вопросу о постановке граничных условий при численном моделировании открытых потоков в недеформируемом русле № 2–3
- Дегтярев-мл. В.В., Ершова Е.Е.** Численное моделирование скоростной структуры потока в области цилиндра, имитирующего трубопровод, лежащий на дне недеформируемого русла № 4
- Дзюбенко Л.Ф., Сухно А.М.** Особенности формирования фильтрационного режима хвостохранилища на мерзлом трещиноватом основании № 7

САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА

- Амбросова Г.Т., Функ А.А., Ксенофонтова О.В.** Рентабельное и экологически чистое фермерское хозяйство № 10
- Боровицкий А.А., Угорова С.В., Тарасенко В.И.** Многофакторное исследование коэффициента улавливания местного вытяжного устройства № 5
- Бройда В.А.** Расчет параметров работы теплообменника фанкойла с учетом устанавливавшегося состояния воздуха в помещении № 8
- Войтов Е.Л., Сколубович Ю.Л.** Повышение эффективности очистки речных вод с высоким содержанием органических соединений № 6
- Гальперин Е.М.** О надежности проектируемой водопроводной сети города № 4
- Кононова М.С.** Сравнительный анализ технико-экономических показателей некоторых конструкций бесканальной прокладки тепловых сетей № 6
- Костин В.И.** Учет динамики изменения внешних и внутренних теплопоступлений в помещение при расчете систем климатизации № 4
- Кочев А.Г., Федорова О.В., Соколов М.М.** Расчет воздухообменов для осушки конструкций и аэрации в культовых зданиях № 2–3
- Кульков В.Н., Солопанов Е.Ю., Сосна В.М.** Регенерация синтетической загрузки в биореакторе № 1
- Кучеренко М.Н., Чиркова Е.В.** Применение теории потенциала влажности для расчета переноса влаги через наружные ограждения № 5
- Логачев И.Н., Логачев К.И., Аверкова О.А.** Эжекция воздуха при перегрузках сыпучих материалов в вертикальных каналах с ковшами. С ообщение 1. Закономерности изменения эжекционного напора в желобах № 9
- Логачев И.Н., Логачев К.И., Аверкова О.А.** Эжекция воздуха при перегрузках сыпучих материалов в вертикальных каналах с ковшами. С ообщение 2. Эжектирующие свойства ленточного ковшового элеватора № 10

Логачев И.Н., Логачев К.И., Аверкова О.А. Эжекция воздуха ускоренным потоком частиц в перфорированном вертикальном канале с байпасной камерой. С о б щ е н и е 3. Численный эксперимент и результаты исследований	№ 1
Логачев И.Н., Логачев К.И., Аверкова О.А., Крюков И.В. Особенности рециркуляции воздуха в перегрузочном желобе с комбинированной байпасной камерой. С о б щ е н и е 1. Основные уравнения	№ 4
Логачев И.Н., Логачев К.И., Аверкова О.А., Крюков И.В. Особенности рециркуляции воздуха в перегрузочном желобе с комбинированной байпасной камерой. С о б щ е н и е 2. Решение уравнений и результаты расчета	№ 5
Малышева Е.Г., Фролова А.А. Экономическое сравнение вариантов перехода на свободное охлаждение кондиционируемых помещений	№ 4
Назиров Р.А., Белов Т.В. Особенности формирования температурных полей вблизи анкера крепления каркаса навесных вентилируемых фасадов	№ 6
Позин Г.М., Уляшева В.М., Киборт И.Д. К вопросу применения моделей турбулентности при численном моделировании вентиляционных процессов № 10	
Савельев Е.Г., Рохлецова Т.Л. Использование солнечной энергии в суровых климатических условиях	№ 5
Самарин О.Д., Азивская С.С. Оценка расчетных теплопоступлений в помещение при автоматизации климатических систем	№ 1
Самарин О.Д., Федорченко Ю.Д., Азивская С.С. Экспериментальная проверка математической модели теплового режима помещения при автоматизации климатических систем	№ 2-3
Семенов В.Н., Сазонов Э.В., Китаев Д.Н., Тертычный О.В., Щукина Т.В. Влияние энергосберегающих технологий на развитие тепловых сетей	№ 8
Табунщиков Ю.А., Шилкин Н.В., Миллер Ю.В. Экспресс-оценка эффективности энергосберегающего оборудования, технологий и мероприятий	№ 6
Шацкий В.П., Гулевский В.А., Спирина Н.Г. Применение теплообменников (рекуператоров) для нормализации микроклимата животноводческих помещений	№ 9
Шиляев М.И., Пеняевский В.В. Влияние порядка компоновки пылеуловителей в каскадные системы на удельные энергозатраты газоочистки	№ 10
Шиляев М.И., Пеняевский В.В. Экспериментальное определение констант универсального метода расчета инерционных пылеуловителей	№ 8

СТРОИТЕЛЬСТВО АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И МОСТОВ

Носов С.В. Интенсивная технология уплотнения дорожных асфальтобетонных смесей при изменении их реологических свойств	№ 5
Носов С.В. Пути повышения эффективности уплотнения асфальтобетонных смесей и грунтов в дорожном строительстве на современном этапе	№ 6
Столбов Ю.В., Столбова С.Ю., Нагаев Д.О. Исследование точности высотного положения поверхностей конструктивных слоев дорожных одежд при разных шагах нивелирования	№ 8

СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ

Абраменков Д.Э., Абраменков Э.А. Принципиальные схемы бесклапанных пневматических ударных механизмов с воздухоподводящей управляющей трубкой и их физико-математическое описание	№ 10
Абраменков Д.Э., Абраменков Э.А., Грузин А.В., Дедов А.С., Кулик А.В., Чичканов Р.В. Пневмоударные дроссельные и дроссельно-беззольниковые механизмы с управляемым расходом воздуха камеры холостого хода	№ 2-3

Указатель

- Абраменков Д.Э., Абраменков Э.А., Дедов А.С., Зырянов Б.С.** Пневматический ударный механизм грунтозаборного устройства № 4
- Гладышев Г.В., Абраменков Д.Э., Абраменков Э.А., Дедов А.С., Кутумов А.А.** Рациональные геометрические параметры пневмоударного механизма с дополнительными управляемыми проточными камерами № 9
- Гладышев Г.В., Абраменков Д.Э., Абраменков Э.А., Дедов А.С., Чубаров П.В.** Результаты исследования рабочего процесса физико-математической модели пневмоударного механизма с дополнительными проточными камерами № 8
- Кадыров А.С., Глотов Б.Н., Бестембек Е.С.** Определение параметров нагрузки фрезерного рабочего органа большого диаметра № 1
- Суворов Д.Г.** Индикаторный коэффициент полезного действия тепломеханической системы поршневой пневматической машины № 9
- Суворов Д.Г.** Структурное строение пневматических машин с возвратно-поступательным движением поршня № 10

НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ЭКОЛОГИИ

- Акимова М.И.** Архитектурные ансамбли главных площадей городов Западной Сибири № 9
- Акимова М.И.** Типы площадей городов Западной Сибири № 4
- Бежанова М.В.** Композиционно-стилевые особенности архитектурных ансамблей в исторических центрах крупных сибирских городов № 5
- Бежанова М.В., Вольская Л.Н.** О сложении и композиционных особенностях центров крупных городов Сибири — ядер агломераций XXI в. № 2–3
- Вольская Л.Н., Кулигина О.А.** Модели среды городов Западной Сибири XVII — начала XX в. № 1
- Загороднов Е.И.** Малоэтажное домостроение в большом городе № 5
- Махинов А.Н., Шевцов М.Н., Музыко С.В., Збарацкий А.А., Акименко Н.Ю., Видищева Г.Г.** Проблемы загрязнения водных ресурсов горнодобывающих районов и пути их решения № 2–3
- Семикин П.П.** Классификация типов высотных зданий с возобновляемыми источниками энергии № 10
- Скуднева М.В.** Особенности развития абхазского жилища (в конце XVIII — начале XX в.) № 7
- Слаков П.Ф.** К вопросу о эколого-ориентированной реконструкции городов. Регламенты проектирования и реальность № 4

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

- Аверкова О.А., Логачев И.Н., Логачев К.И., Пузанок А.И., Ходаков И.В.** Моделирование отрывного течения на входе в квадратный всасывающий канал № 6
- Адищев В.В., Кучеренко И.В., Грачева М.С.** Моделирование физических характеристик кирпичных кладок № 2–3
- Бардаханов С.П., Говердовский В.Н., Труфанов Д.Ю., Павленко А.М., Михаэлис М.В.** Разделение наноразмерных частиц в суспензии под действием объемной силы № 8
- Болотин С.А., Гуринов А.И., Дадар А.Х., Оолакай З.Х.** Совершенствование организации ресурсосберегающего проектирования в строительстве на основе информационного моделирования № 1
- Букреев В.И., Дегтярев-мл. В.В.** Эволюция свободных волн в замкнутом бассейне с наклонным дном № 10

- Герасимов С.И., Жилкин В.А., Власов Г.М., Остроменский П.И.** Оценка точности определения напряженно-деформированного состояния элементов конструкций с использованием накладного голографического интерферометра № 10
- Гныря А.И., Титов М.М., Кузнецов С.М.** Моделирование надежности поворотного бункера для электроразогрева бетонных смесей № 7
- Готман А.Л., Соколов Л.Я.** Исследования работы комбинированных свай переменного сечения на горизонтальную нагрузку и их расчет № 6
- Завалишин С.И., Хлыстунов М.С., Mogil'uk Ж.Г.** Математические проблемы восстановления векторов перемещений по данным динамических обследований № 7
- Закибуллин Р.С.** Интеллектуальное окно с угловым селективным светопропусканием № 5
- Иванов А.Н.** Перспективы применения болтофрикционных соединений элементов из полимерных фиброармированных композитов № 10
- Иванов В.Н., Трофимова Л.С.** Математическая модель формирования и развития систем машин дорожных организаций с учетом требований к качеству выполнения технологических процессов и в соответствии со спросом № 5
- Ижендеев А.В.** Формирование матрицы начальных напряжений тонкостенного стержня открытого профиля № 1
- Калугин Ю.Б.** Моделирование воздействия дестабилизирующих факторов на технологический процесс № 7
- Калугин Ю.Б.** Особенности и сущность расчета вероятностных временных параметров отдельной работы (технологического процесса) № 8
- Калугин Ю.Б.** Сущность календарного планирования работ с вероятностными временными параметрами № 9
- Козлов И.М.** Комплексный подход при формировании комплекта оборудования для обеспечения энергоэффективности многоэтажного жилого дома № 6
- Кузнецова Л.В.** Тепловой режим изоляции ограждений при экстремальных условиях высокотемпературного воздействия № 2–3
- Логанина В.И., Круглова А.Н., Давыдова О.А.** Оценка достоверности контроля строительных материалов и изделий с учетом стабильности технологического процесса производства № 7
- Маркарян В.А.** Анализ возможных источников ошибок светодальномера ДВСД-1200 № 4
- Миренков В.Е., Шутов В.А., Полуэктов В.А.** Моделирование процесса деформирования образцов № 5
- Недавний О.И., Кузнецов С.М., Кандаурова Н.М.** Обоснование времени производства строительных работ № 9
- Пантелеев Н.Н., Митасов В.М., Логунова М.А., Себешев В.Г.** Расчет железобетонных балок с применением новых деформационных моделей № 10
- Романович А.А.** Исследования направленной подачи анизотропных материалов в ПВИ с валковым устройством № 6
- Самченко Р.В., Щербина Л.В., Степура И.В., Шокарев А.С., Юхиленко А.И., Шокарев Е.А.** О проблемах реконструкции зданий и способах их решения № 9
- Сенюшенкова И.М.** Методологические аспекты акустического воздействия на окружающую среду в период строительства № 8
- Тихомиров В.М.** Развитие усталостной трещины в монолитной панели с ребрами № 2–3
- Шафрай К.А., Шафрай С.Д.** Особенности работы фланцевых соединений архитектурно-строительных конструкций. Внекентренное растяжение болтов № 7

Указатель

Шутов В.А., Миренков В.Е., Полуэктов В.А. К вопросу расчета балки-стенки № 2–3

В ЛАБОРАТОРИЯХ ВУЗОВ

Лесовик В.С., Беленцов Ю.А., Куприна А.А. Использование положений геотехники при проектировании конструкций для работы в условиях динамических и сейсмических нагрузок № 2–3

Пинус Б.И., Безделев В.В., Гребенюк Г.И., Созонов П.С. Моделирование физической нелинейности стального стержня при одноосном нагружении с учетом истории деформирования № 5

Степанова Л.Н., Бехер С.А., Курбатов А.Н., Тенитилов Е.С. Исследование напряженного состояния рельса с использованием акустоупругости и тензометрии № 7

Столповский Г.А., Лисов С.В., Аркаев М.А. Оценка влияния конструктивных параметров витого стержня крестообразного поперечного сечения на его несущую способность при выдергивании № 6

НАУЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Новые подходы к расчету железобетонных конструкций № 7

НАШИ ЮБИЛИЯРЫ

Алексею Игнатьевичу Гныре — 75 № 1

Енджиевский Лев Васильевич № 4

Крупный ученый и педагог (к 90-летию со дня рождения Петра Андреевича Дмитриева) № 11–12

ПРАВИЛА ПОДГОТОВКИ РУКОПИСИ¹

1. К рукописи, представляемой в редакцию на русском языке, необходимо приложить:
— сопроводительное письмо руководства организации, откуда исходит рукопись;

к сопроводительному письму должна быть приложена гарантия оплаты публикации статьи² за подписью автора или руководителя представляющей статью организацией. Плата за публикацию статей аспирантов не взимается. Гарантийное письмо не требуется, если статья представляется организацией, осуществляющей целевые взносы на издание нашего журнала;

— рекомендацию соответствующей кафедры вуза (заверенную выписку из протокола заседания кафедры);

— экспертное заключение о возможности опубликования, оформленное в организации, откуда исходит рукопись;

— разрешение Роспатента на открытую публикацию материалов по заявке на изобретение.

2. Рукопись должна готовиться на компьютере в программе Microsoft Word и представляться в редакцию распечатанной в двух экземплярах, с приложением ее записи на CD (3", 5").

Текст рукописи набирают шрифтом Times New Roman Cyr размером 14 пт. с межстрочным интервалом 1,5. Объем рукописи — до 10 страниц. Обязательна нумерация страниц.

3. Порядок оформления статьи (см. макет статьи на Internet-сайте журнала):

— индекс УДК;

— инициалы, фамилии авторов;

— название статьи;

— аннотация (объемом до 0,3 страницы текста);

— ключевые слова;

— текст статьи;

— библиографический список не более четырех ссылок (при большем количестве их следует оформлять по ГОСТ Р 7.0.5–2008);

— сведения об авторах: **фамилии, имена, отчества (полностью), ученые степени, звания** (звания в негосударственных академиях наук и почетные звания не указывать); наименование учреждений, в которых работают авторы, на русском и **английском языках**;

— почтовые адреса, телефоны и e-mail авторов;

— название статьи на английском языке;

— аннотация на английском языке;

— ключевые слова на английском языке;

— библиографический список на английском языке.

4. На полях рукописи указываются места рисунков и таблиц (вставлять их в текст не нужно — это делается при верстке).

Статья должна быть тщательно отредактирована и подписана всеми авторами (с указанием даты отправки статьи).

5. Иллюстрации представляются в редакцию в виде файлов, созданных в программах CorelDraw или Microsoft Word, записанных с расширением *.cdr (предпочтительно) или *.doc, фотографий — TIFF или JPEG. Надписи и цифры набирать шрифтом Arial. Линии чертежа — не тоньше 1 пт. Иллюстраций, в том числе фотографий, должны быть черно-белыми с хорошей проработкой деталей.

Рисунки должны быть выполнены так, чтобы их можно было отредактировать (внести изменения, исправления, т.е. изменить шрифт, исправить возможные орфографические ошибки).

Иллюстрации должны быть распечатаны в двух экземплярах, с подписями к ним. Размер иллюстрации не должен превышать 20×30 см, их общее число, как правило, не более 4.

6. Таблицы печатаются каждая на отдельном листе. Все наименования в них даются полностью, без сокращения слов.

7. Формулы следует набирать на компьютере шрифтом Times New Roman размером 14 пт. Русские и греческие буквы и индексы, а также цифры, аббревиатуры и стандартные функции (Re, cos и др.) набираются прямым шрифтом. Латинские буквы набирать курсивом. Во избежание смешения сходных изображений прописных и строчных букв (*V* и *v*, *S* и *s*, *O* и *o*, *K* и *k* и др.), а также трудноразличимых букв и символов: *l*, *e* и *1* (цифра), *n* и *p*, *I* и *J* и т.п.) пояснения в необходимых случаях выполняются простым карандашом на полях. В статье должен быть необходимый минимум формул. Все второстепенные и промежуточные математические преобразования выносятся в приложение к статье (для рецензента).

¹ С дополнениями в соответствии с требованиями ВАК (выделены п/ж курсивом).

² На 2014 г. — из расчета 800 р. за 1 журнальную страницу.

(Окончание правил)

8. Следует применять физические величины, обозначения и единицы измерения в системе СИ(СИ).

9. В библиографический список включаются только те работы, которые опубликованы в печати, составленные в соответствии с ГОСТ 7.80–2000, ГОСТ 7.1–03.

Примеры оформления можно найти на Internet-сайте НГАСУ (Сибстрин) по адресу www.sibstrin.ru и www.izvuzstr.sibstrin.ru

10. Если статья была или будет направлена в другое издание, или же была ранее опубликована, необходимо обязательно сообщить об этом редакции. Материалы уже публиковавшихся работ к рассмотрению не принимаются.

11. Рецензентов для статей редакция назначает по своему усмотрению. При доработке статьи после рецензии на первой странице указываются ее редакционный номер, число, месяц, год и пометка «рукопись после доработки». Доработанную статью необходимо присыпать в двух экземплярах с приложением ее записи в электронном виде. К доработанной рукописи обязательно прикладывать ответы на все замечания рецензента. Датой поступления статьи считается получение редакцией ее окончательного текста.

12. Рукописи, не принятые к опубликованию, авторам не высылаются. Редакция имеет право производить сокращения и редакционные изменения текста рукописей. *Корректура статей авторам не представляется.*

13. Гонорар за опубликованные статьи *не выплачивается*.

14. Рукописи, не удовлетворяющие изложенным требованиям, отправляются авторам на доработку, что замедляет срок их опубликования.

ПРИНИМАЕТСЯ ПОДПИСКА

на 1-е полугодие 2014 г.

НА НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

«СТРОИТЕЛЬСТВО»

Журнал имеет разделы

Строительные конструкции
Теория инженерных сооружений
Строительные материалы и изделия
Экономика и организация строительства
Автоматизация и технология строительного производства
Гидротехническое строительство
Санитарная техника

Строительство автомобильных дорог и мостов
Строительные и дорожные машины
Научные проблемы архитектуры и экологии
Научно-методический В лабораториях вузов
Внедрение научных достижений в производство
Научная информация

Каталожная цена за 6 месяцев — 2400 р.

Цена отдельного номера — 400 р.

Подписка принимается с любого месяца без ограничения всеми агентствами
Роспечати и отделениями связи. Индекс 70377.

ББК 38
И 33
УДК 69

Научное издание

**Известия вузов
СТРОИТЕЛЬСТВО**

№ 11–12 (659–660) 2013

Научно-теоретический журнал

Редакторы: *С.М. Погудина, Н.И. Коновалова*
Технический редактор *Н.М. Макаренко*
Компьютерная верстка *Р.Г. Усова*
Корректор *Г.И. Шведкина*