

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
И НАУКИ РФ

МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ
СТРОИТЕЛЬНЫХ ВУЗОВ

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ
УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

СТРОИТЕЛЬСТВО

Научно-теоретический журнал
Издается с марта 1958 г.
Выходит один раз в месяц

№ 4 (700)
Апрель 2017 г.

Главный редактор В.Г. Себешев,
почет. чл. РААСН, канд. техн. наук, проф.

Редакционная коллегия:

А.А. Афанасьев, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф.
В.А. Воробьев, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф.
В.А. Игнатьев, д-р техн. наук, проф.
В.И. Костин, д-р техн. наук, проф. (зам. гл. редактора)
Г.Б. Лебедев, канд. техн. наук, доц. (зам. гл. редактора)
Л.С. Ляхович, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф.
В.И. Морозов, д-р техн. наук, проф.
Ю.П. Панибратов, акад. РААСН, д-р экон. наук, проф.
Ю.П. Правдинец, д-р техн. наук, проф.
В.Г. Себешев, почет. чл. РААСН, канд. техн. наук, проф.
Ю.А. Феофанов, д-р техн. наук, проф.
Е.М. Чернышов, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф.

Ответственный секретарь Н.В. Биткина

Адрес редакции:

630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113
Тел./факс +7 (383) 266 28 59
www.sibstrin.ru E-mail: izvuz_str@sibstrin.ru

Свидетельство о регистрации № 993 от 28.11.90 г.

Подписано в печать 28.04.17. Формат 70×108 1/16
Усл. печ. л. 9,63+0,35. Тираж 350 экз. Заказ 4919

ООО «Партнеры Сибири»,
630009, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 16

© Издатель НГАСУ (Сибстрин), 2017

СОДЕРЖАНИЕ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

- Адищев В.В., Мальцев В.В. Определение напряженно-деформированного состояния в армированных балках из однородного ячеистого материала численно-аналитическим методом 5

ТЕОРИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

- Горынин Г.Л., Снигирева В.А. Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния трубобетонных конструкций с учетом нелинейного поведения бетона 17

САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА

- Самарин О.Д. Особенности утилизации теплоты вытяжного воздуха при механической вентиляции и большом числе вытяжных систем 30

СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ

- Абраменков Д.Э., Абраменков Э.А., Малышева Ю.Э., Грузин В.В. Возможные рабочие процессы и зависимости между основными геометри-

ческими и энергетическими параметрами дроссельных пневмоударных механизмов	36
НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ЭКОЛОГИИ	
Молодин А.В. Планировка и застройка крупнейших поселений Русской Америки первой половины XIX века. Часть 1.	48
Гудков А.А., Невзгодин И.В., Ростовцева И.Л. Формирование корпуса профессиональных архитектурно-градостроительных кадров в Сибири в конце XVIII – первой половине XIX века	63
НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ	
Енджиевский Л.В., Кудрин В.Г., Себешев В.Г. Оценка отечественной нормативной базы обеспечения механической безопасности сооружений	72
Бокарев С.А., Караполов А.М., Королев К.В., Ефимов С.В. Обоснование методики расчета продольного борта балластного корыта железобетонных пролетных строений	82
В ЛАБОРАТОРИЯХ ВУЗОВ	
Гребенюк Г.И., Пуртов В.В., Павлик А.В., Кулешова Н.И. Экспериментальные исследования соединений деревянных элементов на металлических пластинах и дюбелях, усиленных штампованными зубчатыми шайбами при действии кратковременных нагрузок	92

THE MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE

OF RUSSIAN FEDERATION

INTERNATIONAL ASSOCIATION

OF CONSTRUCTION

HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS

**NEWS OF HIGHER EDUCATIONAL
INSTITUTIONS**

CONSTRUCTION

Scientific-theoretical journal

Published since March 1958

Monthly

No. 4 (700)

April 2017

Editor-in-Chief V.G. Sebeshev,
PhD, Prof., Honour. Mem. RAACS

Editorial Board:

A.A. Afanasyev, DSc (Eng), Prof., Corr. Mem. RAACS
V.A. Vorobiov, DSc (Eng), Prof., Corr. Mem. RAACS
V.A. Ignatyev, DSc (Eng), Prof.
V.I. Kostin, DSc (Eng), Prof. (Deputy Editor-in-Chief)
G.B. Lebedev, PhD, Ass. Prof. (Deputy Editor-in-Chief)
L.S. Lyakhovich, DSc (Eng), Prof., Acad. RAACS
V.I. Morozov, DSc (Eng), Prof.
Yu.P. Panibratov, DSc (Econ), Prof., Acad. RAACS
Yu.P. Pravdivets, DSc (Eng), Prof.
V.G. Sebeshev, PhD, Prof., Honour. Mem. RAACS
Yu.A. Feofanov, DSc (Eng), Prof.
Ye.M. Chernyshov, DSc (Eng), Prof., Acad. RAACS

Responsible secretary N.V. Bitkina

The editorial office's address:

113 Leningradskaya St. Novosibirsk 630008
Phone number/fax +7 (383) 266 28 59
www.sibstrin.ru E-mail: izvuz_str@sibstrin.ru

CONTENTS

BUILDING CONSTRUCTIONS

Adishchev V.V., Mal'-tsev V.V. Definition of stress-deformed state in reinforced beams of homogeneous cellular material by the numerical-analytical method 5

THE THEORY OF ENGINEERING STRUCTURES

Gorynin G.L., Snigireva V.A. Mathematical modeling of the stress-strain state of concrete-filled steel tube structures considering the non-linear concrete behavior 17

SANITARY ENGINEERING

Samarin O.D. Features of heat recovery of exhaust air in mechanical ventilation at a large number of exhaust systems 30

BUILDING AND ROAD MACHINES

Abramenkov D.E., Abramenkov E.A., Malysheva Yu.E., Gruzin V.V. Possible work processes and the relationship between the basic geometric and energy parameters of throttle pneumatic percussive mechanism 36

SCIENTIFIC PROBLEMS OF ARCHITECTURE AND ECOLOGY

Molodin A.V. Town planning of biggest settlement of Russian America in first part of XIX century. Part 1	48
Gudkov A.A., Nevzgodin I.V., Rostovtseva I.L. Formation of professional architectural and town- planning personnel in Siberia at the end of the XVIII century and the first half of the XIX century	63

SCIENTIFIC AND METHODICAL SECTION

Endzhievskiy L.V., Kudrin V.G., Sebeshev V.G. Estimation of the domestic normative basis of structures mechanical safety maintenance	72
Bokarev S.A., Karaulov A.M., Korolev K.V., Efimov S.V. The substantiation of the method of calculation of the longitudinal board of the ballast trough of reinforced construction superstructures	82

IN HIGHER SCHOOL LABS

Grebnyuk G.I., Purtov V.V., Pavlik A.V., Kuleshova N.I. Experimental investigation of wooden elements joints on metal plates and dowel teeth, strengthened with stamped gear washers under a short load action	92
---	----

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ



УДК 624.012.45

В.В. АДИЩЕВ, В.В. МАЛЬЦЕВ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ В АРМИРОВАННЫХ БАЛКАХ ИЗ ОДНОРОДНОГО ЯЧЕИСТОГО МАТЕРИАЛА ЧИСЛЕННО-АНАЛИТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ*

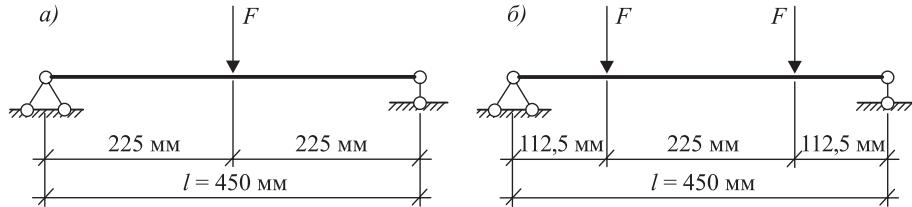
Применяется разработанный ранее численно-аналитический метод определения прогибов железобетонной балки с применением нелинейных диаграмм деформирования бетона. Метод основан на едином подходе к построению аппроксимаций диаграмм деформирования бетона и арматуры, аппроксимаций функции кривизны, функции распределения высоты сжатой зоны. Численно-аналитический метод используется для обработки экспериментальных данных, полученных при испытании изгибаемых армированных элементов из однородного ячеистого материала. Армирование изгибаемых элементов выполнено полосами дюоралюминия по различным схемам. Анализ полученных результатов показал, что численно-аналитический метод адекватно описывает напряженно-деформированное состояние в армированных изгибаемых элементах до момента образования трещины.

Ключевые слова: численно-аналитический метод, физическая нелинейность, диаграмма деформирования, напряженно-деформированное состояние, процент армирования, однородный ячеистый материал.

1. Введение. В работе проведена экспериментальная апробация предложенного ранее численно-аналитического метода определения прогибов железобетонного элемента [1]. При реализации данного метода использован единый подход к построению аппроксимаций диаграмм деформирования бетона и арматуры, а также аппроксимаций функции кривизны, высоты сжатой зоны и прогиба в зависимости от координаты по длине балки. Существует достаточное количество публикаций, посвященных экспериментальным исследованиям напряженно-деформированного состояния изгибаемых железобетонных элементов в состоянии разрушения [2–6], однако в данных работах практически не уделено внимание стадии предразрушения железобетона. В настоящей работе численно-аналитический метод использован для обработки экспериментальных данных [7], полученных при испытании изгибаемых элементов из однородного ячеистого материала, армированных полосами дюоралюминия.

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-08-0097516).

Испытывались шесть образцов балок прямоугольного поперечного сечения с различными коэффициентами армирования μ_s и схемами армирования. Нагружение соответствовало схемам трехточечного изгиба для образцов 1–4 и четырехточечного изгиба для образцов 5, 6 (рис. 1).



*Рис. 1. Схема испытания образцов
а – трехточечный изгиб; б – четырехточечный изгиб*

Прогиб балки определялся показаниями индикатора часового типа, а деформации – тензодатчиков типа 2ПКБ-20-100ХБ. Армирование образцов выполнено из полосок дюралюминия (модуль упругости $E_s = 71\,000$ МПа) различной высоты и ширины, которые вклеивались в предварительно выфрезерованные канавки с помощью поливинилацетатного клея, смешанного с известковой пылью. Длина образцов $l = 450$ мм, ширина $b = 100$ мм, высота h . Описание схем армирования шести экспериментальных образцов (рис. 2) приведены ниже:

- образец № 1 – неармированная балка, $h = 89$ мм;
- образец № 2 – армированная балка (5 полосок дюралюминия сечения $1,5 \times 2,4$ мм на нижней грани, $\mu_s = 0,002$), $h = 90$ мм;
- образец № 3 – армированная балка (3 полоски дюралюминия сечения $1,5 \times 2,9$ мм на нижней грани, $\mu_s = 0,0015$), $h = 90$ мм;
- образец № 4 – армированная балка (3 полоски дюралюминия сечения $1,5 \times 2,8$ мм на нижней грани и 3 полоски на верхней грани, $\mu_s = 0,0028$), $h = 90$ мм;

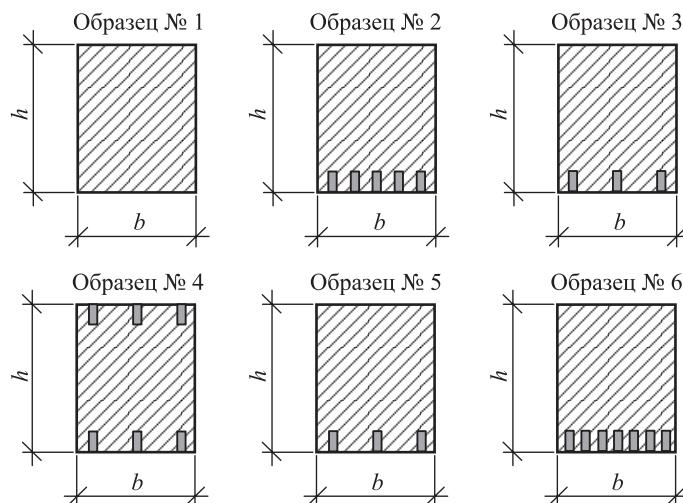


Рис. 2. Схемы армирования образцов

– образец № 5 – армированная балка (3 полоски дюралюминия сечения $1,0 \times 3,0$ мм на нижней грани, $\mu_s = 0,001$), $h = 90$ мм;

– образец № 6 – армированная балка (7 полосок дюралюминия сечения $1,5 \times 3,2$ мм на нижней грани, $\mu_s = 0,004$), $h = 82$ мм.

В статье [7] приведены результаты испытаний кубов со стороной 100 мм и «восьмерок» из однородного ячеистого материала. Испытывались 5 образцов на сжатие и 5 образцов на растяжение. По результатам данных испытаний приводятся кривые деформирования «напряжение–деформации» (рис. 3): слева от сплошной прямой расположены кривые деформирования образцов, замеренные с помощью индикатора часового типа, справа – с помощью тензодатчиков типа 2ПКБ-20-100ХБ. Сплошная прямая на рис. 3 получена усреднением деформаций, измеренных с помощью индикаторов часового типа и тензодатчиков.

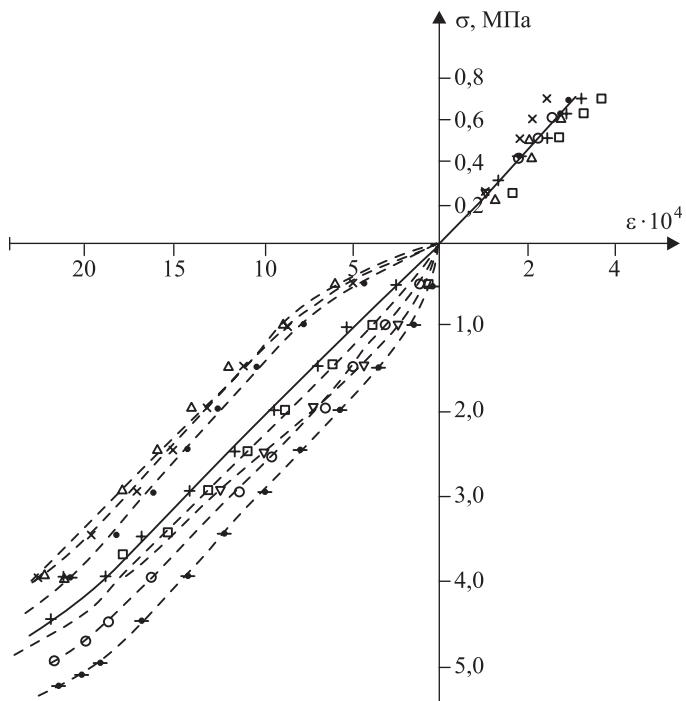


Рис. 3. Кривые деформирования однородного ячеистого материала

Среднее значение модуля упругости на сжатие составляет $E_b = 2160$ МПа, на растяжение $E_{bt} = 2060$ МПа.

В качестве аппроксимации кривых деформирования были использованы диаграмма Прандтля в зоне растяжения 0–3 и линейно-упругая зависимость в сжатой зоне 1–0 (рис. 4).

2. Реализация численно-аналитического метода с применением диаграммы деформирования однородного ячеистого материала для различных схем армирования. Рассмотрим армированный образец № 4 как наиболее общий случай, так как данный образец армирован двумя

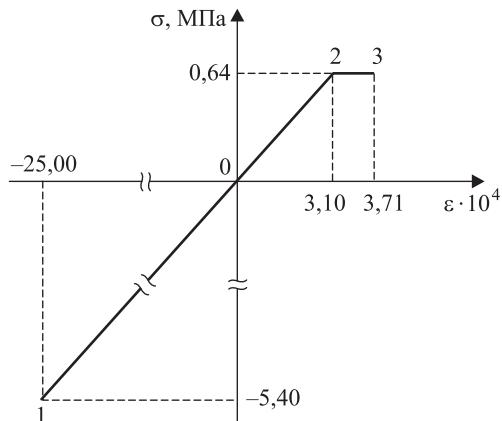


Рис. 4. Диаграмма деформирования однородного ячеистого материала

($y = 0$) до момента образования трещины имеют следующий вид [8]:

$$\left\{ \begin{array}{l} b \left(-\frac{x}{\varepsilon_b} \right) \int_{\varepsilon_b}^{\varepsilon_{bt}} \psi(\varepsilon) d\varepsilon + \sigma_{s1} A_{s1} - \sigma_{s2} A_{s2} = 0, \\ b \left(-\frac{x}{\varepsilon_b} \right)^2 \int_{\varepsilon_b}^{\varepsilon_{bt}} \psi(\varepsilon) \varepsilon d\varepsilon + \sigma_{s1} A_{s1} (h_0 - x) - \sigma_{s2} A_{s2} (x - a') = M, \\ \varepsilon_b = \frac{x}{x - h_0} \varepsilon_{s1}, \\ \varepsilon_{bt} = \frac{h - x}{h_0 - x} \varepsilon_{s1}, \\ \varepsilon_{s2} = \frac{x - a}{x} \varepsilon_b, \end{array} \right. \quad (1)$$

где $\psi(\varepsilon)$ – функция, аппроксимирующая диаграмму деформирования бетона;

σ_{s1}, σ_{s2} – напряжение в слое растянутой и сжатой арматуры соответственно; x – высота сжатой зоны сечения;

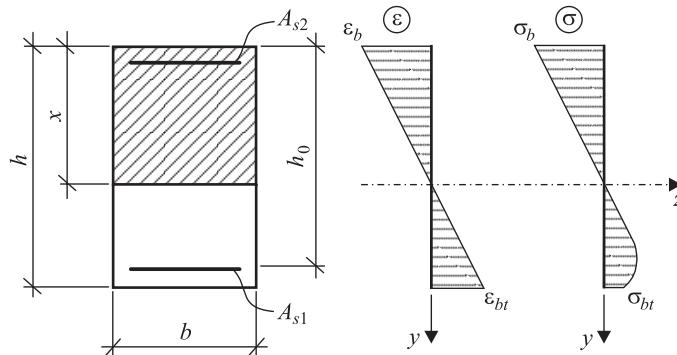


Рис. 5. Распределение деформаций и напряжений по высоте сечения балки

семействами арматуры (см. рис. 2). На рис. 5 изображено расчетное сечение, в котором действует изгибающий момент M , а также эпюры деформаций и напряжений для сечения данного образца. Эпюра напряжений в сжатой зоне линейна, так как при образовании трещин при изгибе в бетонных и железобетонных элементах напряжения в сжатой зоне не достигают предела пропорциональности.

Уравнения равновесия относительно нейтральной линии

h_0 – полезная высота сечения балки;

ε_b – деформация крайнего сжатого волокна сечения;

ε_{bt} – деформация крайнего растянутого волокна сечения;

$\varepsilon_{s1}, \varepsilon_{s2}$ – деформация растяжения и сжатия в арматурном слое;

a, a' – защитный слой бетона в зоне растяжения и сжатия;

A_{s1}, A_{s2} – площадь армирования в растянутой и сжатой зоне.

Перепишем уравнения равновесия (1) в безразмерном виде, учитывая, что в соответствии со схемами армирования (см. рис. 2) $a = a' = 0, h = h_0$:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\xi}{\varepsilon_b} \int_{\varepsilon_b}^{\varepsilon_{bt}} \bar{\psi}(\varepsilon) d\varepsilon = \mu_{s1} \bar{\phi}(\varepsilon_{s1}) - \mu_{s2} \bar{\phi}(\varepsilon_{s2}), \\ \left(\frac{\xi}{\varepsilon_b} \right)^2 \int_{\varepsilon_b}^{\varepsilon_{bt}} \bar{\psi}(\varepsilon) \varepsilon d\varepsilon + (1 - \xi) \mu_{s1} \bar{\phi}(\varepsilon_{s1}) - \mu_{s2} \bar{\phi}(\varepsilon_{s2}) \xi = \bar{M}, \\ \varepsilon_b = \frac{\xi}{\xi - 1} \varepsilon_{s1}, \\ \varepsilon_{bt} = \varepsilon_{s1}, \\ \varepsilon_{s2} = \varepsilon_b, \end{array} \right. \quad (2)$$

где $\xi = x / h_0$ – относительная высота сжатой зоны; $H = h / h_0$; $\mu_s = \mu_{s1} + \mu_{s2}$ – коэффициент армирования сечения, $\mu_{s1} = A_{s1} / (bh_0)$, $\mu_{s2} = A_{s2} / (bh_0)$; $\bar{\phi}(\varepsilon_{s1}) = \phi(\varepsilon_{s1}) / \sigma_{02}$, $\bar{\phi}(\varepsilon_{s2}) = \phi(\varepsilon_{s2}) / \sigma_{02}$; $\bar{\psi}(\varepsilon) = \psi(\varepsilon) / \sigma_{02}$; $\bar{M} = M / (bh_0^2 \sigma_{02})$. Функции $\sigma_{s1} = \phi(\varepsilon_{s1})$ и $\sigma_{s2} = \phi(\varepsilon_{s2})$ аппроксимируют диаграмму деформирования арматуры. Для обезразмеривания выбирается любое удобное значение напряжения, например, σ_{02} – напряжение, соответствующее остаточной деформации 0,2 % для арматуры.

Упростим форму записи системы (2) следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\xi}{\varepsilon_b} \int_{\varepsilon_b}^{\varepsilon_{bt}} \bar{\psi}(\varepsilon) d\varepsilon = \mu_{s1} \bar{\phi}(\varepsilon_{bt}) - \mu_{s2} \bar{\phi}(\varepsilon_b), \\ \left(\frac{\xi}{\varepsilon_b} \right)^2 \int_{\varepsilon_b}^{\varepsilon_{bt}} \bar{\psi}(\varepsilon) \varepsilon d\varepsilon + (1 - \xi) \mu_{s1} \bar{\phi}(\varepsilon_{bt}) - \mu_{s2} \bar{\phi}(\varepsilon_b) \xi = \bar{M}, \\ \varepsilon_b = \frac{\xi}{\xi - 1} \varepsilon_{bt}. \end{array} \right. \quad (3)$$

В соответствии с алгоритмом численно-аналитического метода расчета [1] выбираются узловые значения $\varepsilon_{bt,i}$ ($i = 1, 2, \dots, n$) в интервале $0 < \varepsilon_{bt,i} < \varepsilon_{bt}^{crc}$, где $\varepsilon_{bt} = \varepsilon_{bt}^{crc} = \varepsilon_3$ – предельная деформация растяжения бетона согласно реальной диаграмме деформирования однородного ячеистого материала (см. рис. 4). Таким образом, для каждого узлового значения деформаций

растяжения бетона получаем систему уравнений (3), состоящую из трех уравнений с тремя неизвестными $\varepsilon_{b,i}$, ζ_i , \bar{M}_i для всех типов образцов. При этом для образцов № 2, 3, 5 и 6 в данной системе уравнений $\mu_{s2} = 0$, а для образца № 1 $-\mu_{s1} = \mu_{s2} = 0$.

Неизвестные координаты сечений ζ_i определяются из уравнений

$$\bar{M}(\zeta_i) = \bar{M}_i, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (4)$$

при этом функция $\bar{M}(\zeta)$, описывающая изменение изгибающего момента по длине балки, считается известной.

Далее определяется перемещение сечения с координатой ζ_i по формуле Мора

$$\bar{\Delta}(\zeta_i) = \int_0^L \bar{M}_{0i}(\zeta) \bar{\chi}(\zeta) d\zeta, \quad (5)$$

где $\zeta = z/h_0$, z – координата по длине балки;

$L = l/h_0$, l – длина балки;

$\bar{\Delta}(\zeta_i) = \Delta(z_i)/h_0$, $\bar{M}_{0i}(\zeta) = M_{0i}(z)/(bh_0^2\sigma_{02})$, $M_{0i}(z)$ – распределение по длине балки изгибающего момента, возникающего при действии единичной силы, приложенной по направлению искомого перемещения (в сечении с координатой z_i);

$(\bar{\chi}(\zeta) = -\varepsilon_b(\zeta)/\xi(\zeta)$ – функция, описывающая зависимость кривизны нейтральной линии от координаты.

3. Результаты использования диаграммы деформирования однородного ячеистого материала в численно-аналитическом методе. Ниже приведены результаты расчета напряженно-деформированного состояния с применением диаграммы деформирования однородного ячеистого материала для образцов с различными схемами армирования и нагружения.

Наибольший интерес представляет определение напряженно-деформированного состояния перед образованием трещины. Для разрушающего сечения принимаем $\varepsilon_{bt} = \varepsilon_{bt}^{crc} = \varepsilon_3$ согласно диаграмме деформирования бетона (см. рис. 4). Три неизвестные ε_b , ξ , \bar{M} определяются как решение системы уравнений (3), где \bar{M} в соответствии с выдвинутой гипотезой можно считать моментом трещинообразования, $\bar{M} = \bar{M}_{crc}$.

Зависимости изгибающего момента $\bar{M}(\zeta)$ от координаты по длине шарнирно опертой балки при трехточечном (см. рис. 1, a) и при четырехточечном изгибе (см. рис. 2, a) описываются известными формулами, соответствующими треугольной и трапециoidalной эпюрам изгибающих моментов. Безразмерная нагрузка $\bar{F} = F/(bh_0\sigma_{02})$.

Трещина может образоваться при нагрузке, определяемой из соотношения $\bar{M}_{crc} = \bar{F}L/4$, где \bar{M}_{crc} – безразмерный изгибающий момент образования трещины. При трехточечном изгибе в сечении с координатой $\zeta = L/2$, при четырехточечном изгибе трещина может образоваться в интервале $\zeta = L/4 \div 3L/4$.

Из уравнения (4), где функция $\bar{M}(\zeta)$ соответствует одному из двух видов нагружения (см. рис. 1), определяются безразмерные координаты ζ_i сечений, в которых изгибающий момент равен \bar{M}_i ($i = 1, 2, \dots, 8$). Затем

находятся относительные величины прогибов в узловых точках по формуле (5). В табл. 1 представлены результаты расчета разрушающего сечения, выполненные в программном комплексе Mathcad 15, для шести образцов (см. рис. 2) с разными схемами нагружения и коэффициентами армирования.

Таблица 1. Результаты расчета НДС разрушающего сечения в состоянии предразрушения для шести экспериментальных образцов

Номер образца, коэффициент армирования	Безразмерные физические величины								
	$\frac{\varepsilon_b \cdot 10^4}{\bar{\psi}(\varepsilon_b) \cdot 10^3}$	$\frac{\varepsilon_{bt} \cdot 10^4}{\bar{\psi}(\varepsilon_{bt}) \cdot 10^3}$	$\frac{\varepsilon_{sl} \cdot 10^4}{\bar{\phi}(\varepsilon_{sl})}$	$\frac{\varepsilon_{s2} \cdot 10^4}{\bar{\phi}(\varepsilon_{s2})}$	ξ	$\bar{\chi} \cdot 10^4$	$\bar{M} \cdot 10^4$	$\bar{F} \cdot 10^4$	$\bar{\Delta} \cdot 10^3$
№ 1, $\mu_s = 0$	-3,622 -1,961	3,770 1,604	-	-	0,490	7,392	3,184	2,519	1,541
№ 2, $\mu_s = 0,002$	-6,116 -3,311	6,190 1,604	6,190 0,110	-	0,497	12,310	5,691	4,553	2,363
№ 3, $\mu_s = 0,0015$	-4,856 -2,629	4,760 1,604	4,760 0,085	-	0,505	9,616	4,551	3,641	1,904
№ 4, $\mu_s = 0,0028$	-4,291 -2,323	3,570 1,604	3,570 0,065	-4,291 -0,076	0,539	7,961	4,548	3,638	1,643
№ 5, $\mu_s = 0,001$	-4,644 -2,514	4,700 1,604	4,700 0,084	-	0,497	9,344	4,226	3,381	2,652
№ 6, $\mu_s = 0,004$	-6,821 -3,692	6,000 1,604	6,000 0,107	-	0,532	12,820	7,084	5,164	4,385

В образце № 2 и 6 предельные деформации растяжения различаются незначительно, хотя коэффициенты армирования отличаются в два раза. Это объясняется различными схемами нагружения (образец № 2 – трехточечный изгиб, образец № 6 – четырехточечный изгиб).

Вследствие физической нелинейности поведения бетона высота сжатой зоны по длине балки не является величиной постоянной (рис. 6), кроме

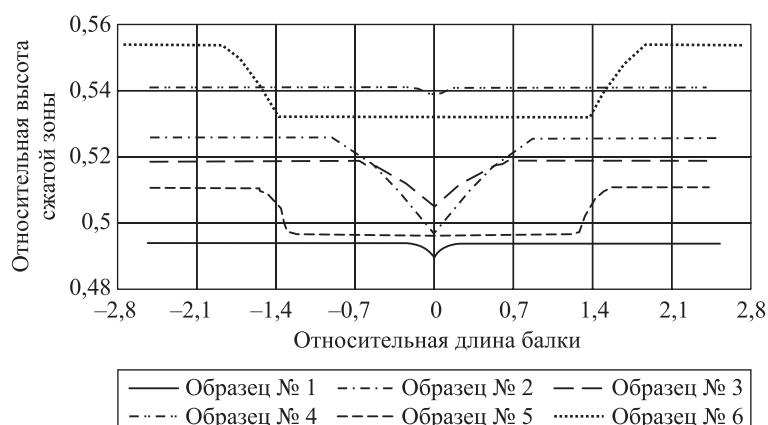


Рис. 6. Распределение относительных высот сжатой зоны

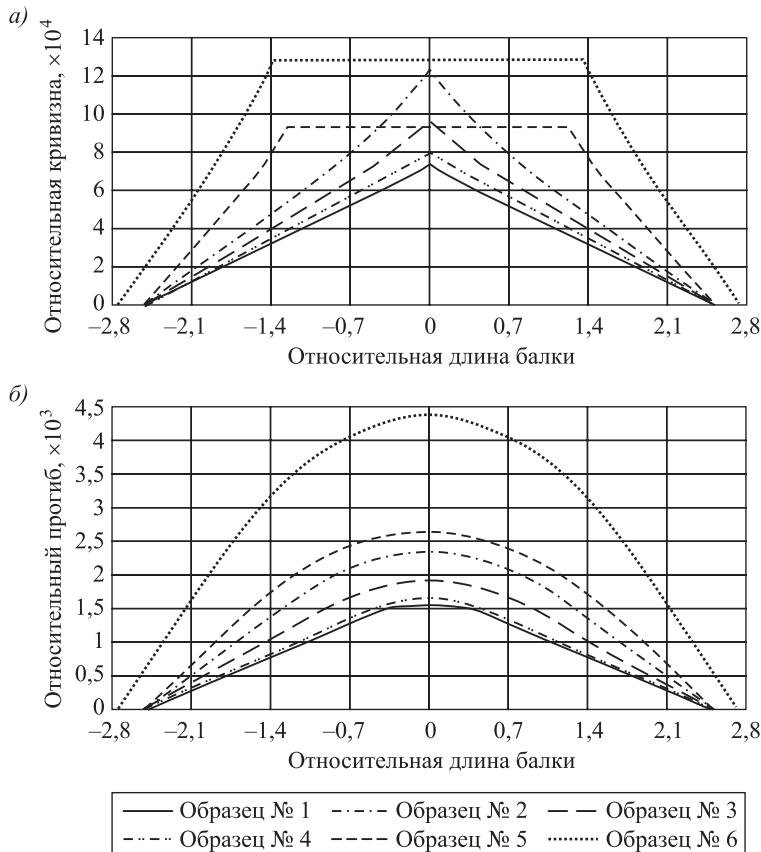


Рис. 7. Распределения относительных кривизн (а), прогибов (б)

при опорных участках, на которых выполняются соотношения закона Гука, а также в зоне чистого изгиба для образцов № 5 и 6.

На рис. 7 приведены графики распределений по длине балки моментов, кривизн и прогибов.

Ниже приведена табл. 2 с расчетными экспериментальными значениями деформаций и нагрузок в состоянии предразрушения. Расчеты выполнены с применением численно-аналитического метода, при этом расчетные предельные деформации растяжения бетона приняты равными деформациям арматуры, полученным в эксперименте.

Эксперимент на неармированной балке (образец № 1) показал, что деформация растяжения, при которой происходит образование трещины ($\varepsilon_{bt} = -\varepsilon_b = 3,77 \cdot 10^{-4}$), превосходит предельную деформацию растяжения ($\varepsilon_{bt} = 3,71 \cdot 10^{-4}$ на рис. 4). Для образцов с максимальным армированием предельная деформация увеличивается до $\varepsilon_{bt} = \varepsilon_s = 6,19 \cdot 10^{-4}$ (образец № 2) и до $\varepsilon_{bt} = \varepsilon_s = 6,00 \cdot 10^{-4}$ (образец № 6). Для образцов с меньшей плотностью армирования предельные деформации достигают значений $\varepsilon_{bt} = \varepsilon_s = 4,76 \cdot 10^{-4}$ (образец № 3) и $\varepsilon_{bt} = \varepsilon_s = 4,70 \cdot 10^{-4}$ (образец № 5). Это подтверждает правильность основных предпосылок, принятых в обосновании метода трансформации диаграмм деформирования бетона [9].

Т а б л и ц а 2. Сравнение расчетных и экспериментальных данных

Образец		Физические величины				
		$\varepsilon_b \cdot 10^4$	$\varepsilon_{sl} \cdot 10^4$	$M(\text{Нм})$	$F(\text{Н})$	$\Delta \cdot 10^2(\text{мм})$
№ 1	Эксперимент	-3,77	-	132	1200	12,0÷14,0
	Численно-аналитический метод	-3,62	3,77	101	895	13,7
№ 2	Эксперимент	-6,28	6,19	210	1900	18,1
	Численно-аналитический метод	-6,11	6,19	184	1635	21,3
№ 3	Эксперимент	-4,28	4,76	155	1400	16,0
	Численно-аналитический метод	-4,86	4,76	147	1307	17,1
№ 4	Эксперимент	-4,05	3,57	155	1400	-
	Численно-аналитический метод	-4,29	3,57	147	1306	14,8
№ 5	Эксперимент	-4,20	4,70	143	1300	-
	Численно-аналитический метод	-4,64	4,70	137	1214	23,87
№ 6	Эксперимент	-4,80	6,00	177	1600	-
	Численно-аналитический метод	-6,82	6,00	190	1689	35,95

Результаты для неармированной балки (образец № 1), полученные с помощью численно-аналитического метода с применением экспериментальной диаграммы для однородного ячеистого материала (см. рис. 4), продемонстрировали хорошую согласованность деформаций и прогибов с экспериментальными данными. Существенное различие опытных и расчетных нагрузок объясняется тем, что образование трещины в неармированном образце происходит практически мгновенно. Поэтому нагрузка, соответствующая моменту трещинообразования, определяется с большой погрешностью. Для армированных образцов наблюдается хорошая согласованность по нагрузкам. Результаты, полученные для образца № 4 с армированием в сжатой и растянутой областях, с использованием численно-аналитического метода хорошо согласуются с опытными данными.

4. Заключение. Сравнение экспериментальных данных с результатами расчетов численно-аналитическим методом для образцов с различными схемами армирования и нагружения позволяет сделать следующие выводы.

При совместном деформировании арматуры и бетона сдерживающее влияние арматуры проявляется в значительном увеличении предельных деформаций растяжения бетона, причем с увеличением плотности армирования увеличиваются предельные деформации. Это подтверждает необходимость применения трансформированных диаграмм при расчете на изгиб.

Вычисления показали, что высота сжатой зоны существенно изменяется вдоль балки. Постоянное значение высота сжатой зоны имеет только на участке линейно-упругого деформирования (в приведенном примере на двух припорных участках балки), а также в зоне чистого изгиба (образцы № 5 и 6).

Сравнение теории и эксперимента показало, что предложенный авторами численно-аналитический метод позволяет моделировать напряженно-деформированное состояние в армированных балках (в том числе в сжатой и растянутой зонах) до момента образования трещины и в предельном состоянии предразрушения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Адищев В.В., Мальцев В.В. Численно-аналитический метод определения прогибов железобетонной балки с применением реальной нелинейной диаграммы деформирования бетона // Изв. вузов. Строительство. 2016. № 9. С. 5–17.
2. Котов А.А. Напряженно-деформированное состояние железобетонной балки в сечении с трещиной при чистом изгибе // Исследования по механике строительных конструкций и материалов. Л., 1982. С. 118–123.
3. Лемыш Л.Н. Расчет железобетонных конструкций по деформациям и несущей способности с учетом полных диаграмм деформирования бетона и арматуры // Железобетонные конструкции промышленных зданий. М.: ЦНИИПромздания, 1984. С. 74–89.
4. Леншин В.П. К вопросу разработки и использования моделей деформирования железобетонных конструкций с трещинами // Строительная механика и расчет сооружений. 1980. № 6. С. 34–36.
5. Лучко И.И., Капелюжный В.В. Трещиностойкость железобетонных изгибаемых элементов при высоком уровне нагружения кратковременной и длительной нагрузкой // Изв. вузов. Строительство и архитектура. 1986. № 8. С. 5–9.
6. Мальцов К.А. Физический смысл условного предела прочности бетона на растяжение при изгибе // Бетон и железобетон. 1958. № 3. С. 107–111.
7. Адищев В.В., Демешкин А.Г., Родт В.В. Экспериментальное исследование процесса возникновения трещин нормального отрыва в изгибаемых армированных элементах // Изв. вузов. Строительство. 2012. № 3. С. 119–126.
8. Митасов В.М., Адищев В.В. Основные положения энергетической теории сопротивления железобетона // Изв. вузов. Строительство. 2010. № 6. С. 3–7.
9. Адищев В.В., Митасов В.М., Бerezina Э.В., Ершова Н.В., Сергуниничева Е.М. Определение коэффициента трансформации эталонной диаграммы деформирования бетона растянутой зоны при изгибе в стадии предразрушения // Изв. вузов. Строительство. 2008. № 1. С. 85–91.

Адищев Владимир Васильевич, д-р техн. наук, проф.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)
Мальцев Виктор Васильевич, асп.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено после доработки 03.03.17

Adishchev Vladimir Vasil'evich, DSc, Professor

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Mal'tsev Viktor Vasil'evich, Post-graduate Student

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

DEFINITION OF STRESS-DEFORMED STATE IN REINFORCED BEAMS OF HOMOGENEOUS CELLULAR MATERIAL BY THE NUMERICAL-ANALYTICAL METHOD

The previously developed numerical-analytical method is used to determine the deflections of a reinforced concrete beam using non-linear diagrams of concrete deformation. Uses a single approach to the construction of approximations of deformation diagrams of concrete and reinforcement, by means of approximations of the curvature function, the distribution function the height of the compressed zone. In the present work, this method was used to treat experimental data obtained by testing flexural elements with different schemes reinforcement of a homogeneous porous material reinforced duraluminium. An analysis of the theoretical results obtained showed that the application of the numerically analytical method adequately describes the stress-strain state in the reinforced bent elements until the moment of crack formation.

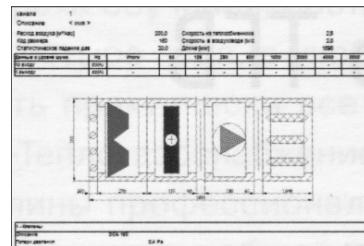
K e y w o r d s: numerically-analytical method, the physical nonlinearity, charts of deformation, stress-strain state, percentage of reinforcement, homogeneous cellular material.

REFERENCES

1. A d i s h c h e v V.V., M a l ' t s e v V.V. Chislenno-analiticheskiy metod opredeleniya progibov zhelezobetonnoy balki s primeneniem real'noy nelineynoy diagrammy deformirovaniya betona [The numerical-analytical method for determining the deflection of reinforced concrete beams with use real nonlinear stress-strain charts of concrete]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2016. No. 9. Pp. 5–17. (in Russian)
2. K o t o v A.A. Napryazheno-deformirovannoe sostoyanie zhelezobetonnoy balki v sechenii s treshchinoy pri chistom izgibe [Stress-strain state of a reinforced concrete beam in a section with a crack in pure bending]. Issledovaniya po mekhanike stroitel'nykh konstruktsiy i materialov [Studies in the mechanics of building structures and materials]. Leningrad, 1982. Pp. 118–123. (in Russian)
3. L e m y s h L.N. Raschet zhelezobetonnykh konstruktsiy po deformatsiyam i nesushchey sposobnosti s uchetom polnykh diagramm deformirovaniya betona i armatury [Calculation of reinforced concrete structures on the deformation and load-bearing capacity, taking into account the full diagrams of concrete and reinforcement strain]. Zhelezobetonnye konstruktsii promyshlennyykh zdaniy [Ferroconcrete constructions of industrial buildings]. Moscow, TSNIIPromzdaniya, 1984. Pp. 74–89. (in Russian)
4. L e n ' s h i n V.P. K voprosu razrabotki i ispol'zovaniya modeley deformirovaniya zhelezobetonnykh konstruktsiy s treshchinami [On the issue of development and usage patterns of deformation of reinforced concrete structures with cracks]. Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy [Construction mechanics and design of structures]. 1980. No. 6. Pp. 34–36. (in Russian)
5. L u c h k o I.I., K a p e l y u z h n y y V.V. Treshchinostoykost' zhelezobetonnykh izgibaemykh elementov pri vysokom urovne nagruzheniya kratkovremennoy i dlitel'noy nagruzkoj [Fracture resistance of reinforced concrete bending elements at a high loading level with short-term and long-term loading]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura [News of Higher Educational Institutions. Construction and architecture]. 1986. No. 8. Pp. 5–9. (in Russian)
6. M a l ' t s o v K.A. Fizicheskiy smysl uslovnogo predela prochnosti betona na rastyazhenie pri izgibe [The physical meaning of the conditional tensile strength of

- concrete on stretching during bending]. Beton i zhelezobeton [Concrete and Reinforced Concrete]. 1958. No. 3. Pp. 107–111. (in Russian)
7. A d i s h c h e v V.V., D e m e s h k i n A.G., R o o t V.V. Eksperimental'noe issledovanie protsessa vozniknoveniya treshchin normal'nogo otryva v izgibaemykh armirovannykh elementakh [Experimental investigation process crack initiation normal fracture in the bent reinforced elements]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2012. No. 3. Pp. 119–126. (in Russian)
8. M i t a s o v V.M., A d i s h c h e v V.V. Osnovnye polozheniya energeticheskoy teorii sопротивлениya zhelezobetona [Main regulations of energy theory of reinforced concrete strength]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2010. No. 6. Pp. 3–7. (in Russian)
9. A d i s h c h e v V.V., M i t a s o v V.M., B e r e z i n a E.V., E r s h o v a N.V., S e r g u n i c h e v a E.M. Opredelenie koefitsienta transformatsii etalonnoy diagrammy deformirovaniya betona rastyanutoy zony pri izgibe v stadii predrazrusheniya [Determination of the coefficient of transformation of the standard diagram of deformation of concrete in the stretched zone during bending in the prefraction stage]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2008. No. 1. Pp. 85–91. (in Russian)
-

ТЕОРИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ



УДК 624.016:539.3

Г.Л. ГОРЫНИН, В.А. СНИГИРЕВА

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТРУБОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ НЕЛИНЕЙНОГО ПОВЕДЕНИЯ БЕТОНА

В традиционных трубобетонных конструкциях происходит нарушение совместной работы стали и бетона вследствие растяжения бетона трубой в радиальном направлении, что является главным неизлечимым недостатком таких конструкций. Предложена конструкция трубобетонной стойки, в которой реализуется всестороннее обжатие бетона. Рассмотрен полученный закон пространственного напряженно-деформированного состояния бетонного ядра трубобетонной конструкции с учетом нелинейности деформирования бетона. Представлены формулы пространственного расчета бетонной стойки в стальной обойме с учетом нелинейности диаграммы деформирования бетона. Показано, что учет нелинейности диаграммы деформирования бетона приводит к увеличению расчетной несущей способности бетонной стойки в стальной обойме на 16–89 % в зависимости от толщины стенки трубы.

Ключевые слова: трубобетонные конструкции, всестороннее обжатие бетона, бетонная колонна в стальной обойме, нелинейная диаграмма деформирования бетона.

Трубобетонные конструкции, как правило, представляют собой стальные трубы, заполненные бетоном (образующим внутреннее ядро) [1].

Данные конструкции находят применение в основном в качестве свай, колонн, элементов ферм. По мнению многих авторов, главным достоинством трубобетонных конструкций является повышение несущей способности бетона вследствие действия реактивного бокового давления на бетон со стороны трубы [1–7].

1. Проблемы применения трубобетонных конструкций. В работе [8] авторами подробно рассмотрено современное состояние проблемы расчета трубобетонных конструкций с металлической оболочкой. Отмечается, что активное применение трубобетонных конструкций сдерживается отсутствием методики по их расчету. Данная проблема широко обсуждалась начиная с первой половины XX в. При этом в разное время высказывались разные мнения о работе трубобетонных конструкций под нагрузкой. Многие экспериментаторы наблюдали, что несущая способность трубобетонных стоек

повышается в сравнении с независимым нагружением стальной трубы и бетонной колонны, объясняя это упрочнением бетонного ядра вследствие наличия обжатия [1–5]. Однако существовал и иной взгляд относительно характера работы трубобетонных стоек под нагрузкой, высказанный канд. техн. наук Н.Ф. Скворцовым [9]. Он ставит под сомнение наличие обжатия бетона трубой, так как коэффициент Пуассона бетона, по его мнению, никогда не может быть выше коэффициента Пуассона стали, а потому и поперечные деформации бетона всегда отстают от поперечных деформаций стальной трубы, а значит бетон не получает обжатия. Факт повышения несущей способности сжимаемого элемента, наблюдаемый экспериментаторами, Н.Ф. Скворцов объясняет влиянием сил трения, возникающих по поверхности контакта опорных плит испытательных машин и торцов испытываемых коротких образцов, сдерживающих поперечные деформации стальных труб. Действительно, экспериментальные исследования длинных образцов свидетельствуют об отрыве стальной трубы от бетонного ядра, как это имело место при эксплуатации трубобетонного моста через р. Исеть [6]. Выдвинутые Н.Ф. Скворцовом доводы о работе трубобетона не были поддержаны большинством авторов [5]. В 1991 г. вышла книга д-ра техн. наук Л.И. Стороженко «Расчет трубобетонных конструкций», в которой изложена попытка рассмотрения задачи о сжатии трубобетонной стойки как пространственной задачи теории упругости [4]. Однако в данной работе на с. 49 допущена математическая ошибка в выкладках, на основе которых автор сделал неверный вывод о том, что разность коэффициентов Пуассона бетона и стали «независимо от знака увеличивает жесткость составного бруса, приближает работу бетонного ядра к условиям всестороннего сжатия». На труды Л.И. Стороженко ссылаются многие ведущие исследователи [1, 6, 7], однако вследствие наличия ошибки вышеупомянутая работа не способствует прояснению вопроса о пространственной работе трубобетонных конструкций.

Попытки расчета трубобетонных конструкций в основном базируются на рассмотрении одноосного напряженно-деформированного состояния. При этом несущая способность центрально-сжатого трубобетонного элемента определяется по формуле [8]

$$N = (c \cdot R_b + d) \cdot F_b + \alpha \cdot F_s \cdot R_s, \quad (1)$$

где R_b , R_s – расчетные сопротивления осевому сжатию бетона и стали; F_b , F_s – площади поперечных сечений бетонного ядра и стальной оболочки; c , d , α – коэффициенты, определяемые опытным путем либо принимаемые постоянными.

На основании проведенных за весь период изучения и применения трубобетона многочисленных экспериментов по исследованию его несущей способности оценены пределы изменения коэффициентов c , d и α для различных геометрических и механических характеристик стальных труб и бетонов, что позволило сформулировать практические рекомендации по их расчету [1–3, 7]. Однако из-за эмпиричности подхода, положенного в основу данного метода расчета, эти рекомендации и формулы имеют ограниченную область применения и не могут быть распространены на все многообразие используемых строительных материалов и конструкций. Уточнение

эмпирических коэффициентов требует проведения новых обширных и трудоемких экспериментов. Это обусловлено тем, что эмпирическая зависимость (1) не отражает пространственную работу трубобетона.

Выполненный И.И. Овчинниковым, И.Г. Овчинниковым, Г.В. Чесноковым и Е.С. Михалдыкиным анализ существующих методик расчета трубобетонных конструкций показал, что «до сих пор нет надежной и приемлемой для практического использования расчетной модели трубобетонного сечения в предельном состоянии» [8]. Поэтому « дальнейшие исследования в этой области необходимы, полезны и перспективны», так как в существующих методиках не учитывается толщина стенки трубы, силы взаимодействия бетона и стали. Существующие методики требуют также проведения уточняющих экспериментальных исследований.

2. Моделирование напряженно-деформированного состояния бетона в нелинейном случае. Моделирование напряженно-деформированного состояния бетона в общем случае является сложной задачей, что связано с присущей бетону нелинейностью деформирования. К тому же в составе трубобетонных конструкций для бетона характерно сложное пространственное напряженно-деформированное состояние вследствие взаимодействия со стальной оболочкой. Считаем, что трубобетонный стержень находится под действием осевой сжимающей силы P . Предполагается, что при этом напряженно-деформированное состояние конструкции обладает осевой симметрией, и продольные перемещения W зависят только от координаты z , а радиальные перемещения U – от r , где z, θ, r – цилиндрическая система координат (рис. 1). В этом случае возникают нормальные напряжения $\sigma_{rr}, \sigma_{\theta\theta}, \sigma_{zz}$, а касательные напряжения отсутствуют.

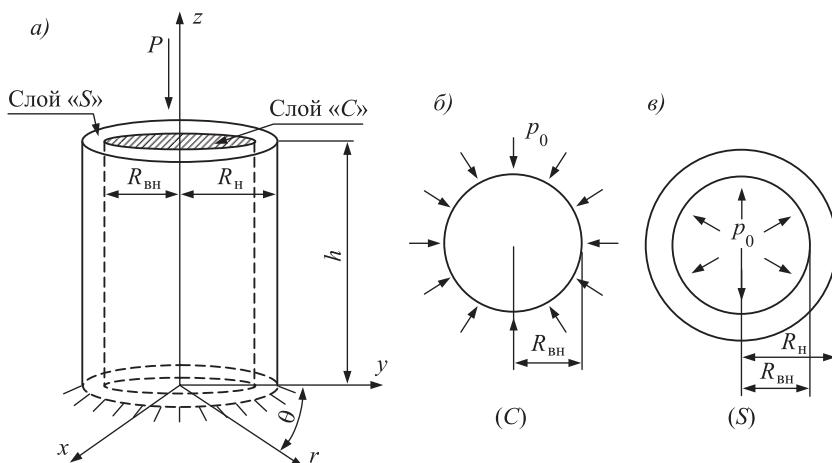


Рис. 1. Расчетная схема

а – трубобетонная стойка; б – сечение бетонного ядра стойки; в – сечение стальной оболочки стойки

Для учета нелинейности деформирования бетона в качестве диаграммы состояния, определяющей связь между напряжениями и деформациями, используем трехлинейную диаграмму (см. рис. 2), описывающую одноосное напряженно-деформированное состояние, согласно СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуали-

зированная редакция СНиП 52-01-2003». Какие-либо рекомендации по описанию пространственного напряженно-деформированного состояния бетона в СП отсутствуют. Рассмотрим предлагаемую трехлинейную диаграмму одноосного сжатия бетона (см. рис. 2):

- при $\sigma < \sigma^* = 0,6R_b$: $\sigma = E\varepsilon$ (участок 0–1);
 при $0,6R_b \leq \sigma < R_b$: $\sigma = \sigma^* + \Delta\sigma$ (участок 1–2), где $\Delta\sigma$ – приращение напряжений, R_b – расчетное сопротивление бетона одноосному сжатию.

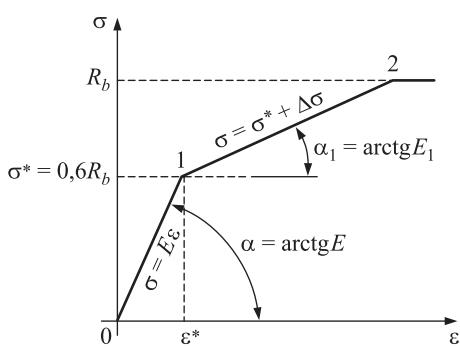


Рис. 2. Трехлинейная диаграмма деформирования бетона при одноосном сжатии (напряжения и деформации используются без учета знака)

Случай 1: $\sigma_{zz} < 0,6R_b$ (участок 0–1); или случай 2: $0,6R_b \leq \sigma_{zz} < R_b$ (участок 1–2).

На начальной стадии (случай 1) все компоненты тензора напряжений σ_{rr} , $\sigma_{\theta\theta}$, σ_{zz} линейно зависят от деформаций, т.е. справедлив закон Гука [10] (см. рис. 2):

$$\begin{aligned}\sigma_{rr} &= \frac{E}{(1-2\nu)(1+\nu)} [(1-\nu)\varepsilon_{rr} + \nu\varepsilon_{zz} + \nu\varepsilon_{\theta\theta}]; \\ \sigma_{zz} &= \frac{E}{(1-2\nu)(1+\nu)} [(1-\nu)\varepsilon_{zz} + \nu\varepsilon_{rr} + \nu\varepsilon_{\theta\theta}]; \\ \sigma_{\theta\theta} &= \frac{E}{(1-2\nu)(1+\nu)} [(1-\nu)\varepsilon_{\theta\theta} + \nu\varepsilon_{rr} + \nu\varepsilon_{zz}],\end{aligned}\quad (2)$$

где E , ν – модуль Юнга и коэффициент Пуассона бетона, когда величины напряжений соответствуют участку 0–1 диаграммы.

Случай 2. При таком состоянии напряжения и деформации в бетоне представляем как:

$$\begin{aligned}\sigma_{rr} &= \sigma_{rr}^* + \Delta\sigma_{rr}; \quad \sigma_{\theta\theta} = \sigma_{\theta\theta}^* + \Delta\sigma_{\theta\theta}; \quad \sigma_{zz} = \sigma_{zz}^* + \Delta\sigma_{zz}; \\ \varepsilon_{zz} &= \varepsilon_{zz}^* + \Delta\varepsilon_{zz}; \quad \varepsilon_{rr} = \varepsilon_{rr}^* + \Delta\varepsilon_{rr}; \quad \varepsilon_{\theta\theta} = \varepsilon_{\theta\theta}^* + \Delta\varepsilon_{\theta\theta},\end{aligned}\quad (3)$$

где σ_{rr}^* , $\sigma_{\theta\theta}^*$, σ_{zz}^* , ε_{rr}^* , $\varepsilon_{\theta\theta}^*$ – значения напряжений и деформаций при $\sigma_{zz} = 0,6R_b$; $\Delta\sigma_{rr}$, $\Delta\sigma_{\theta\theta}$, $\Delta\sigma_{zz}$, ε_{zz} , $\Delta\varepsilon_{rr}$, $\Delta\varepsilon_{\theta\theta}$ – приращения напряжений и деформаций.

Сделаем естественное предположение, что напряжения в радиальном и тангенциальном направлениях бетонного ядра трубобетонной стойки существенно меньше осевых напряжений. Поэтому одноосные напряженно-деформированные состояния при действии радиальных и тангенциальных напряжений по отдельности всегда соответствуют участку 0–1 диаграммы ($\sigma < 0,6R_b$) (см. рис. 2), в то время как в направлении оси z возможны два случая одноосного напряженно-деформированного состояния.

Считаем, что приращения деформаций, вызванные одновременным действием радиальных, тангенциальных и осевых напряжений, являются суммой приращений деформаций, вызванных действием данных напряжений по отдельности. Тогда обобщенные соотношения приращений деформаций имеют вид:

$$\begin{aligned}\Delta \varepsilon_{rr} &= \frac{\Delta \sigma_{rr}}{E} - \nu \frac{\Delta \sigma_{\theta\theta}}{E} - \nu_1 \frac{\Delta \sigma_{zz}}{E_1}; \\ \Delta \varepsilon_{\theta\theta} &= -\nu \frac{\Delta \sigma_{rr}}{E} + \frac{\Delta \sigma_{\theta\theta}}{E} - \nu_1 \frac{\Delta \sigma_{zz}}{E_1}; \\ \Delta \varepsilon_{zz} &= -\nu_2 \frac{\Delta \sigma_{rr}}{E} - \nu_2 \frac{\Delta \sigma_{\theta\theta}}{E} + \frac{\Delta \sigma_{zz}}{E_1},\end{aligned}\quad (4)$$

где E , ν и E_1 , ν_1 – модуль Юнга и коэффициент Пуассона бетона, когда величины напряжений соответствуют участкам 0–1 или 0–2 диаграммы соответственно.

Соотношения (4) для приращений аналогичны закону Гука для ортотропного упругого тела, из симметрии матриц упругих констант следует выполнение соотношения [10]:

$$\frac{\nu_1}{E_1} = \frac{\nu_2}{E}. \quad (5)$$

Выразим приращения напряжений через приращения деформаций из формул (4), (5). Тогда равенства (3) и (6) представляют собой пространственный закон напряженно-деформированного состояния бетонного ядра трубобетонной стойки при $\sigma_{zz} \geq 0,6R_b$ (случай 2).

$$\begin{aligned}\Delta \sigma_{rr} &= \Delta \varepsilon_{rr} \left[\frac{E}{1-\nu^2} + \frac{E^2 \nu_1^2}{(1-\nu)(E_1(1-\nu)-2\nu_1^2 E)} \right] + \\ &+ \Delta \varepsilon_{\theta\theta} \left[\frac{Ev}{1-\nu^2} + \frac{E^2 \nu_1^2}{(1-\nu)(E_1(1-\nu)-2\nu_1^2 E)} \right] + \\ &+ \Delta \varepsilon_{zz} \frac{EE_1 \nu_1}{E_1(1-\nu)-2\nu_1^2 E}; \\ \Delta \sigma_{\theta\theta} &= \Delta \varepsilon_{\theta\theta} \left[\frac{E}{1-\nu^2} + \frac{E^2 \nu_1^2}{(1-\nu)(E_1(1-\nu)-2\nu_1^2 E)} \right] + \\ &+ \Delta \varepsilon_{rr} \left[\frac{Ev}{1-\nu^2} + \frac{E^2 \nu_1^2}{(1-\nu)(E_1(1-\nu)-2\nu_1^2 E)} \right] + \\ &+ \Delta \varepsilon_{zz} \frac{EE_1 \nu_1}{E_1(1-\nu)-2\nu_1^2 E}; \\ \Delta \sigma_{zz} &= \frac{E_1^2(1-\nu)}{E_1(1-\nu)-2\nu_1^2 E} \left[\Delta \varepsilon_{zz} + \frac{Ev_1}{E_1(1-\nu)} (\Delta \varepsilon_{rr} + \Delta \varepsilon_{\theta\theta}) \right].\end{aligned}\quad (6)$$

3. Традиционные трубобетонные конструкции. Представим решение задачи о сжатии трубобетонной стойки традиционной конструкции, которое уже было рассмотрено в [11, 12]. Попытка произвести расчет такой конструкции с позиции теории упругости предпринималась также Л.И. Стороженко, однако в выкладках была ошибка, о чем уже упоминалось ранее.

В силу осесимметричности задачи одно из уравнений равновесий выполняется тождественно, а остальные два упрощаются и имеют вид [10]:

$$\frac{\partial \sigma_{rr}}{\partial r} + \frac{\sigma_{rr} - \sigma_{\theta\theta}}{r} = 0, \quad \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} = 0. \quad (7)$$

В дальнейшем для обозначения физических величин, относящихся к стальной трубе, будем использовать верхний индекс «*S*» (steel), к бетону – верхний индекс «*C*» (concrete).

На стойку передается нагрузка *P* на все сечение, однако характер распределения нагрузки на стальную оболочку и бетонное ядро не известен, а на нижнем торце стойки отсутствуют продольные перемещения точек, что связано с жестким защемлением торца (см. рис. 1), поэтому краевые условия на торцах стойки имеют вид:

$$W = 0 \text{ (при } z = 0); \quad \int_F \sigma_{zz} dF = -P \text{ (при } z = h). \quad (8)$$

Считаем, что боковое давление на наружную цилиндрическую поверхность стальной трубы отсутствует. Тогда справедливо краевое условие на боковой поверхности (см. рис. 1):

$$\sigma_{rr}^S = 0 \text{ (при } r = R_h). \quad (9)$$

Для обеспечения совместной работы стальной трубы-оболочки и бетонного цилиндра необходимо выполнение условий сопряжения слоев:

$$\sigma_{rr}^C = \sigma_{rr}^S \text{ (при } r = R_{bh}), \quad U^C = U^S, \quad W^C = W^S. \quad (10)$$

Введем следующие обозначения:

p_0 – радиальное давление на контакте слоев (давление обжатия), тогда $\sigma_{rr}^C = \sigma_{rr}^S = -p_0$ (при $r = R_{bh}$); p^C, p^S – продольные (вдоль оси *z*) сжимающие давления на бетонное ядро и стальную обойму соответственно.

Напряженно-деформированное состояние материала трубы подчиняется обобщенному закону Гука (2).

Рассмотрим работу конструкции, когда напряженное состояние бетона соответствует случаю 1. Задача (2), (7)–(10) является задачей пространственной теории упругости в постановке Сен-Венана, решение задач такого типа рассмотрено в монографии [10]. Решения задач (2), (7)–(9) для стальной трубы и бетонного ядра по отдельности, с учетом первого равенства для напряжений (10) и без учета второго и третьего равенств имеет вид:

$$\begin{aligned} \sigma_{rr}^S &= \frac{p_0 \cdot R_{bh}^2 \cdot (r^2 - R_h^2)}{(R_h^2 - R_{bh}^2) \cdot r^2}; & \sigma_{rr}^C &= -p_0; \\ \sigma_{zz}^S &= -p^S; & \sigma_{zz}^C &= -p^C; \\ \sigma_{\theta\theta}^S &= \frac{p_0 \cdot R_{bh}^2 \cdot (r^2 + R_h^2)}{(R_h^2 - R_{bh}^2) \cdot r^2}. & \sigma_{\theta\theta}^C &= -p_0. \end{aligned} \quad (11)$$

Из учета второго и третьего равенств условий сопряжения слоев (10) и равенств (8) получаем решение задачи (2), (7)–(10):

$$\begin{aligned}
 p^C &= p_0 \cdot \left(\frac{(1-2v^C) \cdot (1+v^C)}{(v^C - v^S)} + 2 \cdot v^C + \right. \\
 &\quad \left. + \frac{E^C}{E^S} \cdot \frac{R_{\text{BH}}^2 \cdot (1-2v^S) \cdot (1+v^S) + R_{\text{H}}^2 \cdot (1+v^S)}{(v^C - v^S) \cdot (R_{\text{H}}^2 - R_{\text{BH}}^2)} \right), \\
 p^S &= p_0 \cdot \left(\frac{E^S}{E^C} \cdot \frac{(1-2v^C) \cdot (1+v^C)}{(v^C - v^S)} + \right. \\
 &\quad \left. + \frac{R_{\text{BH}}^2 \cdot (1-v^S) + R_{\text{H}}^2 \cdot (1+v^S) - 2 \cdot R_{\text{BH}}^2 \cdot v^S \cdot v^C}{(v^C - v^S) \cdot (R_{\text{H}}^2 - R_{\text{BH}}^2)} \right), \\
 p_0 &= P \cdot \frac{E^C \cdot E^S \cdot (v^C - v^S) \cdot (R_{\text{H}}^2 - R_{\text{BH}}^2)}{\alpha}, \tag{12}
 \end{aligned}$$

где $\alpha = \pi \cdot R_{\text{BH}}^2 \cdot E^C \cdot (E^S \cdot (1 - v^C - 2v^C v^S) \cdot (R_{\text{H}}^2 - R_{\text{BH}}^2) +$
 $+ E^C \cdot (1 + v^S) \cdot (R_{\text{BH}}^2 (1 - 2v^S) + R_{\text{H}}^2)) +$
 $+ \pi \cdot (R_{\text{H}}^2 - R_{\text{BH}}^2) E^S (E^S (1 - 2v^C) (1 + v^C) (R_{\text{H}}^2 - R_{\text{BH}}^2)) +$
 $+ E^C (R_{\text{BH}}^2 (1 - v^S - 2v^S v^C) + R_{\text{H}}^2 (1 + v^S)).$

Проанализируем полученные зависимости и сделаем основные выводы:

1. Согласно формуле (12), знак давления обжатия p_0 полностью определяется разностью коэффициентов Пуассона бетона и стали ($v^C - v^S$). 2. Коэффициент Пуассона бетона $v^C = 0,2$, стали $v^S = 0,3$ (согласно СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003» и СП 16.13330.2011 «Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*»), следовательно, давление обжатия $p_0 < 0$, а радиальные напряжения в бетонном ядре являются растягивающими (11), в связи с чем происходит отрыв бетонного сердечника от стальной трубы, а значит, совместная работа бетона и стали не реализуется, что является неизлечимым недостатком традиционных трубобетонных конструкций. Это обстоятельство также подтверждается при расчете традиционной конструкции с учетом нелинейного поведения бетона.

4. Бетонная стойка в стальной обойме. В связи с наличием существенного конструктивного недостатка у традиционных трубобетонных конструкций, о чём говорилось выше, в [12] авторами была предложена иная трубобетонная конструкция – бетонная стойка в стальной обойме. При применении данной конструкции внешняя нагрузка прикладывается только на бетонное ядро, а труба используется в качестве обоймы, при этом исключается совместная работа бетонного ядра и стальной трубы в продольном

направлении технологическими мерами, устраняющими адгезию бетона и стали.

Рассмотрим работу конструкции, когда напряженное состояние бетона соответствует случаю 1. Уравнения равновесия (7) и закон Гука (2) для каждого из бетона и стали, а также краевое условие на боковой поверхности (9) остаются справедливы в постановке рассматриваемой задачи, однако краевые условия на торцах (8) меняются, так как интегрирование ведется только по площади бетонного ядра, и принимают вид:

$$W = 0 \text{ (при } z = 0); \quad \int_{F^C} \sigma_{zz} dF = -P \text{ (при } z = h). \quad (13)$$

В данной конструкции отсутствует совместная работа бетонного ядра и стальной трубы в продольном направлении, а взаимодействие в поперечном направлении основывается на выполнении следующих условий сопряжения слоев:

$$\sigma_{rr}^c = \sigma_{rr}^S, \quad U^C = U^S \text{ (при } r = R_{\text{вн}}). \quad (14)$$

Задача (2), (7), (9), (13), (14) является задачей пространственной теории упругости в постановке Сен-Венана. Получаем решение задач (2), (7), (9), (13) для стальной трубы и бетонного ядра по отдельности с учетом того, что продольное давление передается только на бетон, а совместная работа слоев отсутствует (14):

$$\begin{aligned} \sigma_{rr}^S &= \frac{p_0 \cdot R_{\text{вн}}^2 \cdot (r^2 - R_{\text{вн}}^2)}{(R_{\text{вн}}^2 - R_{\text{вн}}^2) \cdot r^2}; \quad \sigma_{rr}^C = -p_0; \\ \sigma_{zz}^S &= p^S = 0; \quad \sigma_{zz}^C = -p^C = -\frac{P}{F^C}; \\ \sigma_{\theta\theta}^S &= \frac{p_0 \cdot R_{\text{вн}}^2 \cdot (r^2 + R_{\text{вн}}^2)}{(R_{\text{вн}}^2 - R_{\text{вн}}^2) \cdot r^2}. \quad \sigma_{\theta\theta}^C = -p_0. \end{aligned} \quad (15)$$

Равенства (15) получены только с использованием уравнений равновесия и не зависят от линейности или нелинейности деформирования бетона. От характера деформирования материалов зависит давление взаимодействия слоев p_0 .

Из учета условий сопряжения слоев (14) и равенств (13) получаем решение задачи (2), (7), (9), (13), (14), в которой напряженно-деформированное состояние бетона подчиняется закону (2) (случай 1):

$$p_0 = \frac{P}{\pi \cdot R_{\text{вн}}^2} \cdot \frac{E^S \cdot v^C \cdot (R_{\text{вн}}^2 - R_{\text{вн}}^2)}{\alpha}, \quad (16)$$

где $\alpha = E^C \cdot (R_{\text{вн}}^2 \cdot (1 - v^S) + R_{\text{вн}}^2 \cdot (1 + v^S)) + E^S \cdot (R_{\text{вн}}^2 - R_{\text{вн}}^2) \cdot (1 - v^C)$.

Из формулы (16) следует, что давление обжатия p_0 всегда является положительной величиной, следовательно, радиальные напряжения в бетонном ядре, согласно формуле (15), являются сжимающими, бетон находится в состоянии трехосного сжатия, что, как показывают опыты исследователей [13], оказывает положительное влияние на повышение прочности бетонного ядра.

Рассмотрим работу конструкции, когда напряженное состояние бетона соответствует случаю 2, т.е. с учетом нелинейности диаграммы деформирования бетона.

В дальнейшем для обозначения величин, относящихся к решению задачи с учетом нелинейности диаграммы деформирования бетона, будем использовать верхний индекс « н », а при рассмотрении деформирования бетона согласно линейному закону Гука – верхний индекс « л ».

Из учета условий сопряжения слоев (14) и решений, полученных для независимо работающих стальной обоймы и бетонного цилиндра (15), получаем решение нелинейной задачи (2), (3), (6), (7), (9), (13), (14), в которой напряженно-деформированное состояние бетона подчиняется закону (3), (6) (случай 2):

$$P_0^{\text{н}} = \left(\frac{P}{\pi R_{\text{bh}}^2} \cdot \frac{v_1^C}{E_1^C} + \frac{E^C v_1^C - E_1^C v^C}{E_1^C (1-2v^C)(1+v^C)} \cdot (v^C \varepsilon_{rr}^* + v^C \varepsilon_{\theta\theta}^* + (1-v^C) \varepsilon_{zz}^*) \right) \times \\ \times \frac{E^C E^S (R_{\text{h}}^2 - R_{\text{bh}}^2)}{E^S (1-v^C) (R_{\text{h}}^2 - R_{\text{bh}}^2) + E^C ((1-v^S) R_{\text{bh}}^2 + (1+v^S) R_{\text{h}}^2)}. \quad (17)$$

5. Повышение несущей способности бетона в условиях всестороннего сжатия. Проанализируем увеличение несущей способности бетонной стойки в стальной обойме за счет упрочнения бетонного ядра. Наиболее распространенной формой записи зависимости прочности бетона в условиях трехосного сжатия является формула, предложенная Ф. Рихардом, А. Брауном и А. Брандрагом [14]:

$$R_{b,3} = R_b + K \cdot p_0,$$

где $R_{b,3}$ – предел прочности бетона в обжатом состоянии;

R_b – предел приизменной прочности бетона;

p_0 – радиальные напряжения обжатия бетонного ядра стальной обоймой;

K – коэффициент упрочнения бетона ядра $K \approx 4$ [1].

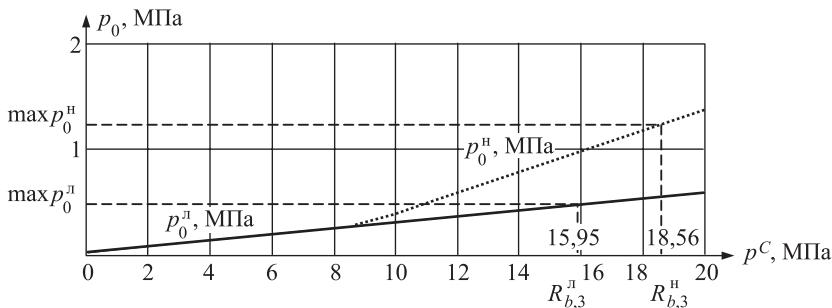
Таким образом, выражение для определения прочности бетона в условиях трехосного сжатия имеет вид:

$$R_{b,3} = R_b + 4 \cdot p_0.$$

6. Пример. Рассмотрим расчет трубобетонной стойки с учетом нелинейности диаграммы деформирования бетона (случай 2) и по линейной модели (случай 1). Принимаем $R_{\text{bh}} = 0,210$ м, задаемся разными толщинами стенки трубы. Деформационно-прочностные характеристики материалов принимаем согласно СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции». Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003» и СП 16.13330.2011 «Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*»: $E^C = 30\,000$ МПа, $E_1^C = 8571,4$ МПа, $v^C = 0,2$, $v_1^C = 0,2$, $R_b = 14,5$ МПа (бетон В 25) и $E^S = 206\,000$ МПа, $v^S = 0,3$ (сталь Ст3сп5). Результаты представлены в табл. 1, где Δ – приращение величины. Например, при толщине стенки 4 мм предельное значение $P_3^{\text{н}} = 2,56$ МН, $P_3^{\text{l}} = 2,2$ МН, а значения предельной прочности обжатого бетона $R_{b,3}^{\text{н}} = 18,56$ МПа, $R_{b,3}^{\text{l}} = 15,95$ МПа (рис. 3).

Таблица 1. Результаты расчетов при $v^C = v_1^C = 0,2$

Толщина стенки трубы, мм	$\frac{\Delta p_0^H}{\Delta p^C}$	$\frac{\Delta p_0^H}{\Delta p^C}$	$\frac{\max p_0^H}{\max p_0^N}$	$\frac{R_{b,3}^H}{R_b}$	$\frac{R_{b,3}^H}{R_b}$	$\frac{R_{b,3}^H}{R_{b,3}^N}$
4	0,02	0,08	2,69	1,10	1,28	1,16
4,5	0,03	0,09	2,81	1,12	1,33	1,19
5	0,03	0,10	2,96	1,13	1,38	1,22
10	0,05	0,18	5,41	1,25	2,36	1,89

Рис. 3. График зависимости радиального давления обжатия от осевого сжимающего давления на бетон при $v^C = v_1^C = 0,2$ и толщине стенки трубы 4 мм

Согласно результатам расчета (табл. 2) и представленному графику (см. рис. 3) расчет по линейной модели, т.е. без учета нелинейности деформирования бетона, приводит к занижению расчетного давления обжатия бетона и, как следствие, к занижению расчетной несущей способности конструкции в целом.

Известно, что коэффициент Пуассона бетона является переменной величиной, возрастающей при увеличении нагрузки на бетон [5, 13]. Результаты расчетов с представленными выше исходными данными, но с учетом возрастания коэффициента Пуассона бетона $v_1^C = 0,25$ представлены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты расчетов при $v^C = 0,2$; $v_1^C = 0,25$

Толщина стенки трубы, мм	$\frac{\Delta p_0^H}{\Delta p^C}$	$\frac{\Delta p_0^H}{\Delta p^C}$	$\frac{\max p_0^H}{\max p_0^N}$	$\frac{R_{b,3}^H}{R_b}$	$\frac{R_{b,3}^H}{R_b}$	$\frac{R_{b,3}^H}{R_{b,3}^N}$
4	0,02	0,10	3,60	1,10	1,37	1,24
4,5	0,03	0,11	3,86	1,12	1,45	1,30
5	0,03	0,12	4,15	1,13	1,53	1,36
10	0,05	0,22	15,67	1,25	4,95	3,95

Из сравнения результатов, представленных в табл. 1, 2, видно, что при учете возрастания коэффициента Пуассона бетона значение расчетной несущей способности бетонного ядра выше, чем при расчете с неизменным коэффициентом.

Выводы. 1. Предложен закон, описывающий пространственное напряженно-деформированное состояние бетонного ядра трубобетонной конструкции с учетом нелинейности деформирования бетона.

2. Получено аналитическое решение задачи о сжатии трубобетонной стойки с учетом нелинейного поведения бетона.

3. Учет нелинейности диаграммы деформирования бетона приводит к увеличению расчетной несущей способности бетонной стойки в стальной обойме на 16–89 % в зависимости от толщины стенки трубы.

4. При учете переменности коэффициента Пуассона бетона расчетная несущая способность бетонной стойки в стальной обойме существенно возрастает.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кикин А.И., Санжаровский Р.С., Труль В.А. Конструкции из стальных труб, заполненных бетоном. М.: Стройиздат, 1974. 144 с.
2. Передерий Г.П. Трубчатая арматура. М.: Трансжелдориздат, 1945. 127 с.
3. Гвоздев А.А. Расчет несущей способности конструкций по методу предельного равновесия. М.: Госстройиздат, 1949. 280 с.
4. Стороженко Л.И., Плахотный П.И., Черный А.Я. Расчет трубобетонных конструкций. Киев: Будивельник, 1991. 120 с.
5. Маренин В.Ф. Исследование прочности стальных труб, заполненных бетоном, при осевом сжатии: дис. ... канд. техн. наук. М., 1959. 158 с.
6. Кришан А.Л. Прочность трубобетонных колонн с предварительно обжатым ядром: дис. ... д-ра техн. наук. Магнитогорск, 2011. 380 с.
7. Резван И.В. Трубобетонные колонны из высокопрочного самоуплотняющегося напрягающего бетона: дис. ... канд. техн. наук. Ростов-на/Д, 2012. 203 с.
8. Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Чесноков Г.В., Михалдыкин Е.С. О проблеме расчета трубобетонных конструкций с оболочкой из разных материалов. Ч. 2. Расчет трубобетонных конструкций с металлической оболочкой // Интернет-журнал «Науковедение». 2015. Т. 7. № 4.
9. Скворцов Н.Ф. Прочность сталетрубобетона: дис. ... д-ра техн. наук. М., 1953. 453 с.
10. Горынин Г.Л. Пространственные задачи деформирования слоистых анизотропных конструкций: монография. Ханты-Мансийск: Полиграфист, 2008. 262 с.
11. Горынин Г.Л., Снигирева В.А. Напряженно-деформированное состояние трубобетонных конструкций при малых нагрузках // Материалы IX Всерос. науч.-техн. конф. «Актуальные вопросы строительства». Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2016. С. 3–8.
12. Горынин Г.Л., Снигирева В.А. Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния трубобетонных конструкций // Вестн. кибернетики. Сургут: Изд-во СурГУ, 2016. № 1(21). С. 29–37.
13. Берг О.Я., Соломенцев Г.Г. Исследование напряженного и деформированного состояния бетона при трехосном сжатии // Тр. Всесоюз. НИИ транспорта, строительства. М., 1969. Вып. 70. С. 106–123.
14. Richart F., Brown A., Brandaeg A. A study of failure of concrete under combined compressive stresses. University Illinois, Eng. Exper. Station. 1928. Bull. No. 185. 105 p.

Горынин Глеб Леонидович, д-р физ.-мат. наук, проф.
Сургутский государственный университет

Снигирева Вера Алексеевна, асп.

Сургутский государственный университет

Получено 17.03.17

Gorynin Gleb Leonidovich, DSc, Professor

Surgut State University, Russia

Snigireva Vera Alekseevna, Post-graduate Student

Surgut State University, Russia

MATHEMATICAL MODELING OF THE STRESS-STRAIN STATE OF CONCRETE-FILLED STEEL TUBE STRUCTURES CONSIDERING THE NON-LINEAR CONCRETE BEHAVIOR

When loading traditional concrete-filled steel tube structures, steel tube break contact with concrete due to expansion of the concrete is less of the steel tube in radial direction, this is the main incurable disadvantage of such constructions. The article proposes the construction of a concrete-filled steel tube, under the loading of which a comprehensive compression of concrete is realized. The paper presents analytical dependencies for three-dimensional the stress-strain state of concrete filled steel tube considering the non-linear concrete behavior. The article contains the formulas for the three-dimensional model of a concrete column in a steel cage considering nonlinearity of concrete deformation diagram. It is concluded that taking into account the nonlinearity of the concrete deformation diagram leads to an increase in the calculated load-bearing capacity of the concrete column in the steel cage by 16–89 %, depending on the wall thickness of the tube.

K e y w o r d s: concrete-filled steel tube structures, a comprehensive reduction of concrete, concrete column in steel cage, non-linear diagram of concrete deformation.

REFERENCES

1. Kikin A.I., Sanzharovskiy R.S., Trul' V.A. Konstruktsii iz stal'nykh trub, zapolnennykh betonom [Concrete-filled steel tube structures]. Moscow, Stroyizdat, 1974. 144 p. (in Russian)
2. Perederiy G.P. Trubchataya armatura [Tubular armature]. Moscow, Transzheldorizdat, 1945. 127 p. (in Russian)
3. Gvozdев A.A. Raschet nesushchey sposobnosti konstruktsiy po metodu predel'nogo ravnovesiya [Calculation of load-bearing capacity of structures using the method of limiting equilibrium]. Moscow, Gosstroyizdat, 1949. 280 p. (in Russian)
4. Storozhenko L.I., Plahotnyy P.I., Chernyy A.Ya. Raschet trubobetonnykh konstruktsiy [Calculation of concrete-filled steel tube structures]. Kiev, Budivel'nik, 1991. 120 p. (in Russian)
5. Marenin V.F. Issledovanie prochnosti stal'nykh trub, zapolnennykh betonom, pri osevom szhatii: dis. ... kand. tekhn. nauk [Investigation of the strength of concrete-filled steel tube structures under axial compression: author. dis. ... PhD]. Moscow, 1959. 158 p. (in Russian)
6. Krishnan A.L. Prochnost' trubobetonnykh kolonn s predvaritel'no obzhatym yadrom: dis. ... d-ra tekhn. nauk [Strength of pre-compressed core concrete-filled steel tube columns: author. dis. ... DSc]. Magnitogorsk, 2011. 380 p. (in Russian)
7. Rezvan I.V. Trubobetonnye kolonny iz vysokoprochnogo samouplotnyayushchegosya napryagayushchego betona: dis. ... kand. tekhn. nauk [Concrete-filled steel tube columns made of high-strength self-compacting tensile concrete: author. dis. ... PhD]. Rostov-on-Don, 2012. 203 p. (in Russian)

8. Ovchinnikov I.I., Ovchinnikov I.G., Chесnokov G.V., Mihaldykin E.S. O probleme rascheta trubobetonnykh konstruktsiy s obolochkoy iz raznykh materialov. Chast' 2. Raschet trubobetonnykh konstruktsiy s metallicheskoy obolochkoy [About the problem of calculating concrete-filled steel tube structures with a membrane of different materials. Part 2. Calculation of concrete-filled steel tube structures with a metal membrane]. Online Magazine «Naukovedenie». 2015. Vol. 7. No. 4. (in Russian)
 9. Skvortsov N.F. Prochnost' staletrubobetona: dis. ... d-ra tekhn. nauk [Strength of concrete-filled steel tube structures: author. dis. ... DSc]. Moscow, 1953. 453 p. (in Russian)
 10. Gorynin G.L. Prostranstvennye zadachi deformirovaniya sloistykh anizotropnykh konstruktsiy: monografiya [Three-dimensional problems about deformation of layered anisotropic structures: monograph]. Khanty-Mansiysk: Poligrafist, 2008. 262 p. (in Russian)
 11. Gorynin G.L., Snigireva V.A. Napryazhennno-deformirovannoe sostoyanie trubobetonnykh konstruktsiy pri malykh nagruzkakh [Stress-strain state of concrete-filled steel tube structures at low loads]. Materialy IX Vserossiiskoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii «Aktual'nye voprosy stroitel'stva» [Materials of the IX All-Russian Scientific and Technical Conference «Actual Issues of Construction】. Novosibirsk, NSUACE (Sibstrin), 2016. Pp. 3–8. (in Russian)
 12. Gorynin G.L., Snigireva V.A. Matematicheskoe modelirovaniye napryazhennno-deformirovannogo sostoyaniya trubobetonnykh konstruktsiy [Mathematical modeling of stress-strain state in concrete-filled steel tube structures]. Vestnik kibernetiki [Proceeding in Cybernetics]. Surgut, SurgSU, 2016. No. 1(21). Pp. 29–37. (in Russian)
 13. Berg O.Ya., Solomentsev G.G. Issledovanie napryazhennogo i deformirovannogo sostoyaniya betona pri trekhosnom szhatii [Investigation of strained and deformed state of concrete under triaxial compression]. Trudy Vsesoyuznogo NII transporta, stroitel'stva [Proceedings of the All-Union Research Institute of transport, construction]. Moscow, 1969. Issue 70. Pp. 106–123. (in Russian)
 14. Richart F., Brown A., Brandraeg A. A study of failure of concrete under combined compressive stresses. University Illinois, Eng. Exper. Station. 1928. Bull. No. 185. P. 105.
-

САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА



УДК 697.9:536.1.004:8

О.Д. САМАРИН

ОСОБЕННОСТИ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ ВЫТЯЖНОГО ВОЗДУХА ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ И БОЛЬШОМ ЧИСЛЕ ВЫТЯЖНЫХ СИСТЕМ

Рассмотрен предполагаемый энергетический эффект от применения утилизации теплоты вытяжного воздуха в системах механической вентиляции и кондиционирования воздуха по схеме с промежуточным теплоносителем в случае, когда охладители-utiлизаторы нескольких вытяжных систем обслуживают один приточный агрегат. Выполнен расчет температурной эффективности устанавливаемого в системе теплообменного оборудования по безразмерным параметрам через число единиц переноса теплоты при оптимальной противоточной схеме движения теплоносителя для нескольких вариантов конструкции, применяемых в схеме теплообменных аппаратов с различной поверхностью теплообмена. Данна оценка полученных результатов и показано, что рассматриваемый вариант схемы позволяет добиться эффективности, близкой к принципиально достижимой для используемого способа теплоутилизации, а технические и расчетные сложности не являются препятствием для применения в практике массового проектирования.

Ключевые слова: энергосбережение, теплоутилизация, теплообменник, температурная эффективность.

Вопросы энергосбережения в зданиях в настоящее время являются весьма актуальными и рассматриваются в многочисленных работах ряда авторов как отечественных, так и зарубежных, например [1–7]. При этом одним из наиболее эффективных, малозатратных и быстроокупаемых мероприятий по снижению энергопотребления общественных и промышленных, а в ряде случаев и жилых зданий является утилизация теплоты вытяжного воздуха в системах механической вентиляции и кондиционирования воздуха (В и КВ) [8]. Особенно это становится актуальным в последнее время, в связи с введением в действие СП 50.13330.2012 «Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 “Тепловая защита зданий”», поскольку в данном документе предусмотрен учет наличия теплоутилизации при расчете годового расхода энергии на отопление и вентиляцию. Поэтому при определенных условиях за счет реализации такого решения удается либо повысить класс энергосбере-

жения проектируемого объекта, либо при одном и том же классе добиться сокращения приведенного сопротивления теплопередаче несветопрозрачных наружных ограждений. Это также является весьма существенным, поскольку именно дополнительная теплоизоляция оказывается самым дорогостоящим из возможных энергосберегающих мероприятий.

Однако наибольшая эффективность утилизации теплоты достигается при равенстве расходов приточного и вытяжного воздуха в оборудованных теплоутилизатором системах В и КВ. Но обеспечить такое равенство не всегда представляется возможным, в первую очередь потому, что во многих случаях вытяжные системы обслуживаются более ограниченный круг помещений, чем соответствующие приточные. Это связано с выполнением санитарно-гигиенических требований, в соответствии с которыми ряд помещений, например, санитарные узлы, кухни, лаборатории и т.д., характеризующиеся поступлением вредных веществ и бактерий, требуют индивидуальной вытяжки. Таким образом, как правило, количество вытяжных систем оказывается больше, чем приточных, а их воздухопроизводительность соответственно меньше.

Тем не менее преодолеть данную трудность в определенной степени можно, если использовать схему теплоутилизации с промежуточным теплоносителем. Ее основное преимущество в данном случае заключается в том, что в отличие от других способов утилизации теплоты она не требует объединения приточной и вытяжной установок в единый агрегат. Поэтому утилизационные теплообменники могут быть рассчитаны вместе со всей установкой на разные расходы воздуха, а главное, несколько теплообменников, расположенных в различных вытяжных установках и извлекающих теплоту из нескольких потоков воздуха, могут быть подключены к одному калориферу-utiлизатору в приточном агрегате. Таким образом, будет обеспечено требуемое равенство суммарного расхода вытяжки расходу притока. Изображение рассматриваемой схемы приведено на рисунке.

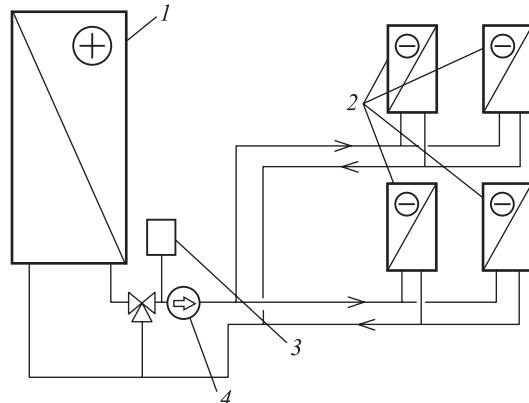


Схема теплоутилизации с промежуточным теплоносителем, обслуживающая несколько вытяжных систем при одной приточной
 1 – калорифер-utiлизатор; 2 – охладители-utiлизаторы; 3 – расширительный бачок; 4 – циркуляционный насос

Оценку суммарной температурной эффективности теплоутилизации можно провести с использованием известного соотношения, базирующегося на использовании безразмерных параметров, и справедливого для наиболее часто встречающейся противоточной схемы движения теплоносителей¹

¹ Теория тепломассообмена / Под ред. А.И. Леонтьева. М.: Изд-во МГТУ, 1997. 684 с.

$$k_y = \frac{1 - \exp(NTU_{\min} - NTU_{\max})}{1 - \frac{NTU_{\min}}{NTU_{\max}} \exp(NTU_{\min} - NTU_{\max})}. \quad (1)$$

Поскольку в применяемой схеме присутствуют несколько охладителей-utiлизаторов в вытяжных установках и лишь один калорифер-utiлизатор в приточной, целесообразно вначале вычислить с помощью (1) значения k_y для всех охладителей и затем определить суммарное количество утилизируемой теплоты $Q_{\text{ут}}$. После этого общий коэффициент температурной эффективности схемы будет равен отношению $Q_{\text{ут}}$ к требуемой тепловой мощности для подогрева притока.

В формуле (1) параметры NTU_{\max} и NTU_{\min} обозначают соответственно большее и меньшее из безразмерных чисел единиц переноса теплоты для греющего и нагреваемого потоков.

Для воздуха

$$NTU_{\text{в}} = \frac{3600 \cdot KF}{L_y c \rho} = \frac{3 \cdot KF}{L_y},$$

где K – коэффициент теплопередачи теплообменника, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;
 F – его поверхность теплообмена, м^2 , принимаемые по характеристикам соответствующего оборудования;
 L_y – воздухопроизводительность вытяжной установки с рассматриваемым теплообменником, $\text{м}^3/\text{ч}$; $c = 1005 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ и $\rho = 1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$ – соответственно удельная теплоемкость и плотность воздуха.

С использованием данных ООО «Веза» величину K можно определить по выражению

$$K = 21 \cdot (\nu \rho)_{\text{в}}^{0,37} \cdot w^{0,18}, \quad (2)$$

где $(\nu \rho)_{\text{в}}$ – массовая скорость воздуха в геометрическом сечении теплообменника, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$;

w – скорость промежуточного теплоносителя (в данном случае антифриза), $\text{м}/\text{с}$, определяемые исходя из L_y , геометрического сечения теплообменника для прохода воздуха f_r , м^2 , расхода антифриза G_w , $\text{кг}/\text{с}$, и сечения для прохода теплоносителя f_w , м^2 . Параметры f_r и f_w принимаются в зависимости от типоразмера установки по данным производителя. Для вычисления w расход антифриза выбирается при проектном ориентировочном значении $k_{\phi} = 0,5$ и значениях температур антифриза на входе в теплоutiлизатор $T_1 = -6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ и на выходе $T_2 = +2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ [9].

Для промежуточного теплоносителя

$$NTU_w = \frac{KF}{G_w c_w},$$

где $c_w = 3400 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ – удельная теплоемкость теплоносителя, средняя для антифриза по имеющимся сведениям из различных источников. Формула (1) дает величину k_{ϕ} по тому теплоносителю, для которого NTU больше.

Если оказывается, что $NTU_{\text{в}} < NTU_w$, находим эквивалентный коэффициент k по воздуху пересчетом на соответствующее соотношение NTU :

$$k = k_y \frac{NTU_{\min}}{NTU_{\max}}.$$

Количество утилизируемой при этом теплоты для каждого охладителя-utiлизатора можно вычислить по формуле

$$Q_{\text{ут}} = L_y c \rho (t_y - T_1) k_{\text{эф}} / 3600, \quad (3)$$

где t_y – начальная температура удаляемого воздуха, °С.

Теперь общий коэффициент температурной эффективности по притоку в соответствии с тепловым балансом системы

$$k_{\text{эф.п}} = \frac{3600 \Sigma Q_{\text{ут}}}{L_{\text{п}} c \rho (t_{\text{п}} - t_{\text{н}})}, \quad (4)$$

где $L_{\text{п}}$ – воздухопроизводительность приточной установки, присоединенной к рассматриваемой системе теплоутилизации, м³/ч;

$t_{\text{п}}$ – температура притока, °С;

$t_{\text{н}}$ – расчетная температура наружного воздуха в районе строительства, °С, по данным СП 131.13330.2012 «Актуализированная редакция СНиП 23-01-99* “Строительная климатология”».

Покажем результаты расчетов по представленной методике для системы теплоутилизации, связывающей четыре вытяжных установки производительностью $L_y = 4000$ м³/ч и одну приточную с $L_{\text{п}} = 4 \cdot 4000 = 16\,000$ м³/ч, что соответствует схеме на рисунке. Принимаем $t_{\text{п}} = 16$ °С и $t_{\text{н}} = -25$ °С для Москвы. В этом случае величина теплозатрат, требуемых на подогрев притока в отсутствие энергосберегающих мероприятий, в соответствии с (4) составит 219 760 Вт. Несколько вариантов, отличающихся конструкцией теплообменных аппаратов, приведены в таблице. Типоразмеры установок подбирались, исходя из расхода воздуха и оптимальных значений $(v\rho)_b$ и w .

Результаты расчетов энергетических показателей для системы теплоутилизации

Число рядов трубок охладителя	F , м ²	K , Вт/(м ² · К)	$NTU_{\text{в}}$	NTU_w	$k_{\text{эф}}$ (по вытяжке)	$k_{\text{эф.п}}$ (общий)
8	82,3	30,55	1,89	0,616	0,791	0,425
10	104,2	29,35	2,29	0,75	0,845	0,454
12	125	28,4	2,66	0,87	0,881	0,473

Таким образом, рассматриваемая схема действительно позволяет добиться уровня температурной эффективности, приближающегося к вообще предельно возможному для данного способа теплоутилизации (около 0,5), при надлежащем выборе поверхности теплообмена и других геометрических параметров используемого оборудования. При этом, как легко убедиться, с ростом величины F при прочих равных условиях величина $k_{\text{эф.п}}$ тоже увеличивается, асимптотически стремясь к максимально достижимому. Очевидно повышается и стоимость аппаратов. Следовательно, окончательное

решение вопроса о целесообразной конструкции и поверхности теплообменника является предметом технико-экономического расчета как и для обычной системы, когда теплоутилизационным контуром соединяются только два теплообменника [9]. В то же время, поскольку используемая методика вычислений имеет достаточно простой и инженерный вид, рассматриваемая схема может быть рассчитана в условиях массового проектирования. Поэтому вопрос о технической реализации и технико-экономическом обосновании описанного технического решения действительно заслуживает тщательного рассмотрения при проектировании зданий различного назначения. Перспективы изменения ситуации с обеспеченностью энергетическими ресурсами, по-видимому, рано или поздно заставят это делать не только в отдельных экспериментальных объектах, но и в условиях массового строительства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гагарин В.Г., Пастушков П.П. Количествоенная оценка энергоэффективности энергосберегающих мероприятий // Стройт. материалы. 2013. № 6. С. 7–9.
2. Шарапов В.И. О некоторых аспектах технической политики в теплоснабжении // Энергосбережение и водоподготовка. 2013. № 5 (85). С. 9–12.
3. Ротов П.В., Орлов М.Е., Шарапов В.И., Сивухин А.А. Повышение эффективности работы централизованных систем теплоснабжения за счет применения теплоносочных установок // Пром. энергетика. 2014. № 7. С. 27–31.
4. Paiho S., Abdurafikov R., Hoang H. Cost analyses of energy-efficient renovations of a Moscow residential district // Sustainable Cities and Society. 2015. Vol. 14. No.1. Pp. 5–15.
5. Hani A., Koiv T.-A. Energy Consumption Monitoring Analysis for Residential, Educational and Public Buildings //Smart Grid and Renewable Energy. 2012. Vol. 3. No. 3. Pp. 231–238.
6. Jedinák R. Energy Efficiency of Building Envelopes // Advanced Materials Research. 2013. Vol. 855. Pp. 39–42.
7. Рымаров А.Г., Савичев В.В. Особенности работы регенеративной системы вентиляции административного здания // Вестн. МГСУ. 2013. № 3. С. 174–177.
8. Самарин О.Д. Энергетический баланс гражданских зданий и возможные направления энергосбережения // Жил. стр-во. 2012. № 8. С. 2–4.
9. Самарин О.Д. Вопросы экономики в обеспечении микроклимата зданий. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во АСВ, 2015. 136 с.

Самарин Олег Дмитриевич, канд. техн. наук, доц.

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

Получено 21.03.17

Samarin Oleg Dmitrievich, PhD, Ass. Professor

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Russia

FEATURES OF HEAT RECOVERY OF EXHAUST AIR IN MECHANICAL VENTILATION AT A LARGE NUMBER OF EXHAUST SYSTEMS

The estimated energy effect of the heat recovery of exhaust air in systems of mechanical ventilation and air-conditioning is considered according to the scheme with intermediate

coolant in the case when the waste chillers in several exhaust systems serving single supply air units. The calculation of the thermal efficiency installed in the system heat exchange equipment for dimensionless parameters is executed using the number of units of heat transfer at the optimal counter-flow scheme of movement of the carrier for several design options used in the scheme of heat exchangers with different heat transfer surface. The estimation of the obtained results is given and it is shown that the variant of the scheme allows to achieve efficiency close to the fundamentally achievable for the using way of heat recovery, and the technical and computational complexity is not an obstacle for use in practice mass design.

Keywords: energy saving, heat recovery, heat exchanger, thermal efficiency.

REFERENCES

1. Gagarin V.G., Pastushkov P.P. Kolichestvennaya otsenka energoeffektivnosti energosberегayushchikh meropriyatiy [The quantitative estimation of energy efficiency of energy saving measures]. Stroitel'nye materialy [Building materials]. 2013. No. 6. Pp. 7–9. (in Russian)
2. Sharapov V.I. O nekotorykh aspektakh tekhnicheskoy politiki v teplosnabzhenii [On some aspects of the technical policy in the heat supply]. Energosberežheniye i vodopodgotovka [Energy saving and water treatment]. 2013. No. 5 (85). Pp. 9–12. (in Russian)
3. Rotov P.V., Orlov M.E., Sharapov V.I., Sivukhin A.A. Povysheniye effektivnosti raboty tsentralizovannykh system teplosnabzheniya za schet primeneniya teplonasosnykh ustavovok [The increase of efficiency of operation of centralized heat supply systems by using heat pump units]. Promышленная energetika [Industrial power-engineering]. 2014. No. 7. Pp. 27–31. (in Russian)
4. Paiho S., Abdurafikov R., Hoang H. Cost analyses of energy-efficient renovations of a Moscow residential district. Sustainable Cities and Society. 2015. Vol. 14. No. 1. Pp. 5–15.
5. Hani A., Koiv T.-A. Energy Consumption Monitoring Analysis for Residential, Educational and Public Buildings. Smart Grid and Renewable Energy. 2012. Vol. 3. No. 3. Pp. 231–238.
6. Jedinák R. Energy Efficiency of Building Envelopes. Advanced Materials Research. 2013. Vol. 855. Pp. 39–42.
7. Rymarov A.G., Savichev V.V. Osobennosti raboty regenerativnoy sistemy ventilyatsii administrativnogo zdaniya [Features of operation of the regenerative ventilating system of the administrative building]. Vestnik MGSU [Papers of the MSUCE]. 2013. No. 3. Pp. 174–177. (in Russian)
8. Samarin O.D. Energeticheskiy balans grazhdanskikh zdaniy i vozmozhnye napravleniya energosberežheniya [The energy balance of public buildings and possible ways of energy saving]. Zhilishchnoye stroitel'stvo [Residential construction]. 2012. No. 8. Pp. 2–4. (in Russian)
9. Samarin O.D. Voprosy ekonomiki v obespechenii mikroklimata zdaniy [Problems of economics in maintenance of a building microclimate]. 2nd ed., revised and suppl. Moscow, ASV, 2015. 136 p. (in Russian)

СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ



УДК 621.542.001

Д.Э. АБРАМЕНКОВ, Э.А. АБРАМЕНКОВ, Ю.Э. МАЛЫШЕВА,
В.В. ГРУЗИН

ВОЗМОЖНЫЕ РАБОЧИЕ ПРОЦЕССЫ И ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ ОСНОВНЫМИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИМИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ ДРОССЕЛЬНЫХ ПНЕВМОУДАРНЫХ МЕХАНИЗМОВ

Рассматриваются принципиальные особенности и взаимовлияние базовых геометрических соотношений на энергетические параметры пневмоударного механизма.

Ключевые слова: энергия удара, частота ударов, давление воздуха, дроссельное распределение, ударник, форсаж, наддув.

Введение. Возвратно-поступательное движение ударника в дроссельных пневматических ударных механизмах (ДПУМ) предопределено разностью сил (импульсов) со стороны его торцов. Этую разность можно реализовать одним из трех способов подбора объемов камер и проходных сечений дросселей впуска: при $V_p = V_x$, $\omega_p \neq \omega_x$; при $V_p \neq V_x$, $\omega_p = \omega_x$; при $V_p \neq V_x$, $\omega_p \neq \omega_x$.

Третий способ реализации объемов камер и проходных сечений дросселей впуска наиболее широк, так как позволяет варьировать при создании ДПУМ большим числом переменных. В ДПУМ можно выделить следующие группы:

1-я – пневмоударные механизмы с дросселями впуска постоянного геометрического сечения;

2-я – пневмоударные механизмы с дросселем впуска регулируемого проходного сечения;

3-я – пневмоударные механизмы с дросселем впуска и перепуском воздуха между рабочими камерами;

4-я – пневмоударные механизмы с дросселем впуска и задержкой выпуска;

5-я – пневмоударные механизмы с дросселем впуска и вытеснением из рабочих камер;

6-я – пневмоударные механизмы с дросселем выпуска и вытеснением из рабочих камер;

© Абраменков Д.Э., Абраменков Э.А., Малышева Ю.Э., Грузин В.В., 2017

7-я – пневматические механизмы с дросселем наддува рабочих камер;

8-я – пневматические механизмы с дросселем форсажа рабочих камер;

9-я – пневматические механизмы с дросселем продувки рабочих камер.

Каждая из групп ДПУМ может быть представлена неподвижными дросселями впуска, выполненнымными в (на) корпусе (цилиндре), трубке, стержне, и подвижными в (на) ударнике.

Необходимый и достаточный объем рабочих камер. Особенности некоторых характерных ДПУМ рассмотрены в монографиях и диссертациях.

В работах [1–4] представлены характерные процессы баро- и термодинамики ДПУМ с учетом постоянного прихода в рабочую камеру (камера рабочего или холостого хода ударника) и оговаривалась их аналогичность по использованию энергии, привносимой в процесс с энергоносителем.

В отличие от принятых представлений о газодинамическом или пневматическом двигателе и тем более о ДВС или пороховом [5–7] (с переменным количеством рабочего тела) в ДПУМ температура рабочего тела изменяется при сжатии и расширении воздуха в камере рабочего и холостого ходов.

При использовании работы поршня со стороны противоположной камеры, например, рабочего хода, работа затрачивается на сжатие в камере холостого хода и наоборот. За счет малости добавки в изменении температуры рабочего тела от трения поршня (ударника) о стенки цилиндра ею можно пренебречь, поскольку при возвратно-поступательном движении ударника она компенсируется. Приход тепла в систему (камеры) обеспечивается:

1 – приходом из вне, только с сжатым воздухом из сети, температура которого принимается постоянной на этапе данного рассмотрения ($\theta_0 = \text{const} = \theta_a$);

2 – работой поршня при сжатии воздуха при соответствующих затратах со стороны противоположной камеры, т.е. механическая энергия поршня частично переходит в работу сжатия, а следовательно, нагрева воздуха в камере, где это сжатие происходит (то же относится к снижению нагрева и температуры воздуха при расширении).

Тепло и температура рабочего тела в камере снижаются 1) за счет перетечек в противоположную камеру при работе поршня-ударника; 2) за счет истечения в атмосферу после открытия выпускных каналов.

Если ограничиться этими представлениями и обозначить параметры рабочего тела как p , V , G , θ – соответственно давление, объем, температура и масса сжатого воздуха; R , n – газовая постоянная и показатель процесса состояния, то выражение

$$pV'' = RG\theta \quad (1)$$

является достаточным для определения V при учете неполного использования правой части уравнения как доли полной энергии системы ($RG\theta$), поскольку в системе имеют место потери на трение ударник-цилиндр (до 15 % [8]) и на выпуск энергоносителя из камеры при давлении p_b большим атмосферного p_a (недоиспользованная энергия по давлению воздуха), а также принимая во внимание отношение $p_b/p_a = 0,50\dots0,30$,

где p_0 – сетевое давление воздуха, которое может быть учтено коэффициентом потерь при использовании внутренней энергии поступающего количества воздуха в камеру, то все потери можно обозначить как η . Тогда в (1) примем:

$$pV^n = RG\theta = A_e, \quad (2)$$

$$A_{qe} = A_e \eta, \quad (3)$$

где A_{qe} , A_e – полная и частично используемая работа воздуха.

Для системы pV в ДПУМ необходимо обсудить некоторые ее особенности.

1. Если $pV = \text{const}$, то эта энергия (A_e) системы.
2. Если $pV^n = \text{const}$ при $n = 1$ – также энергия системы, но если $1 < n < 1$, то это не отвечает размерности энергии.
3. Если $n = 0$, то $pV^0 = p_1 = p$, что указывает на размерность произведения в виде давления, т.е. формально энергия представлена как давление.
4. При $pV^n = \text{const}$ и $1 < n < 1$, но $n \neq 0$ можно утверждать о любом неизвестном состоянии системы.
5. Если $n = 1,4 = k$, где k – показатель адиабаты, то можно утверждать о энергии системы адиабатного состояния, когда приток энергии с воздухом равен ее оттоку из системы в ДПУМ. В этом случае общепринято считать $pV^k = \text{const}$.
6. Для постоянного наполнения объема V при $n \approx 1$ [4] следует $pV^n = A_e$. При этом физический смысл: объем изменяется (деформируется) и если возрастает в степени n , то это определяет возрастание энергии как с увеличением p , так и с увеличением V .

Авторы при рассмотрении состояния системы в ДПУМ предлагают применять предложение по пункту 6 и рассматривать энергию системы, а также выводимую ее часть в виде кинетической энергии ударника в зависимости от $(p - V)$ и $(n - V)$ в следующем представлении преобразований.

Применимельно к ДПУМ

$$A_e = A_y + A_o = (1 + k_y^2) A_y, \quad (4)$$

где A_y , A_o , k_y – работа удара, отскока и коэффициент отскока. Из (2), (3) следует:

$$A_{qe} = (1 + k_y^2) A_y / \eta, \quad (5)$$

$$pV^n = (1 + k_y^2) / \eta. \quad (6)$$

Для (5) применим дополнительные допущения и ограничения: при $p = p_0$ можно рассматривать комплекс $z = (1 + k_y^2) A_y / \eta$ как самостоятельный, достаточный по зависимости k_y и η .

При рассмотрении (6) можно подобрать показатель процесса (n), при котором следует реализовывать баро- и термодинамический процесс или подобрать объем камеры (V) при p , $\theta = \text{const} = \theta_a$.

Введем представление для A_y [9, 10]:

$$A_y = p_{cp} \cdot x_y \cdot S_y, \quad (7)$$

где p_{cp} , x_y , S_y – среднее давление воздуха по пути, величина хода и рабочая диаметральная площадь ударника.

Для теоретических представлений можно предположить $p \approx p_{cp}$, тогда объем камеры рабочего хода $V = V_p$ и, согласно [9, 10], при

$$p_{cp} = A_y/x_y S_y = 0,75 (p_m + p_b)^2/(2p_m + p_b) \quad (8)$$

следует

$$V_p = (x_y S_y z)_p^{1/n}, \quad (9)$$

где $p_m = \max p_0$.

Поэтому из (1)

$$n \ln V_p = \ln A_y + \ln z - \ln p_{cp}. \quad (10)$$

Из (10) определяются при заданных (A_y , z , p_0) или n , или V .

Например, при определении коэффициента процесса (n) для объема камеры:

при $\eta = \text{const}$, $A_y = \text{const}$, $k_y = \text{const}$ с увеличением V_p и p_0 следует уменьшение n ;

при $\eta = \text{const}$, $p_{cp} = \text{const}$, $k_y = \text{const}$ с повышением A_y и z следует увеличение n .

Следовательно, z неоднозначно и η , k_y целесообразно при подобном рассмотрении процесса представлять раздельно.

Тогда из [6] можно получить следующую зависимость:

$$V_n = m_y u_y^2 (1 + k_y^2) / 2p\eta, \quad (11)$$

где масса и предударная скорость ударника

при $p = p_{cp} = A_y/x_p S_y$

$$V^n = m_n u_n^2 (1 + k_y^2) x_y S_y / 2A_y \eta = (1 + k_y^2) x_y S_y / \eta. \quad (12)$$

Из (12) при соответствующем преобразовании

$$n \ln V = \ln(1 + k_y^2) + \ln x_y + \ln S_y - \ln \eta. \quad (13)$$

При замене V на V_p и n на n_p (индекс «р» – камера рабочего хода), а также $p = p_{cp}$ можно получить искомые значения:

$$V_p = A_y (1 + k_y^2) / p_{cp} \eta_p^{1-n}, \quad (14)$$

$$n_p = [\ln A_y (1 + k_y^2) (p_{cp} \eta)]^{-1} / \ln V_p. \quad (15)$$

Объем камеры холостого хода при этом можем определить по известной [11] зависимости

$$V_x = V_p \lambda^{-1}, \quad (16)$$

где λ – соотношение объемов камер рабочего и холостого ходов выбирается из условий оптимизации для машин конкретного назначения. Например, для ручных машин с ДПУМ рекомендуется $\lambda = 6\dots8$.

Заметим, что V_p можно определить как

$$\ln V_p = 1/n_p [\ln(A_y (1 + k_y^2)) / p_{cp} \eta]. \quad (17)$$

Таким образом, можно объяснить определение V_p , или n_p с позиций баро- и термодинамики рабочего процесса ДПУМ.

Такой подход к рассмотрению процесса объясняют зависимости V_p , n_p от A_y в ДПУМ, что, по предположению авторов, связывает косвенно в вышеизложенной методике расчета физические представления о баро- и термодинамическом процессе в ПУМ.

К отмеченному необходимо сделать замечания: параметры k_y и η при расчетах могут быть назначены равными от 0 до 1. Однако при этом нужно иметь в виду, что 1) при $k_y = 1$ следует $A_y = 0$ и $A_o = \max A_y$; 2) при $\eta = 1$, $k_y = 0$ вся энергия сжатого воздуха используется для получения $A_y = \max A_y$ при $A_o = 0$.

Поэтому с учетом замечаний для желаемых процессов, по крайней мере, в ДПУМ значения k_y и η задаются или ожидаются в пределах:

$$0 < \eta < 1, \quad 0 < k_y < 1. \quad (18)$$

Зависимости между энергетическими параметрами и объемами основных рабочих камер пневмоударного механизма. Ранее в [11] рассмотрены аналитические зависимости показателя процесса и объема камеры от среднего давления воздуха с учетом коэффициента отскока ударника от хвостовика рабочего инструмента.

Диапазоны изменения параметров соответствовали значениям параметров пневматических ручных машин ударного действия: по энергии единичного удара 10, 50 и 100 Дж, по сетевому давлению воздуха 0,4; 0,5 и 0,6 МПа, по давлению воздуха на выпуске из камеры рабочего хода 0,20; 0,25 и 0,30 МПа, коэффициенту отскока 0,1; 0,2 и 0,4, условному КПД использования внутренней энергии сжатого воздуха в камере рабочего хода 0,1; 0,2 и 0,4. Отметим, что в справочнике Hütte [12] указывается на возможное значение КПД пневматических молотков до $\eta = 0,45$.

Исследования [13] подтверждают возможность такого значения КПД при условии рассмотрения баро- и термодинамического процесса ДПУМ без учета потерь в магистрали (сети) воздухоподвода и рабочем процессе компрессора. Так, для камеры рабочего хода получено значение КПД по использованию давления воздуха $\eta_p = 0,3598$ и камеры холостого хода $\eta_x = 0,3814$ для начала выпуска отработавшего воздуха из камер. При учете КПД для конца выпуска воздуха в атмосферу его давление ($p_0 = 0,1$ МПа), а значения $\eta_p = 0,9269$ и $\eta_x = 0,7938$. Отметим, что ДПУМ свойствен повышенный непроизводительный расход воздуха [11].

Рассмотрим баро- и термодинамические причины, которые могут влиять на изменение КПД ДПУМ при условии, что изменение величины коэффициента отскока k_y является откликом физико-механических свойств обрабатываемой среды.

Учитывая аналитический подход к определению бародинамических параметров при нахождении объема камеры рабочего хода [11], рассмотрим результаты моделирования зависимостей p_{cp} и p_v от p_0 (рис. 1, табл. 1). Графиковые зависимости для p_{cp} получены при $p_m = p_0$ для давлений $p_0 = 0,4; 0,5$ и $0,6$ МПа. Как следует из зависимости (10) и графиков $p_{cp} = p$ ($p_0 p_v$) от давлений p_0 , наблюдается одинаковая качественная тенденция изменения со следующими отклонениями. Так, для $p_v = 0,2$ МПа при $p_0 = 0,4; 0,5$ и $0,6$ МПа

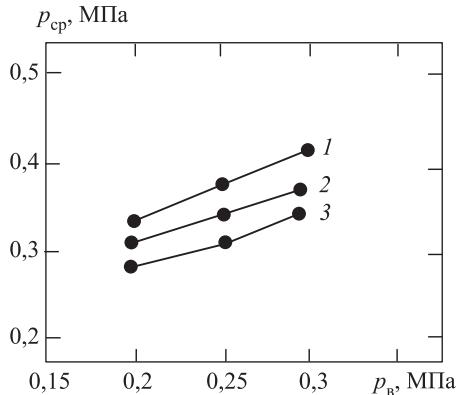


Рис. 1. Зависимости p_{cp} от p_0 и p_b в объемах камеры рабочего хода
1 – $p_0 = 0,6 \text{ МПа}$; 2 – $p_0 = 0,5 \text{ МПа}$; 3 – $p_0 = 0,4 \text{ МПа}$

отклонения составляют до 27 % и для $p_b = 0,3 \text{ МПа}$ – до 21 %. Отклонения p_b между парами давления $p_0 = (0,4...0,5) \text{ МПа}$ до 2 %.

Остальные зависимости $p_{cp} = p(p_0, p_b)$ видны из графиков на рис. 1. Рассмотренные зависимости позволяют сделать выводы: с увеличением p_0 отклонения значений p_{cp} в условиях практического применения могут сохраняться; при реализации рабочих циклов с наддувом или буферных циклов, например, при $p_0 = p_{cp} = 0,6 \text{ МПа}$ потребуется обеспечение $p_b = 0,46 \text{ МПа}$ и более, а при $p_0 = 0,6 \text{ МПа}$ и $p_{cp} = 0,5 \text{ МПа}$. Чтобы обусловить высокие энергетические показатели ДПУМ, потребуется обеспечение $p_b = 0,38 \text{ МПа}$, что потребует повышенного расхода воздуха для $p_0 = p_{cp}$ и при $p_0 = 0,6 \text{ МПа}$ необходимо обеспечить равенство $p_b = 0,46 \text{ МПа}$ и более; при $p_0 = \text{const}$ и уменьшении p_{cp} по пути будет уменьшаться p_b . Зависимость

$$V_p = A_y / p_{cp} \quad (19)$$

представлена графиками $V_p = V(A_y, p_{cp})$ на рис. 2 и значениями их величин в табл. 2.

Анализ отклонений значений V_p с уменьшением p_{cp} по зависимости (19) показал на их увеличение как для соответствующих p_{cp} и V_p , так и на увеличение энергии A_y , выводимой из системы. Для рассматриваемых значений A_y при $p_{cp} = 0,27...0,40$ отклонения по V_p составляют от 48,16 до 3,08 %.

Качественные и количественные характеристики (19) показывают следующие тенденции их изменений: уменьшение p_{cp} обуславливает уменьшение показателя процесса n , причиной чему могут быть соответствующие изменения удельных теплоемкостей как по давлению, так и объему: увеличение объема обусловит уменьшение усилия нажатия (подачи), что повлечет увеличение массы ПУМ; увеличение показателя процесса n при $V_p = \text{const}$

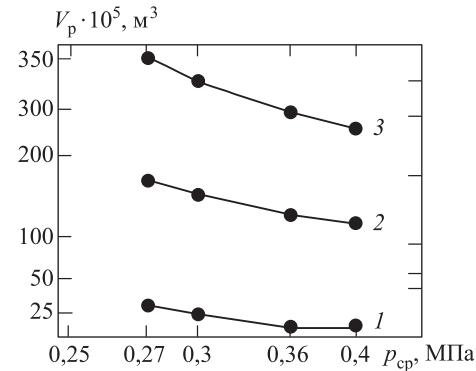


Рис. 2. Зависимости V_p , A_y и p_{cp}
1 – $A_y = 10 \text{ Дж}$; 2 – $A_y = 50 \text{ Дж}$; 3 – $A_y = 100 \text{ Дж}$

Таблица 1. Значения параметра $p_{cp} = A_y / (x \cdot S) = (3/4)(p_m + p_b)^2 / (2p_m + p_b)$ при $p_m \approx p_0$

$p_0, \text{МПа}$	$p_b, \text{МПа}$		
	0,20	0,25	0,30
p_{cp}			
0,4	0,2700	0,3017	0,3341
0,5	0,3065	0,3375	0,3692
0,6	0,3428	0,3737	0,4050

Таблица 2. Значения параметра
 $V_p = A_y/p_{cp}$

p_{cp} , МПа	A_y , Дж		
	10	50	100
	$V_p \cdot 10^{-5}$, м ³		
0,27	37,0370	185,1852	370,3703
0,30	33,3333	166,6666	333,3333
0,33	30,3030	151,5151	303,0303
0,34	29,4117	147,0588	294,1176
0,36	27,7777	138,8888	277,7777
0,37	27,0270	135,1351	210,2102
0,40	25,0000	125,0000	250,0000

Таблица 3. Значения параметра
 $z = (1 + k_y^2)\eta$

η	k_y		
	0,1	0,2	0,4
0,1	10,10	10,40	11,60
0,2	5,05	5,20	5,80
0,4	2,52	2,60	2,90

Таблица 4. Значения параметра
 $n = \ln(V \cdot z)/\ln(V)$

V_p , м ³	n			
	2,6	2,9	5,05	5,2
25	1,2968	1,3307	1,5031	1,5122
30	1,2809	1,3130	1,4761	1,4847
37	1,2646	1,2948	1,4485	1,4566
125	1,1978	1,2205	1,3354	1,3415
147	1,1914	1,2133	1,3245	1,3304
185	1,1830	1,2039	1,3102	1,3158
250	1,1730	1,1928	1,2933	1,2986
303	1,1672	1,1863	1,2834	1,2885

V_p , м ³	n			
	5,8	10,1	10,4	11,6
25	1,5461	1,7184	1,7275	1,7614
30	1,5168	1,6799	1,6885	1,7206
37	1,4868	1,6404	1,6485	1,6788
125	1,3641	1,4790	1,4850	1,5076
147	1,3522	1,4634	1,4693	1,4911
250	1,3184	1,4188	1,4241	1,4439
303	1,3077	1,4047	1,4099	1,4290

потребует увеличения расхода воздуха, но будет компенсировано увеличением энергии A_y и частоты ударов. Другие зависимости между A_y , V_p и p_{cp} видны из графических зависимостей, представленных на рис. 2.

$$\text{Зависимость} \quad z = (1 + k_y^2)\eta \quad (20)$$

представлена графиками $z = z(k_y, \eta)$ на рис. 3 и значениями изменяемых величин в табл. 3.

Как показали численные исследования зависимости (20), отклонения z в диапазоне изменения k_y от 0,1 до 0,4 при $\eta = \text{const}$ сохраняются на уровне 14,89 %.

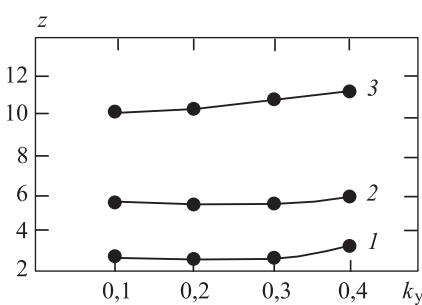


Рис. 3. Зависимости между k_y и η
 1 – $\eta = 0,1$; 2 – $\eta = 0,2$; 3 – $\eta = 0,4$

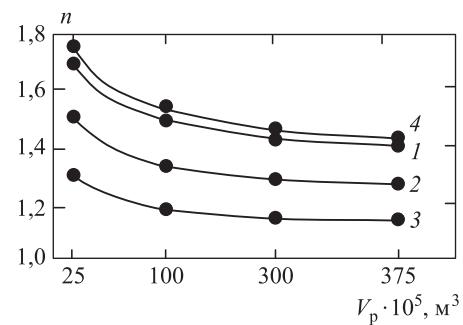


Рис. 4. Зависимости между значениями параметров V_p , z
 1, 4 – $z = 10,4$; 2 – $z = 5,2$; 3 – $z = 2,6$;
 1, 2, 3 – $p_0 = 0,4$ МПа; 4 – $p_0 = 0,7$ МПа

Качественные характеристики в (20) изменяются и сводятся к следующему: с увеличением жесткости и прочности обрабатываемой среды следует увеличение значения коэффициента отскока k_y , что потребует увеличения усилия нажатия (подачи); показатель η , характеризующий потери энергии в системе из-за несовершенства протекания баро- и термодинамического процесса, возрастает; меньшие значения z при $\eta = \text{const}$ ($pV^n = \text{const}$) соответствуют большему выводу энергии из системы при меньших k_y .

$$\text{Зависимость} \quad n = \ln(V \cdot z)/\ln(V) \quad (21)$$

представлена графиками $n = \ln(V, z)$ на рис. 4, а также значениями величин в табл. 4. Качественная характеристика (21) сводится к следующему.

При меньших значениях давления воздуха, равно как при больших его объемах в камере, показатель процесса уменьшается, что обуславливается меньшим значением удельных теплоемкостей при $p_0 = \text{const}$ или большими их значениями при $V_p = \text{const}$.

Уменьшение объема приводит к увеличению плотности воздуха, а следовательно, к повышению его давления, что обуславливает повышение противодавления. Так, повышение давления со стороны камеры рабочего хода для ручных машин нежелательно из-за повышения отдачи и необходимости повышения усилия нажатия, которые отрицательноказываются на здоровье оператора. Для неручных машин противодавление со стороны камеры холостого хода обуславливает торможение ударника перед соударением с хвостовиком инструмента, снижение скорости соударения и энергии единичного удара. Также повышение противодавления со стороны камеры рабочего хода потребует увеличения усилия нажатия (подачи) и отрицательно скажется на работе сопряженных деталей и узлов молота, манипулятора и базовой машины.

Данные по изменению зависимостей между n и z хорошо корреспондируют с зависимостями между k_y и z (см. рис. 3, табл. 3). Здесь можно сделать вывод: уменьшение V_p приводит к возрастанию как показателя процесса (рис. 3), так и показателя z (рис. 4).

В работе [1] приводятся данные численных экспериментов, подтверждающих предложения, выдвинутые в отношении проявления эффектов регулирования, перепуска, задержки и форсажа.

Соотношение основных геометрических размеров и параметров механизмов с рациональными настройками представлены в табл. 5.

Обозначения параметров следующие: ω_p , ω_x – проходные сечения дросселей впуска в объемы камер рабочего (V_p), холостого (V_x) и задержки (V_z); p_0 – давление воздуха в сети; D_y , L_y , S_y , m_y , H_y – диаметр, длина, площадь диаметрального сечения, масса и скорость ударника; R – газовая постоянная; ω_n , Π – координата начала и ширина канала перепуска; $h_{ш}$ – ширина щели перепуска; G – расход воздуха; N – ударная мощность; q_v – удельный расход воздуха; ε_N – удельный съем мощности с единицы площади ударника; $V_{\phi n}$, $V_{\phi p}$ – объем непроточный и проточный камер форсажа; $\omega_{\phi n}$, $\omega_{\phi p}$ – проходные сечения дросселей впуска в камеры с объемом $V_{\phi n}$ и $V_{\phi p}$.

Анализ результатов для q_v и N , приведенных в табл. 5 для различных ДПУМ, с учетом [1–4, 11, 13] позволяет отметить следующее.

Таблица 5. Рациональные значения безразмерных параметров дроссельных пневмоударных механизмов с дополнительными средствами впуска

Параметр	ДПУМ обычный	Тип ДПУМ(Т)					
		обычный	с перепуском	с регулированием	с задержкой	с проточной камерой форсажа	с непроточной камерой форсажа
$\lambda_3 = V_p V_3^{-1}$	6,0	6,0		—	4,5...6,5	—	
$\lambda_3 = V_p V_x^{-1}$	6,0...8,0	6,0...8,0	2,5...3,5	6,0...8,0	3,0...5,0	6,0...8,0	5,0...7,0
$v_3 = \omega_p \omega_3^{-1}$	—	—	—	—	1,5...2,0	—	
$v = \omega_p \omega_x^{-1}$	1,5...2,7	1,5...3,0	2,5...2,75	1,5...2,7	1,0...2,0	—	
$\alpha = \lambda v^{-1}$	3,0...4,5	3,0...5,0	—	—	—	—	
$\beta = p_0 S_y V_p^2$, $m_v^{-1} (\alpha K)^{-2}$	4,0...8,0	4,0...8,0	4,0...8,0	4,0...8,0	4,0...8,0	4,0...8,0	4,0...8,0
$\delta_0 = W_x L_y^{-1}$	0,58...0,64	—	0,55...0,65	—	—	—	
$e = \Pi D_y^{-1}$	—	—	0,25...0,50	—	—	—	
$h_\omega = 10^{-2} h_{\text{ш}} L_y, \omega_{\text{ш}}$	—	—	—	1,3...1,6	—	—	
$\lambda_{\phi\text{п}} = V_p V_{\phi\text{п}}^{-1}$	—	—	—	—	—	3,4...3,6	4,0...4,8
$\lambda_{\phi\text{п}} = V_{\phi\text{п}} (V_\phi + V_p)^{-1}$	—	—	—	—	—	—	2,0...2,2
$\lambda_{\text{рф}} = (V_p + V_{\phi\text{п}}) V_{\phi\text{п}}^{-1}$	—	—	—	—	—	—	3,5...4,5
$\alpha_{\phi\text{п}} = \omega_{\text{нр}} \omega_p^{-1}$	—	—	—	—	—	1,3...1,5	1,7...1,8
$\alpha_{\phi\text{п}} = \omega_{\text{нр}} \omega_p^{-1}$	—	—	—	—	—	37...48	20...30
$J_{\phi\text{п}} = J_{\phi\text{п}} = E_p H_x^{-1}$	—	—	—	—	—	1,35...1,40	1,40...1,50
$q_v = 10^5 G_v N^{-1}$	2,9...3,6	2,9...3,6	2,7...3,1	3,1...3,4	2,0...2,5	2,8...3,5	2,8...3,5
$\varepsilon = N(p_0 u_y S_y)^{-1}$	0,08...0,12	0,08...0,12	0,08...0,12	0,08...0,12	0,08...0,12	0,10...0,12	0,10...0,12

Выпуск воздуха в ДПУМ(Т) и ДПУМ(ПТ) с перепуском осуществляется при давлении ниже 17 % из камеры рабочего хода и до 35 % из камеры рабочего хода, что способствует улучшению шумовой характеристики для ДПУМ(ПТ).

Средства задержки в ДПУМ(ЗТ) работают как аккумулятор, снижая давление воздуха в камере рабочего хода и повышая до 10 % в период рабочего хода, что обуславливает изменение коэффициента отскока ударника и снижение до 15 % удельного расхода воздуха.

Средства регулирования впуска посредством щелевого дросселя в ДПУМ(РТ) улучшают форму силового импульса давления в камере рабочего хода, что способствует реализации рациональных сочетаний энергетических, вибрационных и шумовых характеристик механизма.

Средства выпуска с наддувом в ДПУМ(НТ) способствуют приращению энергетических параметров, что обуславливает некоторое ухудшение вибрационных и шумовых характеристик.

Средства форсажа с проточной камерой в ДПУМ(ФПТ) в сочетании с камерой частичного наддува менее предпочтительны в сравнении с непроточной камерой в ДПУМ(ФНТ) в сочетании с камерой пневматического буфера и обуславливает улучшение энергетических, вибрационных и силовых характеристик.

Баро- и термодинамические характеристики у молотов с ДПУМ, ДПУМ(Т), ДПУМ(ПТ), ДПУМ(ЗТ), ДПУМ(РТ), ДПУМ(НТ), ДПУМ(ФПТ) и ДПУМ(ФНТ) подобны.

Выводы 1. Аналитическое исследование элементов баро- и термодинамики ДПУМ показало возможность реализации в рабочем процессе механизма необходимого и достаточного объема рабочих камер.

2. Раскрыты на данном уровне исследования необходимые и достаточные соотношения основных геометрических размеров ДПУМ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А б р а м е н к о в Э.А. Создание ручных пневматических машин ударного действия с дроссельным воздухораспределением: автореф. ... дис. д-ра техн. наук. Новосибирск, 1989. 48 с.
2. А б р а м е н к о в Д.Э., А б р а м е н к о в Э.А. Введение в теорию дроссельного пневматического механизма машин ударного действия / Тр. НГАСУ. Новосибирск: НГАСУ, 1999. Вып. 1 (4). С. 76–83.
3. А б р а м е н к о в Д.Э., А б р а м е н к о в Э.А. Закономерности контактов рабочего тела в баро- и термодинамическом процессе пневматического механизма машины ударного действия / Тр. НГАСУ. Новосибирск: НГАСУ, 2001. Вып. 4 (15). С. 185–196.
4. А б р а м е н к о в Д.Э., А б р а м е н к о в Э.А., В и г о в с к а я Т.Ю., Ш а б а н о в Р.Ш. Характерные бародинамические процессы пневматических машин ударного действия / Тр. НГАСУ. Новосибирск: НГАСУ, 2000. Вып. 1 (8). С. 57–68.
5. Я в о р с к и й Б.М., Д е т л а ф А.А. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов. Изд. 2-е, испр. М.: Наука, 1964. 847 с.
6. Двигатели внутреннего сгорания: теория поршневых и комбинированных двигателей: учебник для втузов по спец. «Двигатели внутреннего сгорания» / Д.Н. Вырубов, Н.А. Иващенко, В.И. Иващенко, В.И. Ивин и др.; под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1983. 372 с.
7. М а м о н т о в М.А. Некоторые случаи течения газа по трубам, насадкам и проточным сосудам. М.: Оборонгиз, 1951. 490 с.
8. Кондрашов В.И., Фукс Л.А., Томилов В.Е., Бабуров В.И., Горбунов В.Ф. Исследование термодинамических и теплообменных процессов в пневматических машинах ударного действия. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1971. 102 с.
9. Baril M.A. Note sur les frappeurs pneumatiques // Revue de Mecanique. November 1907. Т. XXL. Р. 433–458.
10. С у д н и ш н и к о в Б.В., Е с и н Н.Н., Т у п и цы н К.К. Исследование и конструирование пневматических машин ударного действия. Новосибирск: Наука, 1985. 134 с.
11. М а л ы ш е в а Ю.Э., А б р а м е н к о в Д.Э., М а з а л о в Г.А., А б р а м е н к о в Э.А. Необходимый и достаточный объем камеры рабочего хода пневмо-

- ударного механизма дроссельного типа / Тр. НГАСУ. Новосибирск: НГАСУ, 2005. Т. 8. № 1(31). С. 5–13.
12. Н и т т е. Справочная книга для инженеров, архитекторов, механиков и студентов. Т. 2. М.; Л., 1931. 1481 с.
13. А б р а м е н к о в Д.Э., А б р а м е н к о в Э.А. О бародинамическом и термодинамическом КПД дроссельного пневмоударного механизма / Тр. НГАСУ. Новосибирск: НГАСУ, 2007. Т. 10. № 3 (41). С. 6–14.

Абраменков Дмитрий Эдуардович, д-р техн. наук, проф.

Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск

Абраменков Эдуард Александрович, д-р техн. наук, проф.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Малышева Юлия Эдуардовна, вед. инженер

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Грузин Владимир Васильевич, д-р техн. наук, проф., акад. Академии военных наук Республики Казахстан

Национальный университет обороны имени Первого Президента Республики Казахстан – Лидера Нации, г. Астана

Получено 25.11.16

Abramenkov Dmitriy Eduardovich, DSc, Professor

Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

Abramenkov Eduard Alexandrovich, DSc, Professor

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Malysheva Yuliya Eduardovna, Lead Engineer

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Gruzin Vladimir Vasil'evich, DSc, Professor, academician of military sciences of Kazakhstan

National Defense University Named After the First President of the Republic of Kazakhstan – The Leader of the Nation

POSSIBLE WORK PROCESSES

AND THE RELATIONSHIP BETWEEN THE BASIC GEOMETRIC

AND ENERGY PARAMETERS OF THROTTLE PNEUMATIC

PERCUSSIVE MECHANISM

We consider the principal features and interaction of basic geometric relationships in the energy parameters of air percussion mechanism.

K e y w o r d s: impact energy, impact frequency, air pressure, throttle distribution, drummer, afterburner, charging.

REFERENCES

1. A b r a m e n k o v E.A. Sozdanie ruchnykh pnevmaticheskikh mashin udarnogo deystviya s drossel'nym vozdukhораспределением: avtoref. ... dis. d-ra tekhn. nauk [Creating a manual pneumatic percussion machines with throttle vozduhoraspredeleniem: author. dis. ... DSc]. Novosibirsk, 1989. 48 p. (in Russian)
2. A b r a m e n k o v D.E., A b r a m e n k o v E.A. Vvedenie v teoriyu drossel'nogo pnevmaticheskogo mekhanizma mashin udarnogo deystviya. Trudy NGASU [Introduction to the Theory of throttle pneumatic percussion mechanism machines. Proceedings NGASU]. Novosibirsk, NGASU, 1999. Issue 1 (4). Pp. 76–83. (in Russian)

3. A b r a m e n k o v D.E., A b r a m e n k o v E.A. Zakonomernosti kontaktov rabochego tela v baro- i termodinamicheskem protsesse pnevmaticheskogo mekhanizma mashiny udarnogo deystviya. Trudy NGASU [Laws of the working fluid contacts in the baro and thermodynamic process of pneumatic percussion mechanism of the machine. Proceedings NGASU]. Novosibirsk, NGASU, 2001. Issue 4 (15). Pp. 185–196. (in Russian)
4. A b r a m e n k o v D.E., A b r a m e n k o v E.A., V i g o v s k a y a T.Yu., S h a b a - n o v R.Sh. Kharakternye barodinamicheskie protsessy pnevmaticheskikh mashin udarnogo deystviya. Trudy NGASU [Typical processes barodinamicheskie pneumatic percussion machines. Proceedings NGASU]. Novosibirsk, NGASU, 2000. Issue 1 (8). Pp. 57–68. (in Russian)
5. Y a v o r s k i y B.M., D e t l a f A.A. Spravochnik po fizike dlya inzhenerov i studentov vuzov. Izd. 2-e, ispr. [Handbook of physics for engineers and university students. Ed. 2nd corr.]. Moscow, Science, 1964. 847 p. (in Russian)
6. Dvigateli vnutrennego sgoraniya: teoriya porshnevykh i kombinirovannykh dvigateley: uchebnik dlya vtuzov po spets. «Dvigateli vnutrennego sgoraniya» [Internal combustion engines: the theory of piston and combined engines. Textbook for technical colleges for specials «Internal combustion engines»]. D.N. Vyrubov, N.A. Ivashchenko, V.I. Ivashchenko, V.I. Ivin etc.; ed. A.S. Orlina, M.G. Kruglova. 4th ed., revised. and ext. Moscow, Engineering, 1983. 372 p. (in Russian)
7. M a m o n t o v M.A. Nekotorye sluchai techeniya gaza po trubam, nasadkam i protochnym sosudam [Some cases of the flow of gas through pipes, nozzles and flow vessels]. Moscow, Oborongiz, 1951. 490 p. (in Russian)
8. K o n d r a s h o v V.I., F u c h s L.A., T o m i l o v V.E., B a b u r o v V.I., G o r - b u n o v V.F. Issledovanie termodinamicheskikh i teploobmennykh protsessov v pnevmaticheskikh mashinakh udarnogo deystviya [The study of thermodynamic and heat transfer processes in pneumatic percussion machines]. Tomsk, Publishing house Tomsk University, 1971. 102 p. (in Russian)
9. B a r i l M.A. Note sur les frappeurs pneumatiques. Revue de Mecanique. November 1907. T. XXL. Pp. 433–458.
10. S u d n i s h n i k o v B.V., E s i n N.N., T u p i t s i n K.K. Issledovanie i konstruirovanie pnevmaticheskikh mashin udarnogo deystviya [Research and design of pneumatic percussion machines]. Novosibirsk, Nauka, 1985. 134 p. (in Russian)
11. M a l y s h e v a Yu.E., A b r a m e n k o v D.E., M a z a l o v G.A., A b r a m e n - k o v E.A. Neobkhodimyy i dostatochnyy ob''em kamery rabochego khoda pnevmoudarnogo mekhanizma drossel'nogo tipa. Trudy NGASU [Necessary and sufficient working stroke chamber pneumoshock throttle mechanism type. Proceedings NGASU]. Novosibirsk, NGASU, 2005. Vol. 8. No. 1 (31). Pp. 5–13. (in Russian)
12. H u t t e. Spravochnaya kniga dlya inzhenerov, arkhitektorov, mekhanikov i studentov [Reference book for engineers, architects, engineers and students]. Vol. 2. Moscow, Leningrad, 1931. 1481 p. (in Russian)
13. A b r a m e n k o v D.E., A b r a m e n k o v E.A. O barodinamicheskem i termodinamicheskem KPD drossel'nogo pnevmoudarnogo mekhanizma. Trudy NGASU [About barodinamicheskem and thermodynamic efficiency pneumoshock throttle mechanism. Proceedings NGASU]. Novosibirsk, NGASU, 2007. Vol. 10. No. 3 (41). Pp. 6–14. (in Russian)

НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ЭКОЛОГИИ



УДК 711.4–112(73)

А.В. МОЛОДИН

ПЛАНИРОВКА И ЗАСТРОЙКА КРУПНЕЙШИХ ПОСЕЛЕНИЙ РУССКОЙ АМЕРИКИ ПЕРВОЙ ПОЛОВИНЫ XIX ВЕКА

Часть 1

Приводятся результаты исследования градостроительного творчества русских промышленников на территории северо-запада Северной Америки в трех крупнейших по численности населения административных центрах Русской Америки – селение Доброго Согласия, Павловская Гавань и Новоархангельск. Разбираются этапы формирования планировочных структур этих поселений, зональная дифференциация территории. Автор выявляет основные градостроительные центры и оси в генеральных планах этих факторий, анализирует архитектурно-градостроительные доминанты и рассматривает естественный ландшафт как элемент формирования градостроительной структуры поселений Русской Америки.

Ключевые слова: градостроительство, Русская Америка, Аляска, США, Новоархангельск, Кадьяк, Уналашка.

Введение. В период осложнения взаимоотношений между двумя соседними государствами – США и Россией особенную актуальность приобретают вопросы общего культурного наследия. Тесные взаимосвязи в областях, которые лежат вне спорных политических, экономических или территориальных вопросов, способны смягчить «острые углы» во взаимодействиях двух стран. Именно общая история и культурные традиции могут удержать связь между народами и скорейшим образом восстановить прежние дружеские взаимоотношения. Поэтому рассмотрение вопросов, связанных с архитектурной и градостроительной деятельностью русских промышленников на территории Северной Америки, сегодня приобретает большую актуальность.

Тихоокеанский регион XVIII–XIX вв. стал ареной совместного освоения новых территорий со стороны Российской империи и Соединенных Штатов Америки (Североамериканских Соединенных Штатов Америки). Два крупнейших в истории человечества фронтира – Сибирский и Американский встретились на тихоокеанском побережье Северной Америки, создав уникальную в культурологическом плане ситуацию симбиоза традиций местного населения, русских промышленников и американских первопроходцев.

Достоверно известно о более 80 русских поселениях XIX в., которые распространялись вдоль всего западного побережья от Алеутских островов и Аляски до Гавайских островов и Калифорнии.

Исследование градостроительных основ Русской Америки представляет научно-практическую ценность в процессе современной практики реконструкции и восстановления поселений и планирования новых на территории Америки, а также может являться научной и теоретической базой для изучения современной архитектуры и градостроительства сорок девятого штата США.

Цель настоящего исследования – выявить особенности градостроительной деятельности русских промышленников на территории Аляски через изучение процесса формирования планировочных структур крупных административных поселений Русско-американской компании (РАК).

В исследовании рассматривается площадь современного штата Аляски в границах, переданных США по договору продажи русских колоний 1867 г. в период с 1792 (основание первого из рассматриваемых поселений) по 1867 г. (передача территорий в управление Соединенным Штатам Америки).

Объектом настоящего исследования стала строительная деятельность русских промышленников на территории Аляски, предметом же выступили региональные особенности градостроительства в крупных административных центрах Русской Америки.

Освоение территории Аляски являлось непосредственным продолжением заселения сибирских регионов и основанием там поселений и проходило в четыре этапа.

Первый этап – промысловое освоение архипелага Алеутских островов в период с 1743 до 1784 г., когда было основано первое постоянное русское поселение. Этот этап характеризовался строительством временных поселений (зимовок) промысловиков.

Второй этап – закрепление на территории Аляски, основание первых постоянных поселений в период с 1784 по 1799 г., когда русские промышленники прочно обосновались на новых территориях и, далеко продвинувшись на юго-восток Аляски, освоили район о. Кадьяк, Кенайский полуостров, залив Якутат и дошли до архипелага Александра.

Третий этап – освоение южных районов Северной Америки в период с 1799 до 1830 г., когда были закреплены за Россией архипелаг Александра, с образованием на о. Ситка крупнейшего административного поселения Русской Америки – Новоархангельска, часть Северной Калифорнии, Гавайских островов.

Четвертый этап – освоение северных районов Аляски с 1830 до 1855 г., когда, помимо широкого освоения внутренних северных районов Аляски (поселения вдоль рек Юкон, Нушагак, залива Нортон), были значительно укреплены и южные территории архипелага Александра с целью пресечения вывоза пушнины иностранными торговцами [1].

Центры управления отделов Русско-американской компании (РАК) на Аляске размещались в крупнейших поселениях Русской Америки. Каждое из них выполняло функцию управления делами приписанной к нему террито-

рии и подчинялось главному правлению компании, расположенному в Новогородской губернии.

Характерными примерами таких поселений могут стать селение Доброго Согласия на о. Уналашка, Павловская Гавань на о. Кадьяк и «столица» Русской Америки – Новоархангельск на о. Ситка. Эти три наиболее крупных по численности населения и непохожих друг на друга селения в общем характеризуют принципы планировки и застройки главных факторий российской колонии, закрепив за собой значение основных административно-политических, торгово-промышленных и культурных центров.

Теоретическая база исследования. Градостроительство Аляски, региона, который с конца XVIII в. до 1867 г. являлся территорией русской промышленной экспансии, длительное время не привлекало внимания русских и американских исследователей и лишь с 1990-х гг. стало предметом теоретического осмысливания и изучения.

Важную роль в работе над настоящим исследованием играют фундаментальные теоретические труды истории архитектуры и градостроительства, в которых сформулированы общие закономерности.

Сейчас проводятся работы по изучению истории Русской Америки, начатые в середине XIX в. П.А. Тихменевым. Значительное число исследований, посвященных этой теме, проводили такие ученые, как акад. Г.Ф. Миллер, акад. Л.С. Берг, проф. А.И. Андреев, чл.-кор. АН СССР А.В. Ефимов, акад. Н.Н. Болховитинов, А.И. Алексеев, М.И. Белов, Л.А. Гольденберг, В.И. Греков, В.А. Дивин, Д.М. Лебедев, О.М. Медушевская, В.М. Пасецкий, Б.П. Полевой, американские исследователи Г. Бэнкрофт, Ф.А. Голдер, Л. Блэк, Р. Пирс, Р. Дженсен, М. Уилер и многие другие. Но все эти исследования носят общеисторический характер. Архитектура и градостроительство русской колонии на территории Северной Америки в этих работах затрагиваются косвенно. Однако в последние десятилетия появились в печати научные работы русских и американских исследователей (В.И. Кочедамова, Е. Соловьевой, А. Сенкевича, А.К. Хоагланд, К. Лидфордса), посвященные отдельным аспектам архитектурного и градостроительного творчества русских промышленников на Аляске.

Начиная с 2001 г. автор занимается изучением архитектуры и градостроительства русских поселений на территории Северной Америки, им издается ряд монографий и учебных пособий по этой теме.

Источниковую базу настоящей исследовательской работы составили различные материалы и документы, объекты архитектуры и градостроительства, сохранившиеся на Аляске и обследованные автором на натуре, письменные, графические и картографические документы центральных российских (АН, РГАДА, РГИА, РГВИА, ЦГИА СПб, РГИА ДВ, РГВИА), американских (Библиотека Конгресса США, Национальный архив США, библиотека Гелмана Университета Джорджа Вашингтона) и других местных архивов. Наиболее значимым собранием оригинальных документов стал архив библиотеки университета Аляски в г. Файрбанкс. Помимо этого важны и результаты археологических исследований на территории Аляски (работы Дэйва МакМахана и др.), ряда литературных источников и современных топографических изысканий.

В данной работе автор опирался на апробированные методы исследования. Натурное изучение многих поселений позволило наиболее объективно и достоверно сформулировать авторские предположения, обоснованность выводов и заключений.

Формирование планировочной структуры крупнейших поселений Русской Америки. Этапы формирования планировочной структуры русских поселений на территории Северной Америки различны и подчинены многим экономическим, политическим и природным факторам.

Так, первой «столицей» Русской Америки стало поселение на о. Кадьяк – Павловская Гавань (рис. 1), заложенное А.А. Барановым весной 1792 г. Здесь удобная для плавания на морских судах гавань представляет собой узкий пролив (ширина 130–300 м), защищенный от морских ветров довольно высоким безлесным «островком». Близ крутых берегов гавани проходит фарватер, что было удобно для заходящих судов. Большое пространство, ограниченное высоким холмом и береговой линией залива, позволяло заложить здесь достаточно крупное поселение. На территории будущего селения находились две реки и большое озеро, которые могли обеспечить селение пресной водой.

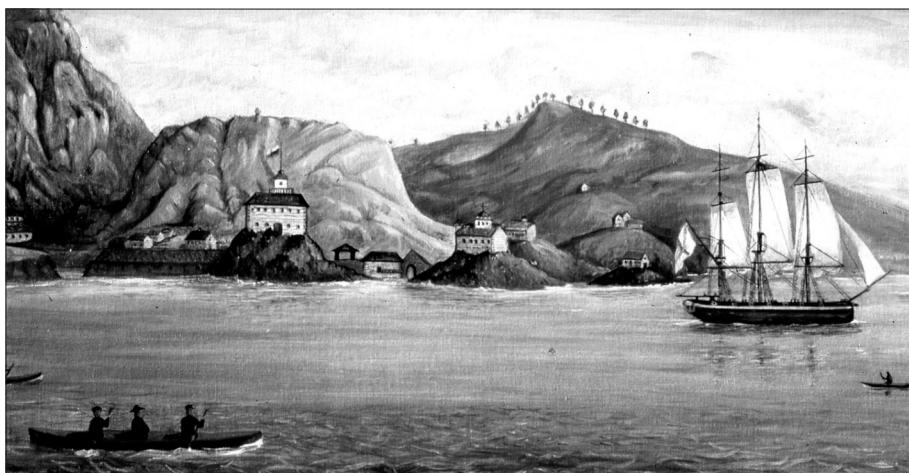


Рис. 1. Вид на Павловскую Гавань

За свою историю фактория пережила два этапа формирования, которые характеризовались бурным строительством.

Начало *первого этапа* относится к моменту заложения нового поселения в 1792 г. и продолжается до 1804 г. (рис. 2), когда внимание правления РАК переключается на строительство новой «столицы» – Новоархангельска на о. Ситка. В это время формируется исторический центр поселения с «компанийской площадью», а также жилая слобода переселенцев. В Павловской Гавани строится множество компанейских сооружений¹ – казармы, магазины, частные жилые дома, в том числе и дом правителя, ремесленные мастерские и т.д. В 1794 г. строится Воскресенская церковь с домом священника. К концу 1797 г. архимандрит Иоасаф открыл в Павловской Гавани школу.

¹ Здания, принадлежащие РАК.



Рис. 2. План Павловской Гавани 1826 г.

ница) [3]. После строительства магазина главный правитель перестал уделять большое внимание Павловской Гавани, а занялся строительством новой столицы Русской Америки – Новоархангельском. Не получая никакого развития, провинциальный поселок продолжал жить своей размеренной промысловкой жизнью вдали от «столицы» вплоть до 1820 г., когда появился новый главный правитель – М.И. Муравьев.

Этот год ознаменован наступлением нового – *второго этапа* строительства в Павловской Гавани. За пять лет правления М.И. Муравьева Павловская Гавань, обветшавшая под воздействием сложных климатических условий приморья, практически заново отстроилась. Поселок получил более регулярную сетку улиц, были разбиты участки земли в черте селения. Эти участки огораживались, и гавань приобретала более правильные и удобные черты в плане. Было отремонтировано множество старых сооружений, отстроены новые. В 1826 г. новый главный правитель Чистяков, получив указания от Главного управления РАК в Санкт-Петербурге о переносе главной конторы из Новоархангельска обратно в Павловскую Гавань, начал обращать особое внимание на это поселение. Здесь значительно увеличилось число строений (рис. 3). Но, к сожалению, по многим причинам переход «столицы» Русской Америки не был осуществлен, и небольшой поселок на северо-востоке о. Кадьяк отошел на второй план в системеселений русской колонии. Основанные около поселка мельница и лесопильный завод обеспечивали достаточными ресурсами не только Павловскую Гавань и близлежащие поселения о. Кадьяк, но и весь Кадьякский отдел РАК. Примечательно, что в 1847 г. в Русской Америке была построена первая мощенная деревом дорога длиной около 5 верст от мельницы до Павловской Гавани [4].

До 1795 г. главный правитель Русской Америки А.А. Баранов дает приказ о строительстве «при входе в гавань на мысу острова Кадиака деревянного строения батарея, на коей поднять российский флаг и расположить 11 пушек» [2]. Помимо этого сооружения, Павловская Гавань не была защищена от постороннего вторжения и других фортификаций не имела.

Обширный двухэтажный магазин организовал пространственную композицию центральной части поселения. Два крупных здания (магазин и «контора») создали архитектурный ансамбль. Этому комплексу были подчинены двухэтажная казарма «промышленных», офицерский флигель, мастерские (столярная, слесарная, куз-



Рис. 3. План Павловской Гавани 1867 г.

Вторым, самым крупным селением русской колонии стал Новоархангельск, заложенный на о. Ситка в 1804 г. (рис. 4). Главная контора РАК, переведенная сюда из Павловской Гавани практически сразу после основания фактории, во многом предопределила его судьбу.

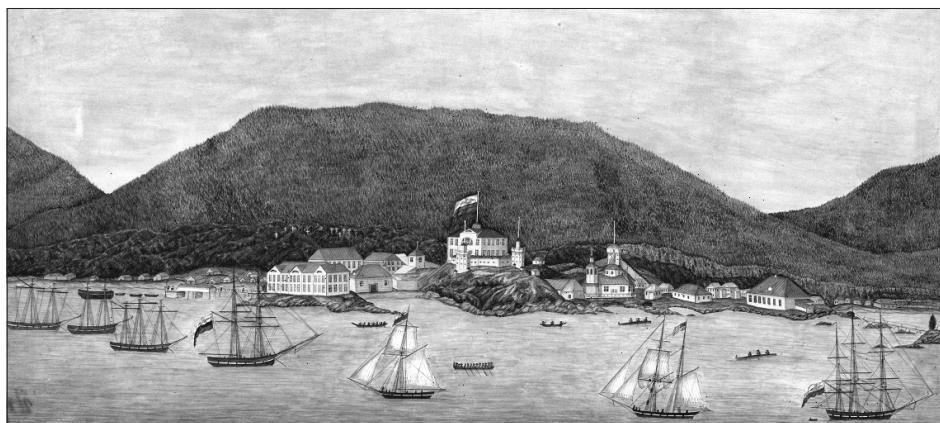


Рис. 4. Вид на Новоархангельск в 1860-е гг.

Новое место для заложения будущей «столицы» было выбрано Барановым и Лисянским на южной стороне о. Ситка, расположенного в архипелаге Александра. При выборе учитывалось географическое положение острова, торгово-экономические и политические отношения с соседними народами, а также природный ландшафт и прочность грунтов. Все лето горные вершины покрыты снегом, и только погасший вулкан Эчкомб «иной раз обнажается от него на два-три месяца» [5]. Мореходы хорошо знали этот ориентир, видный с океана на расстоянии 70 миль. В самом выборе места для поселения, хорошо защищенного надежной природной гаванью, удобного, красивого и выгодного в стратегическом отношении, видна древняя русская традиция, связанная с оптимальным использованием рельефа местности для усиления неприступности города. Еще одним немаловажным фактором при выборе места для будущего порта было то, что новое селение должно было располагаться на месте уничтоженной тлинкитской деревни, подчеркивая тем самым военное преимущество русских промысловиков над аборигенами острова.

В отличие от Павловской Гавани в развитии Новоархангельска резких подъемов строительной деятельности не отмечалось. Этапы развития нового поселения характеризовались только переносом городской стены и планомерным ростом основных районов.

После инцидента с Михайловской крепостью на этом же острове, когда поселение было полностью уничтожено тлинкитами, а жители жестоко убиты, в новом поселении намного большее внимание уделяется фортификациям. В первую очередь строится крепостная стена (острог) на кекуре². По трем его вершинам строятся мощные крепостные башни. Внутри размещаются «дом для начальника», два магазина, «караульный» дом и пороховой погреб. Также вне стен строятся баня и кухня. Хорошо укрепленное поселение стало градообразующим местом и впоследствии административным и культурным центром не только развивающегося селения, но и всей Русской Америки.

На плане Новоархангельска, сделанном в 1805 г. (рис. 5), уже обозначен ряд построек, не вошедших в крепостные стены. Начинает развиваться посад у подножия кекура. Выстроившись в один ряд с относительной регулярностью и образуя первые очертания будущей улицы, строения протянулись с запада на восток вдоль побережья залива. Сюда вошли «балаган для хранения съестных припасов», совмещенный с магазином для товаров и припасов, и обширная казарма. Немного восточнее развился из первого здания кухни большой хозяйственный комплекс, включающий в себя наряду с пекарней, «поварней», кладовой и покоями повара еще и общественную баню. Там же, на мысе, разместился сарай для плотничьих работ. С востока поселение завершалось группой хозяйственных зданий и жилищем местных жителей. Здесь разместились временная кузница с вновь выстроенным большим зданием слесарни и медеплавильной, с покоями мастеров и здание кажима или жилья для «Американцев» [6].

После перевода администрации РАК в 1808 г. в Новоархангельск наступает *второй этап* формирования поселения. Расцвет дел компании вызвал

² Кекур – камень столбом на берегу или над водою у берега; скалистый одионец, монолит.

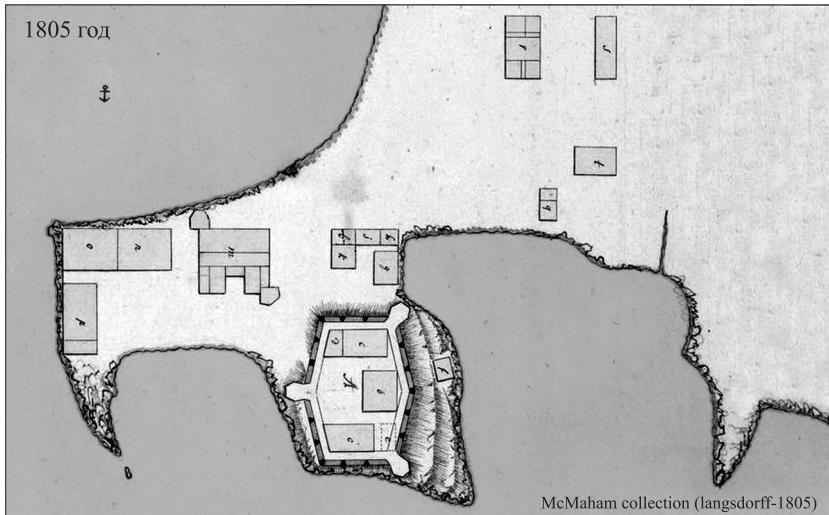


Рис. 5. План Новоархангельска 1805 г.

оживление строительной деятельности. К 1817 г. кроме новой крепостной стены было построено около 60 деревянных домов, а также церковь, верфь, блокгауз, школа, мастерские, которые были окружены деревянной стеной с башнями. Крепость была защищена 60 орудиями [7]. Она получила название «средняя крепость» (рис. 6).

Одним из важных условий формирования исторической застройки поселения в эти годы явилось развитие в Новоархангельске судостроения и долговременных фортификационных сооружений. Компоновке адмирал-

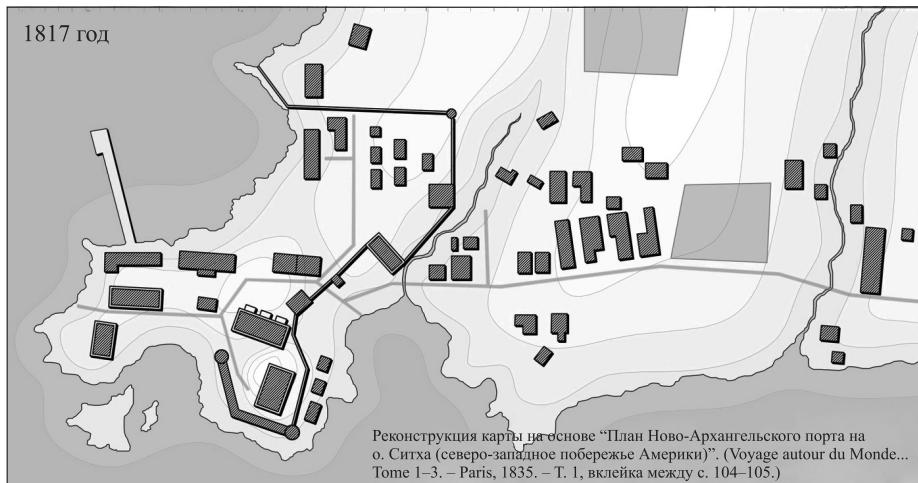


Рис. 6. План Новоархангельска 1817 г.

тейских зданий и планировочной структуре поселения способствовали наличие отливов и приливов, удобные для стапелей берега и бухта у западного рейда. Построенные здесь верфи, эллинги, мастерские для отделки рангоута, шлюпок, мачт, доки на протяжении многих лет позволяли мастерам ремонтировать после штормовых плаваний и строить суда. Новоархангельск стал



Рис. 7. План Новоархангельска 1836 г.

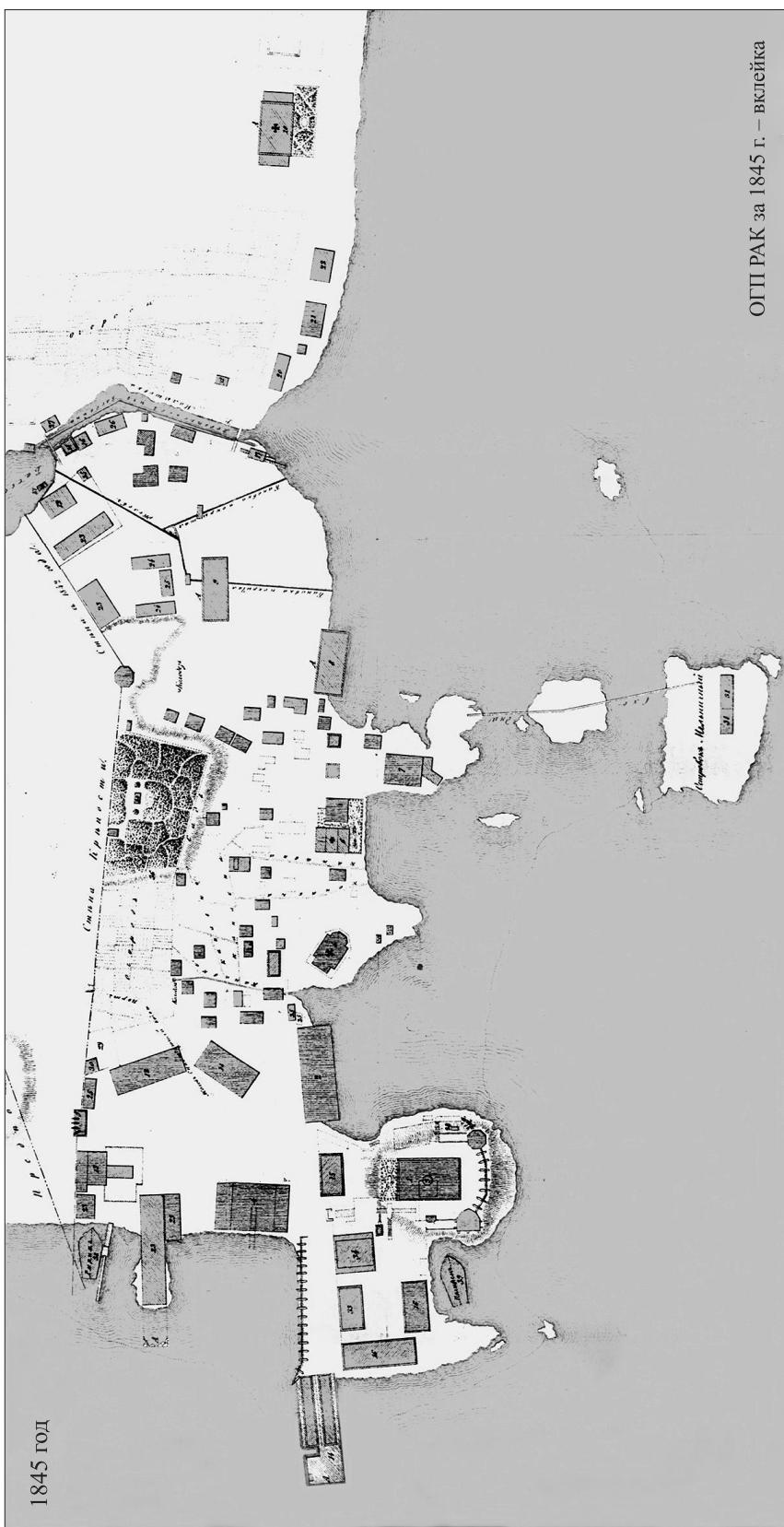


Рис. 8. План Новоархангельска 1845 г.

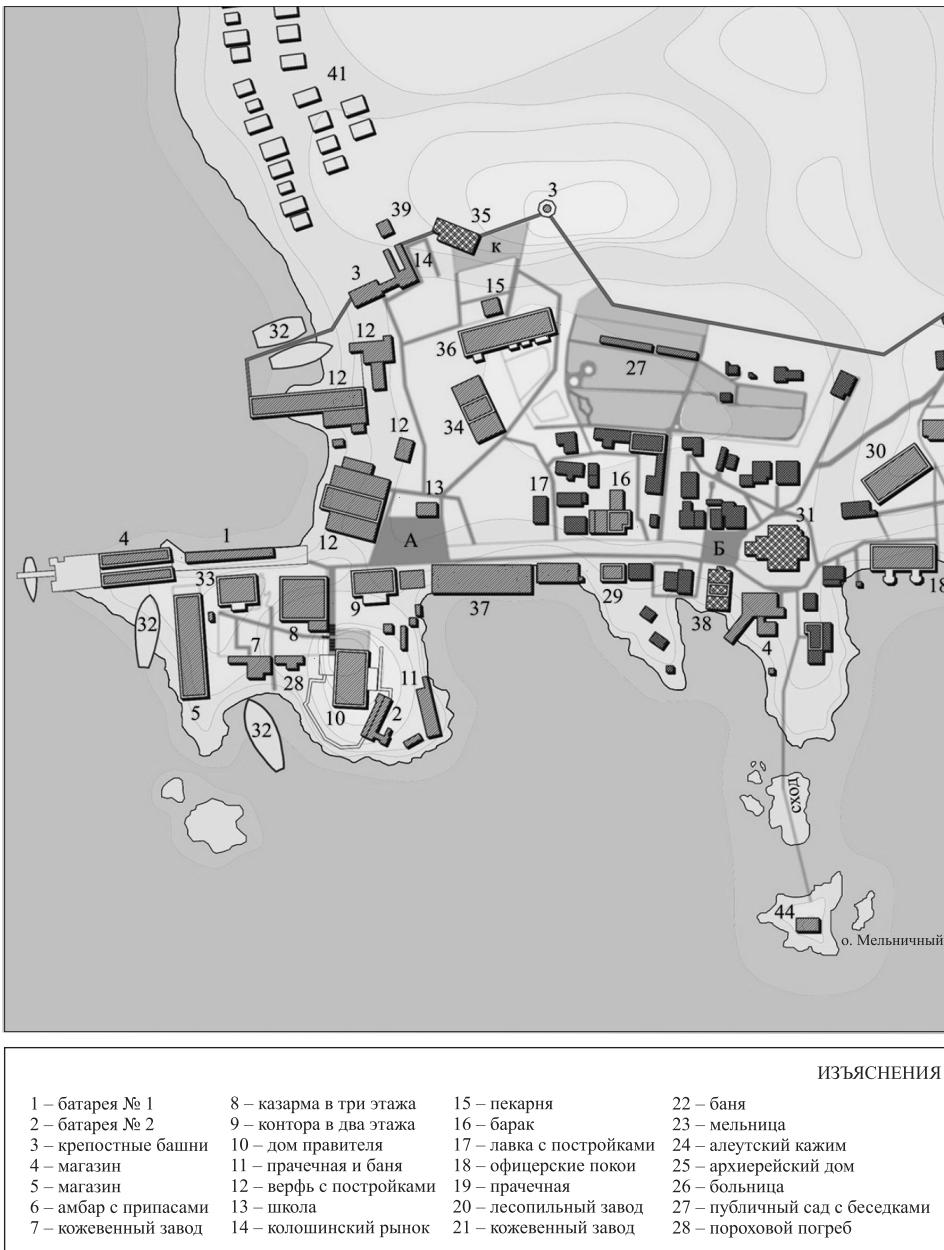
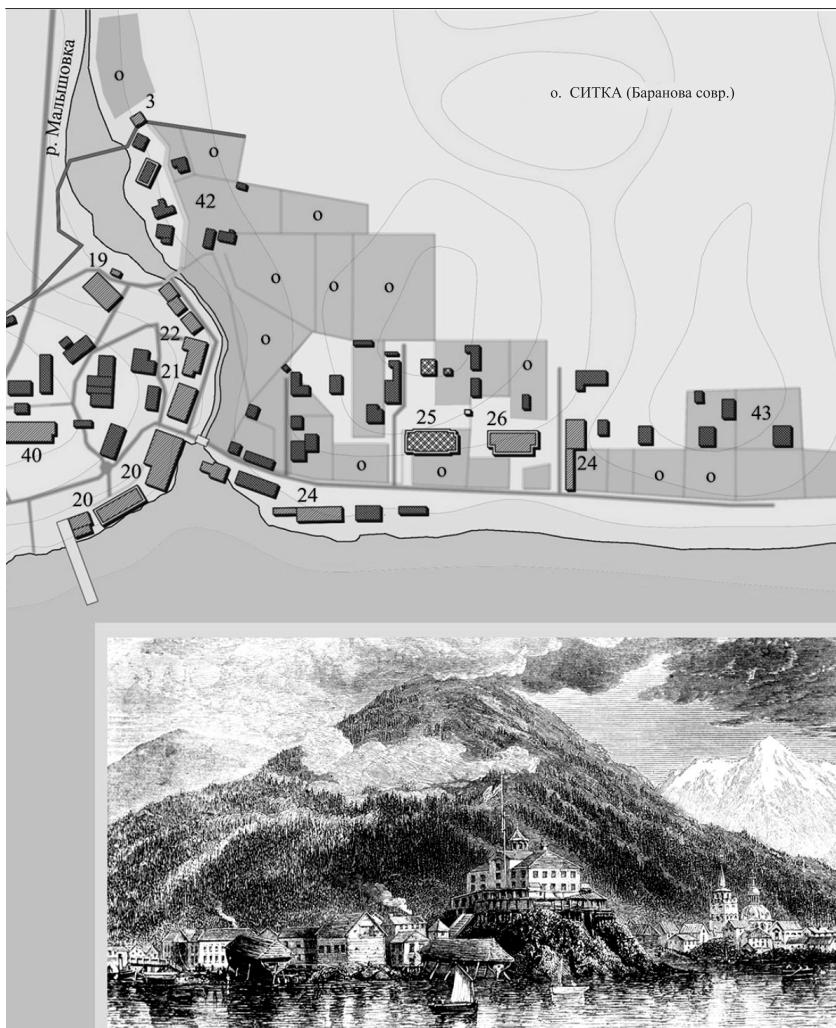


Рис. 9. План Новоархангельска

важнейшим кораблестроительным центром на Тихоокеанском побережье Америки, его с гордостью называли Адмиралтейством. Здесь был создан первый на американском западе пароход [5].

К 1831 г., как сообщает К. Хлебников, «на холме отстроена сторожевая бутка, на которой поставлено 9 орудий; против колош³ построена батарея, на кою поставлены 21 пушка и фальконеты» [8]. Оборонительный тын продолжен на восток до будки с 9 орудиями, а от нее – на юг, это четко отчертило границы поселения (рис. 7). Таким образом, на

³ Колошами русские промышленники называли индейцев тлинкитов.



К ПЛАНУ

- | | | |
|---|--------------------------|------------------------------|
| 29 – офицерские квартиры | 35 – колошинская церковь | 42 – скотный двор |
| 30 – салон | 36 – казарма в два этажа | 43 – конюшня |
| 31 – собор св. Михаила | 37 – барак | 44 – сарай для хранения рыбы |
| 32 – корпус корабля, служащий магазином | 38 – лютеранская кирха | о – огороды |
| 33 – офицерский флигель | 39 – школа для тлинкитов | к – кладбище |
| 34 – мастерские | 40 – барак | |
| | 41 – бараборы тлинкитов | ■ строения в один этаж |
| | | ■■ строения в два этажа |

в 1867 г.

третьем этапе формирования поселения Новоархангельск представлял собой крепость, укрепленную несколькими линиями, или крепость в крепости.

Наконец, *четвертый этап* формирования нового поселения и максимальный расцвет строительства приходится на 40–50-е гг. XIX в. К числу построек, сооруженных А.К. Этолиным, который занимал должность главного правителя РАК с 1840 по 1845 г., принадлежат новая пристань на каменном фундаменте, укрепленная бруствером в 12 орудий и составляющая нижнюю батарею порта, колониальный магазин, лютеранская церковь, общественный клуб, казармы для женатых нижних чинов, пороховой погреб,

общественная прачечная, двухэтажный склад, архиерейский дом, пильный завод, плотина на р. Киренка (Медвежья) высотой 5 м, шириной 14 м, длиной более 23 м [9]. Стена продолжена на восток вплоть до р. Малышовки. Стоит отметить, что в этот период селение получает деревянное мощение и уличное освещение, что редко встречалось даже в крупных сибирских городах того периода. Позднее строительство Новоархангельска шло планомерно. При новом главном правителе Тебенькове начинает упорядочиваться структура самого поселения: дома внутри фактории соединены заборами, произведено жесткое деление участков на кварталы. В результате в 1848 г. «столица» Русской Америки приобрела все черты типичного сибирского городка начала XIX в. (рис. 8).

До начала 60-х гг. XIX в. в Новоархангельске строятся новая больница, кожевенный завод, двухэтажный склад и каким (общежитие) для алеутов [10], двухэтажные дома для служащих РАК, обширная казарма для 200 солдат, также заложены два ледника для хранения 1500 т льда, предназначеннего для поставок в Калифорнию.

В поздний период русского присутствия в этом районе была возведена лютеранская кирха. В документах ее иногда называют часовней. На ближайшей к собору Св. Михаила улице были построены духовная семинария и сохранившийся поныне дом священника. Застройка районов стала более плотной, на месте огородов появились новые дома; у восточного ряда возникли новые причалы (рис. 9). Во второй половине XIX в. появились признаки экономического спада в делах РАК. Как следствие сокращается строительство в Новоархангельске: теперь большей частью не возводятся новые, а лишь реконструируются старые здания.

Третий крупный административный центр Русской Америки – селение Доброго Согласия на о. Уналашка – берет свое начало с появления первых промысловых партий в районе Алеутских островов. По данным Е. Соловьевой, первое присутствие русских на месте заложения будущего поселения относится к 1759 г. [11]. В этот период здесь строятся казармы для промысловых людей, носящие временный характер. Вплоть до начала XIX в. этот остров посещали многочисленные партии промысловиков регулярностью в два-три года, но, несмотря на это, постоянного поселения здесь так и не основали. И только с восстановлением популяции каланов на острове основывается постоянное поселение РАК, получившее название Доброго Согласия.

На узкой полоске земли, удобной для строительства селения, ограниченной горным хребтом и побережьем залива Удахта, выстраиваются первые постройки компанейской части поселения. Здесь в первые годы возводятся магазин, казарма с правлением, дом правителя селения, небольшое здание мастерских и несколько хозяйственных построек. В 1821 г. по проекту И. Вениаминова строится Вознесенская церковь, давшая начало поселенческому району. За последующие два десятка лет строительство компанейского района почти не велось, за исключением возведения здесь еще одного магазина с пристанью, барака для служащих компаний и нескольких хозяйственных построек. Несмотря на медленное строительство компанейской части, поселенческая слобода набрала высокие темпы строительства и уже в 40-х гг. XIX в. разрослась, вытеснив немногочисленные жилища алеутов за левый

берег небольшого ручья. Дальнейшее строительство в поселении характеризовалось лишь ремонтом обветшавших строений.

Таким образом, к 60-м гг. XIX в. сложилась планировочно-пространственная структура трех крупнейших административных центров русской колонии на Аляске – Новоархангельска, Павловской Гавани и селения Доброго Согласия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Молодин А.В. Оборонительные постройки русских поселений на территории Северной Америки конца XVIII – начала XIX века // Вестн. гражд. инженеров. 2014. № 5 (46). С. 5–13.
2. «Записки» приказчика РАК Н.И. Коробицына, 1795–1807 гг. // Русские открытия в Тихом океане и Северной Америке в XVIII веке / под ред. и со вступ. ст. А.И. Андреева. М.; Л., 1944.
3. Сборник музея антропологии и этнографии / отв. ред. С.П. Толстов, А.П. Потапов, С.В. Иванов и др. М.; Л.: Изд-во Академии наук СССР, 1951. № 13.
4. Тебеньков М.Д. ГП РАК, 10 мая 1848 года. СПб., 1863.
5. Тихменев П.А. Историческое обозрение образования Российско-американской компании и действий ее до настоящего времени. СПб., 1863. Ч. 2.
6. Обозрение состояния и действий Российско-американской компании с 1797 по 1819 год // Архив внешней политики Российской империи. Ф. РАК. Д. 288. Л. 7–87.
7. Соловьев К. Столица русской Америки // Архит. СССР. № 2, март-апрель 1991.
8. Хлебников К.Т. Жизнеописание Александра Андреевича Баранова, Главного правителя Российских колоний в Америке. СПб., 1835.
9. История Русской Америки (1732–1867): В 3-х т. Т. 2 / отв. ред. акад. Н.Н. Болховитинов. М.: Междунар. отношения, 1999.
10. История Русской Америки (1732–1867): В 3-х т. Т. 3. Русская Америка от зенита к закату (1825–1867) / отв. ред. акад. Н.Н. Болховитинов. М.: Междунар. отношения, 1999.
11. Sоловьёва К., Вовнянко А. The Fur Rush. Anchorage, Alaska: Phenix Press, 2002.

Молодин Александр Владимирович, канд. архитектуры, доц.;
E-mail: avmolodin@gmail.com
Университет Джорджа Вашингтона, Колумбийский колледж искусств и наук, США

Получено 23.03.17

Molodin Alexander Vladimirovich, PhD, Ass. Professor; E-mail: avmolodin@gmail.com
The George Washington University, Columbian College of Arts & Sciences, USA

TOWN PLANNING OF BIGGEST SETTLEMENT OF RUSSIAN AMERICA IN FIRST PART OF XIX CENTURY

Part 1

This article contents results of researching about town-planning activity of Russians on territory of Northern-East of North America continent. Three settlements was reviewed – Dobrogo Soglasiya (Unalashka), Pavlovsk harbor (Kadiak), Novoarchangelsk (Sitka). Author showing phase of towns' development, zone differentiation in article. He detect main town-planning centers and axes in master plans of settlements. Author review landscape as one of the factor of formation of plans structures of towns of Russian America.

K e y w o r d s: town planning, Russian America, Alaska, USA, Novoarkhangelsk, Kadyak, Unalashka.

REFERENCES

1. Molodin A.V. Oboronitel'nye postroyki russkikh poseleniy na territorii Severnoy Ameriki kontsa XVIII – nachala XIX veka [Fortifications of Russian America in first half of 19th century]. Vestnik grazhdanskikh inzhenerov [Bulletin of Civil Engineers]. 2014. No. 5 (46). Pp. 5–13. (in Russian)
2. «Zapiski» prikazchika RAK N.I. Korobitsyna, 1795–1807 gg. [«Notes» of steward of RAC N.I. Korobitsyn, 1795–1807]. Russkie otkrytiya v Tikhom okeane i Severnoy Amerike v XVIII veke [Russian discoveries in Pacific ocean and North America in 18th century]. Edited by A. Andreev. Moscow; Leningrad, 1944. (in Russian)
3. Sbornik muzeya antropologii i etnografii [Collection of anthropology and ethnographic museum]. Edited by S.P. Tolstov, A.P. Potapov, S.V. Ivanov and others. Moscow; Leningrad, Sience Academy of USSR Press, 1951. No. 13. (in Russian)
4. Teben'kov M.D. GP RAK, 10 maya 1848 goda [To Main Office of RAC, May 10, 1848]. Sankt Petersburg, 1863. (in Russian)
5. Tikhmenev P.A. Istoricheskoe obozrenie obrazovaniya Rossiysko-amerikanskoy kompanii i deystviy ee do nastoyashchego vremeni [Historical overview of foundation of Russian-American Company and it's activity till present time]. Sankt Petersburg, 1863. Part 2. (in Russian)
6. Obozrenie sostoyaniya i deystviy Rossiysko-amerikanskoy kompanii s 1797 po 1819 god [Overview of and activity of Russian-American Company since 1797 till 1819]. Arkhiv vneshey politiki Rossiyskoy imperii [Archive of Foreign Policy of the Russian Empire]. Fond RAC. File 288. Pp. 7–87. (in Russian)
7. Solov'eva K. Stolitsa russkoy Ameriki [The Capital of Russian America]. Arkhitektura SSSR [Architecture of USSA]. No. 2, March–April 1991. (in Russian)
8. Khlebnikov K.T. Zhizneopisanie Aleksandra Andreevicha Baranova, Glavnogo pravitelya Rossiyskikh koloniy v Amerike [Life story of Alexander Andreevich Baranov – general manager of Russian colony in America]. Sankt Petersburg, 1835. (in Russian)
9. Iстория Russkoy Ameriki (1732–1867) [The history of Russian America (1732–1867): in 3 vol. Vol. 2]. Editor N.N. Bolkhovitinov. Moscow, International relation, 1999. (in Russian)
10. Iстория Russkoy Ameriki (1732–1867) [The history of Russian America (1732–1867): in 3 vol. Vol. 3]. Editor N.N. Bolkhovitinov. Moscow, International relation, 1999. (in Russian)
11. Solov'eva K., Vovnyanko A. The Fur Rush. Anchorage, Alaska: Phenix Press, 2002.

УДК 72.01(470)

А.А. ГУДКОВ, И.В. НЕВЗГОДИН, И.Л. РОСТОВЦЕВА

ФОРМИРОВАНИЕ КОРПУСА ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ АРХИТЕКТУРНО-ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫХ КАДРОВ В СИБИРИ В КОНЦЕ XVIII – ПЕРВОЙ ПОЛОВИНЕ XIX ВЕКА

Рассматривается проблема появления в Сибири профессиональных архитектурно-градостроительных кадров. Процесс изучен в контексте развития административно-управленческой системы России в целом, с выделением двух основных этапов: конец XVIII в.; первая половина XIX в. и дана им оценка. Обобщены сведения из архивных источников и из опубликованных научных работ различных авторов.

Ключевые слова: история архитектуры, история градостроительства, архитектура и градостроительство Сибири, архитектурно-градостроительные кадры, профессиональные архитекторы Сибири конца XVIII в. и первой половины XIX в.

Архитектурно-градостроительная деятельность в Сибири в конце XVIII – первой половине XIX в. являлась неотъемлемой частью общегосударственного процесса строительства каменных казенных зданий и перепланировки городов на регулярной планировочной основе. Сибирские города, как и все города России, подчинялись общегосударственному контролю, осуществлявшемуся на разных этапах рассматриваемого периода различными государственными органами [1]. Комиссия о каменном строении Санкт-Петербурга и Москвы, основанная в 1762 г., выполнила эту задачу до 1796 г. [2]. В своей деятельности она опиралась на следующие законодательные акты:

– 1763 г. Указ «*О сделании всем городам, их строениям и улицам специальных планов по каждой губернии особо*», который предписывал создание геодезических фиксационных планов городов;

– 1767 г. Указ «*О составлении нового уложения*», в котором впервые объявляется о строительстве во всех городах только каменных публичных зданий по заранее утвержденным проектам;

– 1775 г. Указ «*Об учреждении и управлении губерниями*», который проводит новую административную реформу разделения территории России на 50 губерний и составление штатного расписания городов: 2 столицы; 50 губернских центров; 493 уездных города; 186 заштатных городов. В состав губернских Строительных комиссий впервые вводится должность губернского архитектора.

После выхода указа 1775 г. в Сибири первые были утверждены в должностях губернских архитекторов профессиональные архитекторы: в Иркутской губернии А.Я. Алексеев [3], в Колыванском наместничестве землемер И.Н. Николаев [4], в Тобольской губернии «поручик архитектурии» А.Ф. Гучев [5, с. 65].

Помощниками архитекторов, а иногда и заместителями их в должностях работали геодезисты и землемеры, получившие образование в открытых в се-

редине 1750-х гг. Нерчинской, Иркутской¹, Тобольской, Томской школах навигации и геодезии (Навигацких школах) [3].

В Навигацких школах кроме базовых дисциплин (российской грамоты, арифметики, тригонометрии, частей алгебры, геодезии, землемерии, фортификации) в Тобольске преподавалось рисование [5, с. 198], а в Иркутске – гражданская архитектура [3].

Забота о реализации крупных градостроительных программ в масштабах всей страны привела к тому, что курс гражданской архитектуры был введен не только в программу школ Навигации, но вообще в программу среднего образования.

В 1789 г. Академией наук был опубликован учебник «Краткое руководство к гражданской архитектуре или зодчеству, изданное для училищ Российской империи...»². Эта книга была переводом, с дополнениями, сделанными профессором математики и физики М.Е. Головиным, с учебника по гражданской архитектуре, вышедшего в Австрии.

Книга была составлена на основе трудов архитекторов античности и Возрождения и содержала правила построения и применения ордеров. Значительная часть ее отведена практическим сведениям: о свойствах строительных материалов и фундаментов, о работе конструкций, о правилах строительства.

Этот учебник, а также книги И. Лема: «Опыт городовым и сельским строениям...», «Правила о перспективе», «Теоретические и практические предложения о гражданской архитектуре...», изданные в 1780–1792 гг.³, стали источниками теоретических и практических знаний для занимавшихся строительством в стиле классицизма в провинции. В Тобольске с 1788 по 1790 г. помощником губернского архитектора «поручика архитектурии» А.Ф. Гучева служил воспитанник Тобольской навигацкой школы землемер Ф. Уткин. Два года работ по восстановлению города после пожара под руководством А.Ф. Гучева стали для него школой строительного искусства, подготовившей его к дальнейшей деятельности в должности губернского архитектора, после отъезда А.Ф. Гучева в 1790 г. к месту нового назначения в Ярославль [5, с. 202]. В последующие годы эту должность занимали уездный землемер подпоручик Г. Драницников и выпускник Иркутской навигацкой школы П. Лукин [5, с. 208].

Документально известно, что тобольские геодезисты П. Моисеев, В. Пономарев, И. Козловский и Копейкин разрабатывали новые генеральные планы Красноярска и Енисейска, а также занимались проектированием казенных и частных жилых зданий в этих городах [6].

¹ В 1745 г. в Иркутске была открыта Геодезическая школа. В 1765 г. она сливалась с Нерчинской школой навигации и геодезии. Впоследствии школа навигации и геодезии закрылась, но положила начало светским учебным заведениям всей Восточной Сибири.

² [Головин М.Е.] Краткое руководство к гражданской архитектуре или зодчеству, изданное для народных училищ Российской империи по высочайшему повелению царствующая императрицы Екатерины Вторая. СПб.: [Издание Комиссии об учреждении народных училищ. Тип. Брейткопфа], 1789. [6]. 137 с., 7 л. черт.

³ Учебник переиздавался в 1804 и 1821 гг. Образцовые проекты в жилой застройке русских городов XVIII–XIX вв. / Е. Белецкая, Н. Крашенинникова и др. М., 1961. 208 с.

С 1781 г. помощником губернского архитектора А.Я. Алексеева в Иркутске работал А.И. Лосев, выпускник Иркутской навигацкой школы, назначенный на должность «старшего геодезиста и архитектурного помощника», а с 1799 по 1803 г. служивший в должности губернского архитектора [7, с. 30].

На Барнаульском заводе деревянные церкви проектировал и строил геодезии прaporщик П. Старцев. «На Колывано-Воскресенских заводах сложилась своя школа каменного и деревянного зодчества, которую составили талантливые мастера горного дела И. Денисов, Ф.В. Стрижков, Д.Ф. Головин, И.И. Черницын, инженеры И. Медер, С. Плаутин, механик Ф.С. Ваганов, конструкторы И.И. Ползунов и А.С. Вяткин» [8, с. 81–96].

Исходя из вышеизложенного, можно утверждать, что профессиональные архитекторы появились в Сибири на рубеже 70–80-х гг. XVIII в. после выхода указа 1775 г. Так, в Тобольск поручик «архитектурии» А.Ф. Гучев указом Сената от 21 января 1782 г. был назначен на должность губернского архитектора и пробыл в ней до 1790 г. В Иркутском наместничестве с 1779 по 1790 г. в должности губернского архитектора был архитектор А.Я. Алексеев, ранее работавший в кантоне от строений Его Императорского Величества (Е.И.В.) домов и дворцов под руководством Ю.М. Фельтена. В Колыванском наместничестве в конце XVIII в. архитектора так и не было.

Из-за отсутствия профессиональных кадров администрация вынуждена была на архитектурные должности назначать землемеров или военных геодезистов, что, несомненно, сказывалось на качестве проектных работ.

Реорганизация системы управления, произошедшая в 1802–1810 гг., повлекла кардинальные изменения в проектном деле. Первоначально все вопросы благоустройства и застройки городов России были сосредоточены во Второй экспедиции Министерства полиции, в составе которой была архитектурно-строительная часть, ведавшая гражданским строительством в государстве [2]. В дальнейшем вопросы планировки, благоустройства и контроля за частной застройкой городов с 1810 г. перешли в ведение Исполнительного Департамента Министерства полиции, вплоть до передачи его в состав Министерства внутренних дел в 1817 г.⁴, а вопросами проектирования казенных зданий и согласования проектов местных архитекторов занимался Строительный комитет (СК), который контролировал решение вопросов «по части строительной, осмотр и освидетельствование произведенных работ», а также рассматривал вопросы строительства казенных зданий (т.е. зданий, строившихся на государственные средства).

В архитектурной деятельности СК делал упор на создание образцовых проектов. Так, в 1809 г. появилось два альбома (по 100 листов каждый) образцовых проектов жилых домов (авторы Л.И. Руска и В.И. Гесте), а в 1811 г. альбом оград и ворот, составленный В.П. Стасовым. Подготовка всех вопросов, непосредственно связанных с планировкой городов, с августа 1810 г. была возложена персонально на архитектора В.И. Гесте (William Hastie), обладавшего к этому времени большим проектно-строительным опытом [9, 10].

Свою деятельность в области общегосударственного градостроительства В.И. Гесте начал с изготовления в 1811 г. чертежей 26 планов «образцо-

⁴ РГИА, ф. 1285, оп. 8, ед. хр. 895, л. 8.

вых» кварталов и площадей, объединенных в альбом под названием «Разделение городских кварталов на обывательские места» [11]. Таким образом, он закончил унификацию последнего элемента городской структуры, начиная с жилых домов и заканчивая планировкой кварталов и площадей. По существу это был завершающий и логически законченный этап регулярного градостроительства.

В конце этого же 1811 г. (5 декабря) В.И. Гесте представил министру полиции «служебную записку»⁵, в которой изложил свое мнение о том, как следует организовать планировочное дело и привести в «надлежащий порядок» планы всех городов России.

Просуществовавший с 1806 по 1832 г. Строительный комитет сначала был прикреплен к Министерству полиции, а с 1817 г. к Министерству внутренних дел⁶.

Строительству любого здания общественного назначения в Сибири предшествовало утверждение его проекта в Строительном комитете. В выполненных для Сибири, рассмотренных или исправленных в Строительном комитете до 1832 г. чертежах зданий часто встречаются подписи архитекторов П.И. Висконти и И.И. Шарлеманя⁷.

В 1832 г. Технико-строительный комитет при МВД передается в Главное управление путей сообщения и публичных зданий, заведовавшее всем гражданским строительством до 1864 г. В провинции были созданы губернские Строительные комиссии, в составе которых значились губернский архитектор и «архитекторский помощник».

В XIX в. должность губернских архитекторов исполняли преимущественно выпускники Академии художеств. В Тобольске в должности служили М.С. Малышев (до 1805 г. и после 1810 г.), П.И. Праман (1830 г.), А.А. Трофимов (1832 г.)⁸, во второй половине 1830-х гг. Ф.Ф. Суворов [18].

После образования Томской губернии в 1804 г. на должность губернского архитектора был приглашен из Тобольска М.С. Малышев (с 1805 по 1810 г.).

С апреля 1810 г. в должность вступил П.В. Раевский, работавший после окончания Академии художеств (1800 г.) в Санкт-Петербурге архитекторским помощником в Кабинете Е.И.В. (1802–1810 гг.) под началом Ч. Камерона, рекомендовавшего его на должность губернского архитектора [12].

С 1832 по 1837 г. Томским губернским архитектором был выпускник Академии художеств 1821 г. К.Г. Турский. С 1840 по 1842 г. должность исправлял выпускник Академии художеств 1824 г. А.А. Арефьев [12, с. 95], служивший до этого в Санкт-Петербурге архитекторским помощником в чертежной военного генерал-губернатора, потом в департаментах провинциском и военных поселений.

Первым Енисейским губернским архитектором (1824–1830 гг.) стал П.Ф. Воцкий. В 1829, 1831–1837 гг. должность исполнял Д.А. Маковецкий, занимавшийся реализацией плана застройки губернского г. Красноярска, с помощником губернского архитектора П.А. Шаровым, вступившим в

⁵ РГИА, ф. 1286, оп. 2, ед. хр. 60, л. 2.

⁶ ПСЗ РИ, т. XXXI, № 24326; РГИА, ф. 1286, оп. 2, ед. хр. 54, л. 1,4 об.

⁷ РГИА, ф. 208, оп. 1, д. 76, 1834 г., л. 812; Там же, д. 183, 1833, 1840 гг.

⁸ ТФГАТО, ф. 329, оп. 545, св. 11, № 91; св. 9, д. 74, л. 167, 363, 365. Рапорт Трофимова о построении в Ялуторовске Тобольскому мещанину Попову дома.

должность в 1827 г., сразу после окончания Академии художеств, и проработавшим до 1846 г.⁹

В Иркутске в первой половине XIX в. в должности губернского архитектора продолжали работать выпускники Навигацкой школы. Преемником А.И. Лосева стал его сын И.А. Лосев, а с 1809 по 1828 г. должность губернского архитектора исполнял Я.А. Кругликов – оба были выпускниками Иркутской навигацкой школы [13]. В 1830–1840 гг. губернским архитектором был А.В. Васильев.

Только в 1844 г. в Иркутск прибыл на должность городового архитектора выпускник Академии художеств, получивший при выпуске звание классного художника в чине 14-го класса, А.Е. Разгильдеев, ставший с 1860 г. губернским архитектором¹⁰.

В отдаленных губерниях Сибири разрешено было приглашать на должности губернских архитекторов военных инженеров или инженеров Корпуса путей сообщения с условием прохождения ими специальной аттестации. Так, в Томске в должности последовательно служили военный инженер А.П. Деев, инженер-подпоручик Ф. Логинов, инженер А. Коробицын [12, с. 25], в Красноярске в должности Енисейского губернского архитектора, затем Красноярского городового архитектора – инженер-архитектор В.И. Бетюцкий (1859 г.) [14], в Иркутске – инженер А.А. Медведев [15]. В 1846 г. Тобольским губернским архитектором стал окончивший в 1845 г. курс в Строительном училище Главного управления путей сообщения и публичных зданий (ГУПСиПЗ) Д.С. Черненко, а его помощником определен С.В. Рыкачев, окончивший Институт ПСиПЗ¹¹. Помощниками, а иногда и заместителями губернских архитекторов по-прежнему оставались кадры Геодезического корпуса.

В начале 1830-х гг. Главное управление ПСиПЗ вводит в состав Строительных комиссий Тобольска, Томска, Омска должность городового архитектора, обязанностью которого было регулирование частной застройки города. В должности могли служить только специалисты, имевшие «аттестат о их знаниях» [12, с. 30].

Непродолжительное время служили в должности Тобольского городового архитектора (1840–1841 гг.) Г.И. Косолапов – выпускник Академии художеств (1817 г.) и П.И. Измайлова, назначенный в 1843 г. от ведомства Путей сообщения младшим городовым архитектором¹².

В 1846–1866 гг. городским архитектором Омска стал Ф.Ф. Вагнер, окончивший Московское дворцовое архитектурное училище [16].

⁹ П.А. Шаров из крепостных С.В. Строгановой. Ученик А.Н. Воронихина. Аттестат Академии получил в 1830 г., участвовал в составлении генеральных планов отдельных городов Енисейской губернии культовых, гражданских и жилых зданий в формах позднего классицизма. См.: Шумов К.Ю. Энциклопедический словарь / гл. ред. Н.И. Дроздов. Красноярск: Рус. энцикл., 1998. С. 688.

¹⁰ Гаращенко А. Иркутский архитектор Александр Разгильдеев: материалы к биографии // Иркутску 350 лет – история и современность: Материалы всерос. науч.-практ. конф. «Сибиряковские чтения» 12–13 октября 2011 г. Иркутск, 2011.

¹¹ ТФ ГАТО, ф. 353, оп. 1, св. 8, ед. хр. 53, л. 8. Именной список чиновников, занимающих классные должности в Тобольской Строительной комиссии.

¹² ТФ ГАТО, ф. 353, оп. 1, ед. хр. 60, св. 9, л. 7. Формулярный список о службе Тобольского младшего городового архитектора Губ. Секретаря Измайлова.

Кроме того, «архитектурные кадры Сибири пополнялись за счет ведомств, строительная деятельность которых не подчинялась Главному управлению Путей сообщения и Публичных зданий. В отдельных министерствах были свои строительные департаменты и комиссии со штатом архитекторов на местах. Это министерства: Императорского двора и уделов, народного просвещения, военного, морского, земледелия и государственных имуществ, финансов, и ведомства – Святейшего Синода, учреждений императрицы Марии Федоровны и проч.» [12, с. 29].

После окончания Академии художеств в 1817 г. по рекомендации архитектора Л. Руска в Тобольск в качестве архитектора Почтового ведомства был отправлен П. Прамер¹³ [16, с. 178].

Для Нерчинского и Колывано-Воскресенского горных округов, подчи- нявшихся непосредственно Кабинету Е.И.В., характерна самостоятельная забота об архитектурных кадрах. Горнозаводское начальство отправляло молодых людей, проявивших способности, для обучения в Петербург к архи- тектору, занимавшему должность главного архитектора при строениях Ка-бинета Е.И.В.

Эту должность исполнял в 1780-е гг. архитектор Н.А. Львов¹⁴, его сменил А. Порта, а с 1806 г. в должности находился К.И. Росси [17].

Так, в 1786–1790 гг. у «практикующего архитектора» Кабинета Е.И.В. А. Порта в Петербурге учился «каменной кладке и началам архитектуры» вы- ходец из семьи заводского солдата Колывано-Воскресенских заводов, «марк- шейдерский ученик» А.И. Молчанов¹⁵. После Молчанова выходцы из Колы- вано-Воскресенских заводов сначала проходили обучение в Академии художеств, а потом стажировались у архитектора Кабинета Е.И.В.

В 1820–1823 гг. обучался в архитектурном классе Академии художеств, а до 1829 г. совершенствовался в архитектурной практике под руководством архитектора Кабинета К.И. Росси Я.Н. Попов (из семьи обер-офицера Колы- вано-Воскресенских заводов).

В 1820–1825 гг. прошел полный курс Академии художеств и два года изучал «практическую архитектуру под смотрением архитекторов Росси и Михайлова» сын солдата Л.И. Иванов, посланный в Академию художеств из Нерчинских заводов. Для окончивших курс обязательным условием было возвращение в свой горный округ и служба в нем в должности архитектора. Перед возвращением в Нерчинск Л.И. Иванов был привлечен к проектированию центра Барнаула¹⁶.

Специально для «приготовления в горные архитекторы» посещал заня- тия в Академии художеств после окончания Горного института в Петербурге И.М. Злобин. По возвращении в Сибирь в 40-х гг. XIX в. И.М. Злобин проек-тировал сооружения для Риддерского, Локтевского заводов и Змеиногорско-

¹³ Им были выполнены проекты переделки дома Северюкова под почтовую контору в Тобольске и проект здания почтовой конторы для Омска.

¹⁴ В 1780-х гг. Львовым был выполнен проект церкви-ротонды для Колывано- Воскресенских заводов. Цит. по: Глумов А.Н. Н.А. Львов. М.: Искусство, 1980. С. 76.

¹⁵ ЦХАФАК, ф. 169, оп. 1, д. 567, л. 243. Цит по: Ермакова Л.И. Страницы истории // Культурное наследие. Вып. 5. Барнаул, 2003.

¹⁶ До возвращения из Петербурга заканчивавшего курс обучения в Академии Я.Н. Попова. См.: Баландин С.Н. Архитектура Барнаула. Барнаул: Алт. кн. изд-во, 1974. С. 33–37; Долнаков А.П. и др. Памятники архитектуры Барнаула. Барнаул, 1982. С. 158.

го рудника, а с 1852 г. был назначен на должность главного заводского архитектора Алтайского горного округа. Им также были выполнены проекты для Нерчинского горного округа [8, с. 94–95].

Таким образом, реализация масштабной государственной программы по насыщению отдаленных губерний профессиональными архитектурными кадрами не всегда реализовывалась в полном объеме. На начальном этапе, во второй половине XVIII в. из-за отсутствия дипломированных архитекторов их помощниками или в должности архитектора в Сибири работали геодезисты или землемеры, получившие образование в Нерчинской, Иркутской, Тобольской, Томской школах навигации и геодезии (Навигацких школах). Второй этап, начало XIX в., связан с реорганизацией органов управления на министерскую, что вызывает новую волну пополнения профессиональными архитектурными кадрами. В 30-е гг. XIX в., после передачи Строительного комитета в Главное управление путей сообщения и публичных зданий, были созданы губернские Строительные комиссии. Должности главных архитекторов и их помощников, а также «городовых архитекторов», кроме выпускников Санкт-Петербургской Академии художеств, часто занимали офицеры корпуса ПСиПЗ, прошедшие специальную аттестацию. Тем не менее наличие большого количества образцовых проектов, напечатанных в начале XIX в. (Образцовые проекты фасадов – два альбома по 100 шт. Л.И. Руска и В.И. Гесте; Образцовые проекты оград и ворот – два альбома по 100 шт. В.П. Стасов, Образцовые проекты застройки кварталов и площадей – В.И. Гесте), повышали качество проектных работ и отчасти компенсировали нехватку профессиональных архитектурных кадров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горбачев В.Т., Крадин Н.Н., Крадин Н.П., Крушлинский В.И., Степанская Т.М., Царев В.И. Градостроительство Сибири / под общ. ред. В.И. Царева. СПб.: Коло, 2011. 784 с.
2. Пилявский В.И. Градостроительные мероприятия и образцовые проекты в России в начале XIX в. // Архитектурная практика и история архитектуры. СПб., 1958. С. 75.
3. Кочедамов В.И. Антон Лосев – Иркутский архитектор конца XVIII – начала XIX вв. // Архит. наследство. М.: Стройиздат. 1972. № 19. С. 102.
4. Петров Н.П. Строительное дело в России при Екатерине II // Зодчий. СПб., 1880. С. 90.
5. Копылова С.В. Каменное строительство в Сибири. Конец XVII–XVIII в. Новосибирск: Наука, 1979. 356 с.
6. Шумов К.Ю. История Успенской церкви в с. Верхнеимбатском Туруханского района Красноярского края. 2016. Источник: http://www.naov.ru/articles/67_uspenskaya-serkov-v_sele-verhneimbatskom_turuhanskogo-rayiona-krasnoyarskogo-kraya.html.
7. Nevzgodin I.V. De regelmatige meetkundige stedenbouw in Siberie. De tweede helft van de achttiende eeuw [Регулярное градостроительство в Сибири второй половины восемнадцатого века] // Nevzgodin I.V. Het Nieuwe Bouwen in West-Siberie: architectuur en stedenbouw in de jaren 1920–1940. Delft: Delft University of Technology, 2004. Р. 29–32.
8. Степанская Т.М. Архитектура городов-заводов Сибири XVIII – первой половины XIX столетия: учеб. пособие. Барнаул: Изд-во Алт. гос. ун-та, 2004. 159 с.
9. Гудков А.А. Планировочные работы В.И. Гесте в городах Сибири // Изв. вузов. Строительство и архитектура. 1988. № 12. С. 47–53.
10. Гудков А.А. Регулярные планы сибирских городов второй половины XVIII в. // Изв. вузов. Строительство и архитектура. 1989. № 7. С. 46–54.

11. Чернозубова Л.Е. Образцовые проекты планировки жилых кварталов и площадей начала XIX в. // Архит. наследство. М.-Л., 1963. № 15. С. 188–192.
12. Залесов В.Г. Архитекторы Томска (XIX – начала XX века). Томск: Изд-во ТГАСУ, 2004. 169 с.
13. Елизарова Л.П. Иркутский губернский архитектор Я.А. Кругликов // Архит. наследие и реставрация. М., 1990. С. 241.
14. Царёв В.И. Организация деятельности архитекторов Красноярска в XIX – начале XX века // Городское управление. 2000. № 6 (47). С. 54–56.
15. Кочедамов В.И. Строительство Кяхты в XVIII и XIX вв. // Тр. Академии художеств. Сер. Архитектура. 1970. № 3. С. 34.
16. Кочедамов В.И. Омск: как рос и строился город. Омск, 2014. С. 178.
17. Тарановская М.З. Карл Rossi. Архитектор. Градостроитель. Художник. Л.: Стройиздат, 1980. С. 82.
18. Schmeling D., Buchi T. German fortification theory: Diffusion into the architectural practice of building fortresses on the defense lines in Siberia in the XVIII century // Scholion. Colmena Verlag: Basel, 2016. Bull. 10. Pp. 176–187.

Гудков Алексей Алексеевич, канд. архитектуры, проф.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Невзгодин Иван Владимирович, канд. архитектуры, доц.

Делфтский технологический университет, Нидерланды

Ростовцева Ирина Львовна, ст. препод.

Новосибирский государственный университет архитектуры, дизайна и искусства

Получено 13.03.17

Gudkov Aleksey Alekseevich, PhD, Professor

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Nevzgodin Ivan Vladimirovich, PhD, Ass. Professor

Delft University of Technology, Netherlands

Rostovtseva Irina L'vovna, Senior Lecturer

Novosibirsk State University of Architecture, Design and Arts, Russia

FORMATION OF PROFESSIONAL ARCHITECTURAL AND TOWN- PLANNING PERSONNEL IN SIBERIA AT THE END OF THE XVIII CENTURY AND THE FIRST HALF OF THE XIX CENTURY

The article raises the problem of the appearance in Siberia of professional architectural and town-planning personnel. The process is considered in the context of the development of the administrative and management system of Russia as a whole with the identification of two main stages: the end of the XVIII century; the first half of the XIX century. The information is summarized both from archival sources and from published scientific works of various authors.

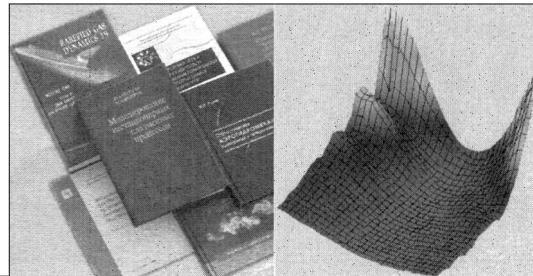
К e y w o r d s: history of architecture, history of urban planning, architecture and town-planning of Siberia, architectural and town-planning personnel, professional architects of Siberia of the end of the XVIII century and the first half of the XIX century.

REFERENCES

1. Gorbachev V.T., Kradin N.N., Kradin N.P., Krushlinskiy V.I., Stepan-skaya T.M., Tsarev V.I. Gradostroitel'stvo Sibiri [Town planning of Siberia]. Under a general adition of V.I. Tsarev. St. Petersburg, Kolo, 2011. 784 p. (in Russian)
2. Pil'yavskiy V.I. Gradostroitel'nye meropriyatiya i obraztsovyye proekty v Rossii v nachale XIX v. [Town-planning actions and model projects in Russia at the beginning of the 19th century]. Arkhitekturnaya praktika i istoriya arkhitektury [Architectural practice and history of architecture]. 1958. P. 75. (in Russian)

3. Kochedamov B.I. Anton Losev – Irkutskiy arkitektor kontsa XVIII – nachala XIX vv. [Anton Losev is the Irkutsk architect of the end of XVIII – the beginnings of the XIX centuries]. Arkhitekturnoe nasledstvo [Architectural inheritance]. Moscow, Stroyizdat, 1972. No. 19. P. 102. (in Russian)
4. Petrov N.P. Stroitel'noe delo v Rossii pri Ekaterine II [Construction matter in Russia at Ekaterina II]. Zodchiy [The Architect]. St. Petersburg, 1880. P. 90. (in Russian)
5. Kopylova S.V. Kamennoe stroitel'stvo v Sibiri. Konets XVII–XVIII v. [Stone construction in Siberia. End of the 17-18th century]. Novosibirsk, Nauka, 1979. 356 p. (in Russian)
6. Shumov K.Yu. Istorya Uspenskoy tserkvi v sele Verhneimbatskom Turukhanskogo rayona Krasnoyarskogo kraya [History of Assumption church in the village of Verkhneimbatskom of Turukhansky district of Krasnoyarsk Region]. 2016. Istochnik: http://www.naov.ru/articles/67_uspenskaya- cerkov-v-sele-verhneimbatskom-turuhanskogo-rayiona-krasnoyarskogo-kraya.html. (in Russian)
7. Nevzgodin I.V. De regelmatige meetkundige stedenbouw in Siberie. De tweede helft van de achttiende eeuw. Nevzgodin I.V. Het Nieuwe Bouwen in West-Siberie: architectuur en stedenbouw in de jaren 1920–1940. Delft: Delft University of Technology, 2004. P. 29–32.
8. Stepanskaya T.M. Arkhitektura gorodov-zavodov Sibiri XVIII – pervoy poloviny XIX stoletiya: uchebnoe posobie [Architecture of the industrial cities of Siberia XVIII – the first half of the XIX century: manual]. Barnaul, Publishing house ASU, 2004. 159 p. (in Russian)
9. Gudkov A.A. Planirovochnye raboty V.I. Geste v gorodakh Sibiri [Planning works of V.I. Geste in the cities of Siberia]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura [New of Higher Education Institutions. Construction and Architecture]. 1988. No. 12. Pp. 47–53. (in Russian)
10. Gudkov A.A. Regulyarnye plany sibirskikh gorodov vtoroy poloviny XVIII v. [Regular plans of the Siberian cities of the second half of the 18th century]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura [New of Higher Education Institutions. Construction and Architecture]. 1989. No. 7. Pp. 46–54. (in Russian)
11. Chernozubova L.E. Obraztsovye proekty planirovki zhilykh kvartalov i ploschadey nachala XIX v. [Model site plannings of residential quarters and areas of the beginning of the 19th century]. Arkhitekturnoe nasledstvo [Architectural inheritance]. Moscow–Leningrad, 1963. No. 15. Pp. 188–192. (in Russian)
12. Zalesov V.G. Arkhitektury Tomска (XIX – nachala XX veka) [Architects of Tomsk (19th century – the beginnings of the 20th century)]. Tomsk, Publishing house TGASU, 2004. 169 p. (in Russian)
13. Elizarova L.P. Irkutskiy gubernskiy arkitektor Ya.A. Kruglikov [Irkutsk provincial architect Ya.A. Kruglikov]. Arkhitekturnoe nasledie i restavratsiya [Architectural heritage and restoration]. Moscow, 1990. P. 241. (in Russian)
14. Tsalrev V.I. Organizatsiya deyatelnosti arkitektorov Krasnoyarska v XIX – nachale XX veka [The organization of activity of architects of Krasnoyarsk in the 19th century – the beginning of the 20th century]. Gorodskoe upravlenie [The municipal government]. 2000. No. 6 (47). Pp. 54–56. (in Russian)
15. Kochedamov V.I. Stroitel'stvo Kyakhyt v XVIII i XIX vv. [Construction of Kyakhta in the 18th and 19th centuries]. Trudy Akademii khudozhestv. Seriya Arkhitektura [Works of Academy of Arts. Series Architecture]. 1970. No. 3. P. 34. (in Russian)
16. Kochedamov V.I. Omsk: kak ros i stroilsya gorod [Omsk: as the city grew and was under construction]. Omsk, 2014. P. 178. (in Russian)
17. Taranova skaya M.Z. Karl Rossi. Arkhitektor. Gradostroitel'. Khudozhnik [Carle Rossi. Architect. Town-planner. Artist]. Leningrad, Stroyizdat, 1980. P. 82. (in Russian)
18. Schmeling D., Buchi T. German fortification theory: Diffusion into the architectural practice of building fortresses on the defense lines in Siberia in the XVIII century. Scholion. Colmena Verlag: Basel, 2016. Bull. 10. Pp. 176–187.

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ



УДК 699.88

Л.В. ЕНДЖИЕВСКИЙ, В.Г. КУДРИН, В.Г. СЕБЕШЕВ

ОЦЕНКА ОТЕЧЕСТВЕННОЙ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СООРУЖЕНИЙ

Представлен анализ мер обеспечения механической безопасности зданий и сооружений на основе технических регламентов (ТР). Сопоставлением регламентов и базисных документов, в результате применения которых достигается соблюдение требований ТР, с аналогичными зарубежными нормативами выявлены достоинства и отдельные недостатки. Установлено, что благодаря ТР признаны индивидуальность каждого реализованного строительством проекта, а также формы и методы контроля, отличные от применяемых для промышленной продукции. Предложены пути и приемы повышения действенности комплекса законодательно-нормативных документов как средства обеспечения безопасности строительных систем.

Ключевые слова: здание, сооружение, механическая безопасность, технический регламент, параметрический метод нормирования, метод приемлемых решений.

Сложившаяся в последние годы в строительной сфере РФ система мер обеспечения механической безопасности зданий и сооружений (ОМБЗиС) на основе ТР¹ аналогична моделям экономически развитых стран [1] и имеет все необходимые системные компоненты: нормативную базу, системы надзора (контроля) и подтверждения соответствия объектов и субъектов технического регулирования требованиям законодательства.

Одним из возможных направлений исследований ОМБЗиС является, по мнению авторов [2], равно как и авторов статьи, анализ ее нормативной базы.

В большинстве отечественных публикаций по данной тематике [3–7], преимущественно критического плана, нет целостного анализа проблемы. Нет в них и сопоставления требований ТР с положениями ключевого из ЕвроКодов (Eurocodes) – EN 1990 [8].

Цель и задачи данной работы – оценить достоинства и недостатки отечественной нормативной базы системы ОМБЗиС, а также степень ее соответ-

¹ Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» – далее ТР 1; Федеральный закон от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании» – далее ТР 2.

ствия моделям техрегулирования и обеспечения безопасности экономически развитых стран.

Подтверждением актуальности темы является создание в рамках технологической платформы «Комплексная безопасность промышленности и энергетики» отдельной секции по безопасности зданий и сооружений [2].

В основополагающем правовом акте ОМБЗиС – ТР 1, принятом в форме федерального закона, сформулированы основные понятия, а также принципы и положения, которыми руководствоваться пользователям для достижения цели обеспечения безопасности строительных систем. Но поскольку главное предназначение ТР 1 – создание условий для функционирования рыночных механизмов хозяйствования и приданье техническим нормам юридической силы [9], а не разработка нормативно-методического аппарата расчетов безопасности, то методы их реализации представлены в стандартах и сводах правил (СП), включенных в Перечни².

Структурно ТР 1 включает в себя три основные части:

- требования к безопасности зданий и сооружений;
- требования к обеспечению безопасности на всех этапах жизненного цикла зданий и сооружений;
- формы оценки соответствия (ОС); при этом ОС рассматривают как последовательность выполнения трех функций: «выбора», «определения» и «проверки и подтверждения».

В отличие от ТР 2, где перечень обязательных для применения и исполнения условий к объектам технического регулирования состоит из 12 позиций (часть 1 статьи 7), ТР 1 устанавливает лишь два минимально необходимых требования: механической и пожарной безопасности.

Остальные шесть требований (часть 6 статьи 3) обусловлены степенью риска причинения вреда зданиями и сооружениями, а также связанными с ними процессами их жизненного цикла, и устанавливаются в целях защиты жизни или здоровья граждан; необходимости охраны окружающей среды, жизни или здоровья животных и растений, а также обеспечения энергетической эффективности.

Детализация причин угроз причинения вреда от зданий и сооружений дана в статье 7.

Средством гарантии механической безопасности, согласно ТР 1, является нормативное закрепление соответствующих проектных значений параметров и качественных характеристик зданий и сооружений, их реализации в процессе строительства, реконструкции, капитального ремонта, а также поддержания состояния таковых на требуемом уровне в процессе эксплуатации, консервации и сноса (часть 1 статьи 5). Механизм реализации такого подхода – соблюдение требований стандартов и СП, включенных в Перечни, или требований специальных технических условий (СТУ).

² Имеются в виду списки обязательных стандартов и СП, одобренных Постановлением Правительства РФ от 26.12.2014 № 1521 «Об утверждении перечня национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального Закона (ФЗ) № 384-ФЗ», и Постановлением Правительства РФ от 29.09.2015 № 1033 «О внесении изменений в Постановление Правительства Российской Федерации» от 26 декабря 2014 года № 1521.

Допускается в ТР 1 и возможность установления дополнительных требований безопасности к зданиям и сооружениям и процессам их жизненного цикла иными техническими регламентами (часть 5 статьи 3).

Для конкретизации объекта технического регулирования в ТР 1 предусмотрено наличие правил идентификации, т.е. установления тождественности характеристик зданий и сооружений определенным существенным признакам (статья 4).

К новациям в ТР 1 можно отнести и предупреждение действий, вводящих в заблуждение приобретателей зданий и сооружений в отношении их безопасности.

Предусмотренные в ТР 1 формы ОС зданий, сооружений и связанных с ними процессов их жизненного цикла требованиям безопасности могут проводиться в форме:

- строительного контроля;
- государственного строительного надзора;
- заявления о соответствии здания или сооружения проектной документации (ПрД) и требованиям данного закона;
- ввода объекта в эксплуатацию и т.д.

Учтена в ТР 1 и возможность добровольной ОС установленным требованиям (статья 41).

Оценивая ТР 1 в целом, можно отметить его новизну и полезность в плане систематичности, целостности подбора и четкости изложения материалов, содержащих условия и доказательства безопасности объектов недвижимости на всех этапах их жизненного цикла.

Принципиально важно то, что в ТР 1 фактически признаны специфика ОС зданий и сооружений на стадии до и после их завершения строительством, индивидуальность каждого реализованного строительством проекта, даже повторного применения; также впервые узаконены формы и методы контроля и надзора, отличные от применяемых для промышленной продукции.

Закрепление требований безопасности на уровне закона подразумевает ответственность за неисполнение его положений, равно как и требований документов, включенных в Перечни. Создан механизм подтверждения нормативного соответствия, на который могут опираться органы государственного принуждения для количественной и качественной оценки соблюдения законодательства.

К достижениям ТР 1 можно отнести и легитимизацию части ГОСТов и СНиПов, не актуализированных к моменту принятия закона.

С вводом в действие ТР 1 исчез барьер, который сдерживал применение новых материалов и технологий.

Очевидным достоинством ТР 1 является частичная реализация в нем успешно применяемого в развитых странах параметрического метода нормирования (ПМН) [1, 10], акцентирующего внимание на цель (результат), которая должна быть достигнута путем выполнения нормативных требований, но допускает альтернативные решения. Это позволяет использовать в качестве руководящих документов международные стандарты и в то же время национальным пользователям самостоятельно определять технические критерии соответствия нормируемого объекта заявленным целям.

К сожалению, из-за единственно возможного в сложившейся отечественной законодательной ситуации способа реализации альтернативных решений – разработки СТУ главенствующим в ТР 1 является метод приемлемых решений.

Из сопоставления ТР 1 и ГОСТа 27751–2014³, важнейшего для построения системы ОМБЗиС документа из включенных в Перечни, с EN 1990 и разъясняющим его пособием [11], следует, что в последних имеется ряд прогрессивных положений, которых в отечественных нормативах пока нет.

Так, в [11] четко и наглядно представлена иерархия документов, из которой легко понять, к какой из групп документов необходимо обращаться, чтобы определить, например, то, что необходимо для оценки безопасности и долговечности той или иной конструкции.

Есть в EN 1990 и прямое указание на различия в значимости выполнения тех или иных требований.

Все условия, обязательные для исполнения в целях безопасности, пригодности к эксплуатации и долговечности конструкций, строго разделяют на Требования и нормируемые Правила (или Правила применения – ПП). Требования включают в себя обязательные утверждения и определения, для которых нет никаких альтернатив; а ПП являются общепризнанными установками, но удовлетворяют Требованиям и находятся в соответствии с ними. В то же время допускается, что Требования могут быть взаимозависимыми и частично совпадать друг с другом.

Допустимы также ПП, альтернативные правилам EN 1990, если будет доказано, что они соответствуют принципам и, по крайней мере, не хуже их в части безопасности, эксплуатационной пригодности и долговечности, предполагаемых при использовании соответствующей статьи Еврокода.

Практически оправданным является и то, что в EN 1990 в отдельный подраздел выделено «Управление надежностью», где помимо признания количественных различий в надежности подробно разъясняются способы ее обеспечения, а также обозначены конкретные действия по их реализации ([8, п. 2.2]).

Достоинством EN 1990 является также возможность выполнения численного анализа показателей надежности (приложения В и С), заключающегося в задании (таргетировании) и определении (расчете) индекса надежности, в зависимости от прогнозируемого числа потенциальных жертв.

В отличие от ТР 1 и ГОСТ 27751–2014, где лишь упомянуты вероятностно-статистические методы, в EN 1990 предусмотрена также возможность выбора различных уровней расчетов надежности и конкретизировано их содержание.

Выделено в EN 1990 и дополнительное требование к обеспечению живучести конструкций. Однако оно понимается не более чем условие ограниченности повреждений конструкции в результате взрыва, удара или субъективной ошибки. Более же подробные указания, где содержится описание возможных вариантов стратегий обеспечения безопасности и правил защиты зданий и других строительных объектов от идентифицируемых и неиденти-

³ ГОСТ 27751–2014 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. Введ. 01.07.2015. М.: Стандартинформ, 2015.

фицируемых аварийных воздействий, представлены в ЕН 1991-1-7 «Аварийные воздействия».

Необходимость включения такого требования в нормативы осознана и российскими исследователями, хотя у них до сих пор нет общепризнанного определения термина «живучесть конструкции». Например, в Пояснении к термину «надежность» в ГОСТ 27.002–89 «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения», в пункте 1.1, говорится, что «...понятие «живучесть» занимает пограничное место между понятиями «надежность» и «безопасность»...», с чем вряд ли можно согласиться.

Зачастую под живучестью понимают и «обеспечение стойкости зданий и сооружений к аварийным воздействиям или к прогрессирующему (лавинообразному) обрушению». В ГОСТ 27751–2014 (пункт 5.2.6) даже предусмотрена необходимость расчета на такое обрушение с целью обеспечения надежности строительных конструкций зданий и сооружений класса КС-3 и зданий и сооружений с массовым нахождением людей класса КС-2. Кроме того, сформулированы дополнительные требования к безопасности и защите от прогрессирующего обрушения уникальных сооружений в форме усиленного контроля качества проектирования и выполнения строительно-монтажных работ.

В защиту отечественных нормативов авторы [12] отмечают, что СП 16.13330.2011 (актуализированная редакция СНиП II-23-81 «Стальные конструкции. Нормы проектирования»), несмотря на отсутствие подраздела «Управление надежностью», тем не менее обеспечивает надежность строительных конструкций за счет соответствующих ссылок на ГОСТ 27751–2014. Но все-таки нужно подчеркнуть, что расчеты по СП не позволяют давать количественную оценку надежности.

Кроме того, в статье 15 ТР 1 дополнительно предусмотрено, что проектируемые мероприятия по обеспечению безопасности должны быть обоснованы одним или несколькими способами, например, результатами исследований, расчетами и (или) испытаниями, выполненными по сертифицированным или апробированным методикам; моделированием сценариев возникновения опасных природных процессов и явлений и (или) техногенных воздействий; оценкой риска возникновения опасных природных процессов и явлений и (или) техногенных воздействий.

Далеки от совершенства и Перечни. Так, включение в них лишь определенных документов объяснимо с позиций минимализма. Но сложно понять смысл выделения некоторых разделов в отдельных документах Перечней, притом что внятных разъяснений по этому поводу нет, а полученные из Интернета и других источников отрывочные сведения недостаточны. В равной степени это можно отнести и к разовым пояснениям разработчиков нормативной базы, как, например в [13].

В качестве позитива отметим, что с 2006 г. некоторую информацию об изменениях и нововведениях в области технического регулирования можно получить из регулярно выходящего информационно-справочного издания – бюллетеня информационной сети «Техэксперт». Этой же цели служит и новая разработка сети – Единый портал обсуждения проектов нормативных

и технических документов (<http://www.rustandards.ru>), запущенный в 2015 г. [14].

В целом же недостатки нормативов, включенных в Перечни, не носят принципиального характера. Причина их появления кроется в актуализации, сделанной наспех, «неполной и не совсем объемлющей новые научные разработки в области безопасности зданий и сооружений, имеющиеся в России и за рубежом» [15].

Так, к примеру, в раздел «Хрупкое разрушение» СП 16.13330.2011 был включен расчет на определение склонности проката к слоистым разрушениям, хотя такие разрушения ни по природе, ни по характеру не относятся к хрупким. Более того, по данным [16, 17] «слоистые трещины являются дефектами сварных соединений» и, «оставаясь не обнаруженными, ... лишь предопределяют опасность последующего хрупкого или циклического разрушения».

Однако разработчиками СП 16.13330.2011 такое определение не было включено ни в раздел «Проектирование соединений стальных конструкций», ни в раздел «Усталость». Не вошел этот расчет и в раздел 5 – «Материалы для конструкций и соединений», что было бы правильным (кстати, в EN 1993-1-1–2009 [18] это так и сделано).

Несомненным достоинством отечественных нормативов, включенных в Перечни, в сравнении с Еврокодами, является также краткость и четкость изложения большинства их положений. Например, в ГОСТ 27751–2014 признаки классификации зданий и сооружений по ответственности для классов КС-2 и КС-3 являются более четкими и конкретными в сравнении с EN 1990 с классами СС-2 и СС-3 по последствиям разрушения, хотя эти документы имеют общее качественное сходство и совпадение поправочных коэффициентов к нагружочным эффектам.

Характеризуя главу 6 ТР 1, отметим разнообразие видов ОС, особых требований к их формам, процедурам и этапам проведения таких оценок, а также влияние на них современной западноевропейской практики.

По мнению авторов [19], «Наши нормы отличаются от норм других стран тем, что это не учебник, не описание (как в США), а руководство к действию...».

Однако переход на модель, сходную с европейской, прошел в РФ в значительной степени бессистемно, лишь применительно к ее отдельным элементам.

Так, декларирование у нас лишь одна из форм подтверждения соответствия продукции наряду с сертификацией, с установлением срока действия. Более того, согласно положениям статьи 34 ТР 2, надзорные органы при контроле проверяют лишь наличие деклараций о соответствии, а не доказательственных материалов. И это притом, что надзорные мероприятия могут быть проведены в организации не чаще, чем один раз в три года. А знак обращения на рынке, согласно положениям статьи 27 ТР 2, наносится не более чем в целях информирования потребителя.

Нет у нас и такого элемента системы европейского регулирования, как наличие процедур быстрого оповещения о появлении на рынке опасной продукции, равно как и деления ответственности между участниками строительного процесса.

Стиль изложения трех первых частей ТР 1 носит бланкетный характер – когда элемент нормы права выражен в самой общей форме, с отсылками к другим нормативным правовым актам (зачастую без указания на конкретную норму, где можно найти недостающие сведения). В целом это оправданно – в силу того, что по своему назначению здания и сооружения чрезвычайно разнообразны, однако не во всем удобно для применителя.

Выводы. 1. Действенность ТР 1 в настоящее время недостаточна ввиду несовершенства его отдельных положений и не установленной напрямую юридической ответственности за нарушение его положений.

2. Необходимы дополнительные материалы (пояснения разработчиков, Пособия и т. п.), интерпретирующие отдельные положения ТР и Перечней. Особое значение имеет создание методических и нормативных разработок по расчетам надежности и долговечности зданий и сооружений, а также утверждение нормируемых показателей надежности.

3. В образовательных программах строительных вузов и колледжей целесообразно предусмотреть отдельные курсы, дающие представление о системах технического регулирования и ОМБЗиС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Serugh A. The Technical regulation in construction. Analytical review of the world experience. Chicago: SNIP. 2010. 889 p.
2. Пономарев В.Н., Травуш В.И., Бондаренко В.М., Ерёмин К.И. О необходимости системного подхода к научным исследованиям в области комплексной безопасности и предотвращения аварий зданий и сооружений // Мониторинг. Наука и безопасность. 2014. № 1 (13). С. 4–12.
3. Мельчаков А.П., Никонов Н.Н. Как сделать технический регламент о безопасности объектов действенным документом // Наука и безопасность. 2011. № 1 (09). С. 68–72.
4. Никонов Н.Н., Мельчаков А.П., Рудин В.Н. О безопасности сооружений // Пром. и гражд. стр-во. 2013. № 3. С. 49–52.
5. Пресняков Н.И., Востров В.К., Абсиметов В.Э. Развитие национальной и межгосударственной нормативной технической базы в металлостроительстве с учетом второго поколения Еврокодов // Пром. и гражд. стр-во. 2013. № 12. С. 6–12.
6. Травуш В.И., Волков Ю.С. Строительные нормы: обязательные или добровольные? Проект перечня норм, в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается выполнение требований технического регламента «О безопасности зданий и сооружений» // Вестн. МГСУ. 2014. № 3. С. 7–14.
7. Травуш В.И., Емельянов С.Г., Колчунов В.И. Безопасность среди жизнедеятельности – смысл и задача строительной науки // Пром. и гражд. стр-во. 2015. № 7. С. 20–27.
8. BS EN 1990:2002 Eurocode – Basis of structural design. Management Centre: rue de Stassart, 36 B-1050 Brussels. April 2002. 87 p.
9. Трунов И.Л. Безопасность строительства в России // Право и безопасность. 2008. № 2 (27). С. 46–49.
10. Серых А. Система нормирования в мире – от предписывающего к параметрическому методу // Архит. вестн. 2013. № 1 (30). С. 6–7.
11. Gulvanessian H., Calgaro J.-A., Holicky M. Designers' Guide to Eurocode 1990: Basic of Structural Design. Thomas Telford, 2009. 259 p.

12. Пресняков Н.И., Кудрин Ю.И. Сопоставительный анализ Еврокода EN 1993-1-1:2005 «Проектирование стальных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий и сооружений» с российскими нормативными документами в строительстве. М.: ЦНИИПСК им. Мельникова, 2011. 11 с.
13. Пресняков Н.И., Кудрин Ю.И. Пояснительная записка к терминологическому словарю для национальных нормативных документов, реализующих Еврокоды. М.: ЦНИИПСК им. Мельникова, 2014. 10 с.
14. Казанская А. Международные стандарты: передовой опыт сотрудничества // Информ. бюл. «Техэксперт». 2015. № 9. С. 3–6.
15. Ларинов В.В. Два аспекта механической безопасности зданий и сооружений // Пром. и гражд. стр-во. 2011. № 6. С. 11–13.
16. Гладстейн Л.И. Слоистое разрушение сварных соединений строительных стальных конструкций // Монтаж. и спец. работы в стр-ве. 2007. № 7. С. 2–8.
17. СТО 02494680-0056-2007 Стандарт организации. Слоистое разрушение сварных соединений строительных стальных конструкций. Требования при проектировании, изготовлении и монтаже. М.: ЦНИИПСК им. Мельникова, 2007. 42 с.
18. BS EN 1993-1-1:2005. Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings and structures. Management Centre: rue de Stassart, 36 B-1050. May 2005. 96 p.
19. Арошенко М.М., Гордеев В.Н., Лебедич И.Н. Тайны стальных конструкций. Киев: Изд-во «Сталь», 2004. 304 с.

Енджеевский Лев Васильевич, д-р техн. наук, проф., чл.-кор. РААСН

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Кудрин Виктор Георгиевич, канд. техн. наук, доц.; E-mail: kudrin_vg@mail.ru

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Себешев Владимир Григорьевич, канд. техн. наук, проф., поч. член РААСН;

E-mail: sebeshev@sibstrin.ru

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено 14.03.17

Endzhievskiy Lev Vasil'evich, DSc, Professor, Corr. Mem. RAACS

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Kudrin Viktor Georgievich, PhD, Ass. Professor;

E-mail: kudrin_vg@mail.ru

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Sebeshev Vladimir Grigor'evich, PhD, Professor, Honour. Mem. RAACS;

E-mail: sebeshev@sibstrin.ru

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

ESTIMATION OF THE DOMESTIC NORMATIVE BASIS OF STRUCTURES' MECHANICAL SAFETY MAINTENANCE

The analysis of measures to ensure the mechanical safety of buildings and constructions on the basis of technical regulations (TR) is presented. Advantages and some drawbacks of regulations and basic documents using for providing the realization of TR requirements were identified in comparison with similar foreign standards. It was ascertained that the individuality of each realized building project is recognized due to the TR as so as the forms and methods of control different from those are applied to industrial products. Methods and procedures to increase the effectiveness of a legislatively-standard documents' complex as means of providing the building systems safety are offered.

К e y w o r d s: building, construction, mechanical safety, technical regulations, parametrical method of rationing, method for acceptable decisions.

REFERENCES

1. Serykh A. The Technical regulation in construction. Analytical review of the world experience. Chicago: SNIP. 2010. 889 p.
2. Ponomarev V.N., Travush V.I., Bondarenko V.M., Eremin K.I. O neobkhodimosti sistemnogo podkhoda k nauchnym issledovaniyam v oblasti kompleksnoy bezopasnosti i predotvrascheniya avariych daniy i sooruzheniy [On the Need of System Approach Towards Scientific Research in the Field of Complex Security and Prevention of Accidents of Buildings and Structures]. Monitoring. Nauka i bezopasnost' [Monitoring: Science and Safety]. 2014. No. 1 (13). Pp. 4–12. (in Russian)
3. Mel'chakov A.P., Nikonorov N.N. Kak sdelat' tekhnicheskiy reglament o bezopasnosti ob'ektov deystvennym dokumentom [How to make a technical regulations on the safety of objects an effective document]. Nauka i bezopasnost' [Science and Safety]. 2011. No. 1 (09). Pp. 68–72. (in Russian)
4. Nikonorov N.N., Mel'chakov A.P., Rudin V.N. O bezopasnosti sooruzheniy [About structural safety]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and Civil Engineering]. 2013. No. 3. Pp. 49–52. (in Russian)
5. Presnyakov N.I., Vostrov V.K., Absimetrov V.E. Razvitiye natsional'noy i mezhgosudarstvennoy normativnoy tekhnicheskoy bazy v metallostroitel'stve s uchetom vtorogo pokoleniya Evrokodov [Development of national and interstate normative technical base in metal construction with due regard for the second generation of Eurocodes]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and Civil Engineering]. 2013. No. 12. Pp. 6–12. (in Russian)
6. Travush V.I., Volkov Yu.S. Stroitel'nye normy: obyazatel'nye ili dobrovol'nye? Proekt perechnya norm, v rezul'tate primeneniya kotorykh na obyazatel'noy osnovye obespechivaetsya vypolnenie trebovaniy tekhnicheskogo reglamenta «O bezopasnosti zdaniy i sooruzheniy» [Building regulations: compulsory or optional? The project of the list of regulations, application of which on compulsory basis ensures fulfillment of the requirements of technical regulations «On the security of buildings and structures»]. Vestnik MGSU [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2014. No. 3. Pp. 7–14. (in Russian)
7. Travush V.I., Emelyanov S.G., Kolchunov V.I. Bezopasnost' sredy zhiznedeyatel'nosti – smysl i zadacha stroitel'noy nauki [The Safety of Living Environment – Meaning and Task of Building Science]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and Civil Engineering]. 2015. No. 7. Pp. 20–27. (in Russian)
8. BS EN 1990:2002 Eurocode – Basis of structural design. Management Centre: rue de Stassart, 36 B-1050 Brussels. April 2002. 87 p.
9. Trunov I.L. Bezopasnost' stroitel'stva v Rossii [Safety of construction in Russia]. Pravo i bezopasnost' [Law and security]. 2008. No. 2 (27). Pp. 46–49. (in Russian)
10. Serykh A. Sistema normirovaniya v mire – ot predpisyvayushchego k parametricheskому metodu [The system of rationing in the world: from a prescriptive to a parametric method]. Arkhitekturnyy vestnik [Architectural Bulletin]. 2013. No. 1 (30). Pp. 6–7. (in Russian)
11. Gulvanessian H., Calgaro J.-A., Holicky M. Designers' Guide to Eurocode 1990: Basic of Structural Design. Thomas Telford, 2009. 259 p.
12. Presnyakov N.I., Kudishin Yu.I. Sopostavitel'nyy analiz Evrokoda EN 1993-1-1:2005 «Proektirovaniye stal'nykh konstruktsiy. Chast' 1-1. Obshchie pravila i pravila dlya zdaniy i sooruzheniy» s rossiyskimi normativnymi dokumentami v stroitel'stve [Benchmarking Eurocode ENV 1993-1-1:2005 «Design of steel structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings and structures» with Russian's construction normative documents]. Moscow, CNIIPSK, 2011. 11 p. (in Russian)
13. Presnyakov N.I., Kudishin Yu.I. Poyasnitel'naya zapiska k terminologicheskому slovaryu dlya natsional'nykh normativnykh dokumentov, realizuyushchikh Evrokody [Explanatory note to the terminological dictionary for national

- normative documents implementing Eurocodes]. Moscow, CNIIPSK, 2014. 10 p. (in Russian)
14. K a z a n s k a y a A. Mezhdunarodnye standarty: peredovoy opyt sotrudnichestva [International standards: advanced experience of cooperation]. Infomatsionnyy byulleten' «Tekhekspert» [Information Bulletin «Techexpert»]. 2015. No. 9. Pp. 3–6. (in Russian)
15. L a r i o n o v V.V. Dva aspekta mekhanicheskoy bezopasnosti zdaniy i sooruzheniy [Two aspects of the mechanical safety of buildings and structures]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and Civil Engineering]. 2011. No. 6. Pp. 11–13. (in Russian)
16. G l a d s h t e i n L.I. Sloistoe razrushenie svarynykh soedineniy stroitel'nykh stal'nykh konstruktsiy [Laminated destruction of welded joints in steel building structures]. Montazhnye i spetsial'nye raboty v stroitel'stve [Assembly and special operations in construction]. 2007. No. 7. Pp. 2–8. (in Russian)
17. STO 02494680-0056–2007 Standart organizatsii. Sloistoe razrushenie svarynykh soedineniy stroitel'nykh stal'nykh konstruktsiy. Trebovaniya pri proektirovani, izgotovlenii i montazhe [Proprietary standard. Laminated destruction of welded joints in steel building structures. Requirements applicable to design development, manufacture and erection]. Moscow, CNIIPSK, 2007. 42 p. (in Russian)
18. BS EN 1993-1-1:2005. Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings and structures. Management Centre: rue de Stassart, 36 B-1050. May 2005. 96 p.
19. A r o s h e n k o M.M., G o r d e e v V.N., L e b e d i c h I.N. Tainy stal'nykh konstruktsiy [Secrets of Steel Structures]. Kiev: Publishing house «Steel», 2004. 304 p. (in Russian)
-

УДК 624.271

С.А. БОКАРЕВ, А.М. КАРАУЛОВ, К.В. КОРОЛЕВ, С.В. ЕФИМОВ

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ПРОДОЛЬНОГО БОРТА БАЛЛАСТНОГО КОРЫТА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ

Представлены результаты анализа эксплуатируемых железобетонных пролетных строений на сети железных дорог нашей страны с указанием неисправностей, ухудшающих их техническое состояние. Приведены результаты полномасштабных лабораторных исследований фрагментов плиты балластного корыта с продольными бортами железобетонных пролетных строений. Изучено влияние эксплуатационных параметров балластной призмы на напряженно-деформированное состояние продольных бортов при действии вертикальной нагрузки. Выполнено сравнение результатов эксперимента с расчетными данными, которые получены по методике ВНИИЖТа расчета продольных бортов. Даны рекомендации по существенной корректировке этой методики путем рассмотрения щебеночного балласта в качестве зернистой распорной среды.

Ключевые слова: железобетонное пролетное строение, продольный борт балластного корыта, экспериментальное исследование, методика расчета продольного борта, механика зернистых сред.

На сети железных дорог РФ эксплуатируют более 43 тыс. железобетонных пролетных строений железнодорожных мостов с ездой на балласте [1–3]. Около 17 % из них запроектированы по нормам 1907, 1925 и 1931 (Н7) гг., в которых расчетная осевая нагрузка составляла менее 25 т.

При эксплуатации железобетонных пролетных строений возникают и развиваются повреждения продольного борта, например, выщелачивание цементного камня, морозное разрушение. Кроме того, нарушаются требования норм по содержанию мостового полотна, в частности, значительно превышаются толщины балластного слоя под шпалой и эксцентрикитет пути, сверхнормативно нарастаются продольные борта. Все это снижает грузоподъемность продольных бортов. Также ввод в эксплуатацию подвижного состава с повышенными осевыми нагрузками 25 и 27 т может усугубить этот процесс. Очевидно, что в таких случаях борта начинают воспринимать дополнительную нагрузку, на которую они не были рассчитаны, что может привести к несоблюдению условия безопасного и бесперебойного пропуска подвижной нагрузки [2–5]. Абсолютное и относительное количество пролетных строений с неисправностями приведено в таблице.

Возможность пропуска временной подвижной нагрузки по железобетонным пролетным строениям определяют в соответствии с требованиями «Руководства по грузоподъемности железобетонных пролетных строений железнодорожных мостов». Руководством регламентированы расчеты только главной балки и плиты балластного корыта [1], но в нем отсутствует расчет по прочности продольного борта балластного корыта, хотя, как

Количество пролетных строений с неисправностями

Наименование неисправности	Абсолютное количество пролетных строений с неисправностью, шт.	Относительное количество пролетных строений с неисправностью, %
Выщелачивание цементного камня	13100	30,4
Морозное разрушение бетона	4220	9,8
Толщина балласта под шпалой больше 40 см	8050	18,7
Эксцентричеситет пути более 5 см	7700	17,9
Продольный борт наращен более 20 см	1950	4,5
Разрушение борта на длине не менее 1 м	1680	3,9

показала практика эксплуатации железобетонных пролетных строений на сети железных дорог РФ, неоднократно происходило обрушение продольных бортов.

В 70-х гг. ХХ в. исследователями из ВНИИЖТа была предложена методика расчета продольного борта [6], в которой для определения расчетного давления балласта на продольный борт использована механика грунтов, рассматривающая балласт как сплошную однородную среду. В открытой печати не обнаружены данные лабораторных, натурных или численных экспериментов, подтверждающих то, что данная методика отражает фактическую работу конструкции с допустимой погрешностью.

Цель исследования – получение экспериментальных данных для уточнения методики расчета продольных бортов балластного корыта, в том числе с нарашенной частью. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- изучено влияние эксплуатационных параметров мостового полотна с ездой на балласте на напряженно-деформированное состояние бортов и их нарашенной части при действии вертикальной нагрузки;
- выполнено сравнение результатов эксперимента с расчетными данными ВНИИЖТа, и даны рекомендации по корректировке методики.

В 2015 г. в научно-исследовательской лаборатории «Мосты» СГУПС были проведены лабораторные испытания железобетонных образцов-фрагментов плиты балластного корыта, выполненных в натуральную величину, с нарашенными продольными бортами [7]. Образцы изготовили по арматурным и опалубочным чертежам наиболее распространенных типовых и типичных проектов железобетонных пролетных строений, эксплуатируемых на сети железных дорог ОАО «РЖД» [1, 3, 4]. Железобетонные образцы представляли собой фрагмент плиты балластного корыта полной шириной 4,18 м и длиной 1,75 м с продольными бортами различной конфигурации с каждой стороны. Опытные образцы были разделены на четыре группы: 1, 2, 3.1, 3.2 – и соответствовали разным типовым проектам. Каждая группа образцов имела размеры и армирование, соответствующие типовым проектам. На рис. 1 приведены фотографии и поперечные сечения железобетонных образцов.

Для удержания балласта от осыпания по торцам образцов устраивали деревянные щиты. Конструкция образца позволяла разместить в продольном

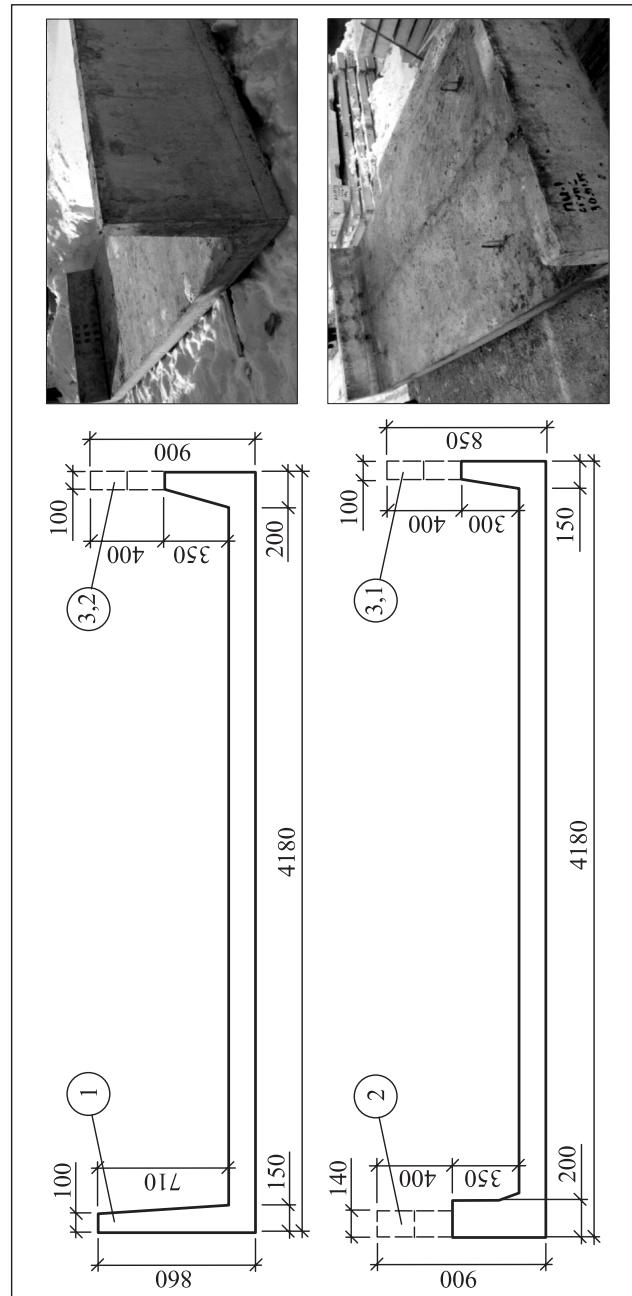
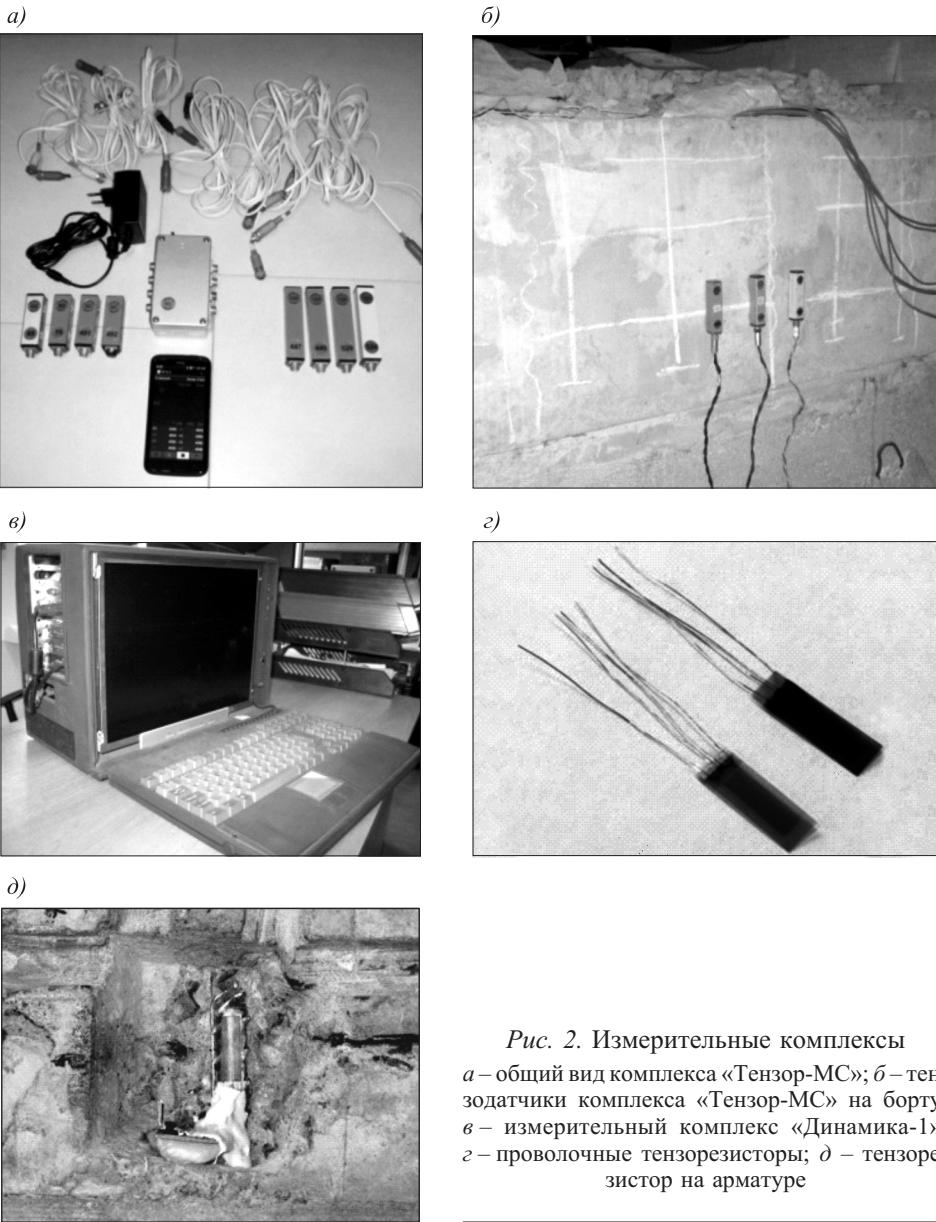


Рис. 1. Опытные образцы с продольными бортами

направлении три железобетонные шпалы с расстоянием 50 см между их осями (по эпюре равной 2000) и рубки рельсов Р65 длиной 1,7 м.

Для нагружения образцов использовали силовой цилиндр ДУ100Г300. Контроль деформаций в арматуре и бетоне бортов осуществляли измерительными комплексами «Тензор-МС» и «Динамика-1», представленными на рис. 2. Проволочные тензорезисторы наклеивали на арматуру бортов в технологические окна в защитном слое бетона. Датчики комплекса «Тензор-МС» устанавливали на внешние грани бортов для фиксации деформаций в бетоне.



*Рис. 2. Измерительные комплексы
а – общий вид комплекса «Тензор-МС»; б – тензодатчики комплекса «Тензор-МС» на борту;
в – измерительный комплекс «Динамика-1»;
г – проволочные тензорезисторы; д – тензорезистор на арматуре*

Фотография образца под силовым стендом и конструкция нагружающего устройства приведены на рис. 3. Для передачи нагрузки от силового цилиндра на образец использовали траверсу, опирающуюся на рельсы через специально изготовленные опорные части. Радиус поверхности опирания опорных частей соответствовал фактическому радиусу колесу железнодорожной колесной пары.

Нагружение образцов выполняли, имитируя воздействие вертикальной временной нагрузки. Согласно СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы», величина временной вертикальной нагрузки С14 равна 35 тс на ось. С учетом динамической составляющей максимальное значение прикладываемой на образец статической нагрузки составило 50 тс. Нагружение образцов осуществляли при толщине слоя балласта под шпалой от 25 до 75 см с шагом

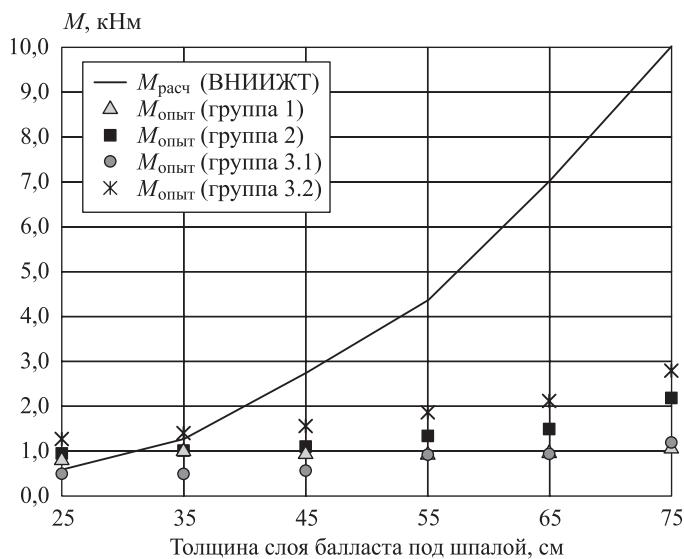


Рис. 3. Вид опытного образца, график расчетной зависимости изгибающего момента от толщины балласта и опытные данные

10 см, выполняя при каждой толщине балласта пять измерений при $a = 40 \dots 80$ см с шагом 10 см (a – расстояние от торца шпалы до внутренней грани борта). Для удержания балласта наращивались продольные борта в два этапа по 20 см.

На рис. 3 приведен график, отражающий зависимость расчетного изгибающего момента в корневом сечении борта от толщины слоя балласта под шпалой при $a = 60$ см и экспериментальные данные в виде поля точек. Из рис. 3 видно, что фактические изгибающие моменты имеют хорошую сходимость при толщине балласта под шпалой 25–35 см и меньше расчетных в 2–6 раз при толщине 45–75 см. Методика расчета продольного борта ВНИИЖТа, основанная на допущениях механики сплошной среды, не совсем корректно отражает передачу нагрузки на продольный борт через

балласт и не рекомендуется к использованию без существенной корректировки.

Железнодорожный щебеночный балласт представляет собой зернистый распорный грунт [8]. За счет распора, взаимного заклинивания и трения частицы щебня имеют связь с соседними частицами, находящимися в горизонтальной плоскости. Благодаря этому усилие, приходящееся на каждую частицу щебня, распределяется не только на нижележащие, но и на боковые частицы, тем самым уменьшается вертикальная составляющая нагрузки на нижележащие частицы. Взаимодействие между частицами щебня в балласте характеризуется безразмерным коэффициентом бокового давления (распора). В методику ВНИИЖТа предлагается внести существенное изменение – при определении горизонтального давления на продольный борт щебеночный балласт рассматривать не сплошной средой, а зернистой [8].

В качестве расчетной схемы продольного борта принимается консольная балка шириной 1 м вдоль оси моста, жестко защемленная в опорном сечении. Расчетная схема представлена на рис. 4. Расчет ведется из условия, что низ шпалы находится на одном уровне с верхом продольного борта. В случае расположения шпалы ниже верха продольного борта эпюры давлений от временной нагрузки суммируются не по всей высоте продольного борта, а по высоте, равной толщине слоя балласта под шпалой.

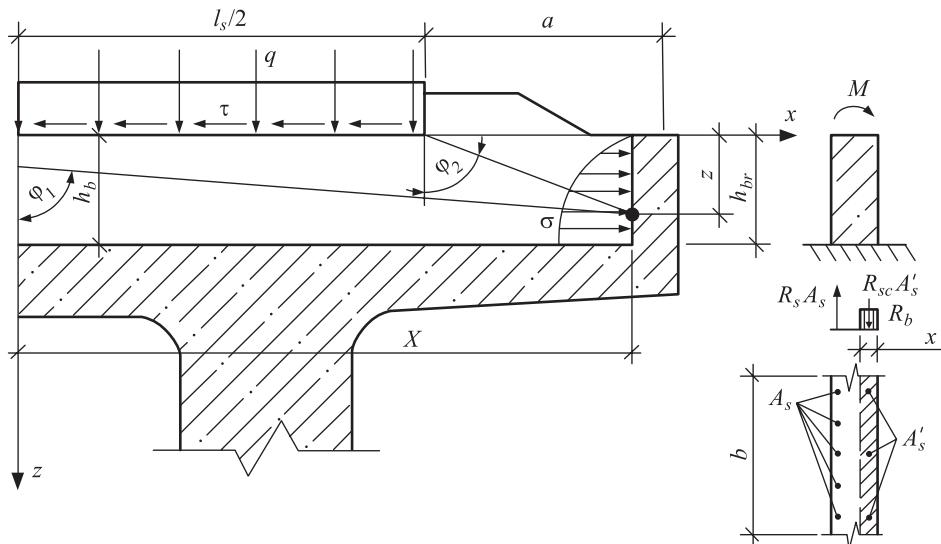


Рис. 4. Расчетная схема продольного борта

Для определения изгибающего момента в корневом сечении борта строят суммарную эпюру давления σ балласта на борт, вызванную воздействием временных нагрузок. Временную нагрузку от подвижного состава в общем случае учитывают в виде вертикального воздействия и горизонтальной нагрузки от центробежных сил (в кривых). Временную нагрузку от подвижного состава принимают равномерно распределенной по длине шпалы.

Подсчет нагрузок, действующих на борт, выполняют также на 1 м вдоль оси моста. Интенсивность временной вертикальной нагрузки от подвижного состава

$$q = \frac{P}{c \cdot l_s}, \quad (1)$$

где P – наибольшая нагрузка на ось от подвижного состава, кН;
 c – длина распределения вдоль пролетного строения, равная 1 м;
 l_s – длина шпалы, м;

Интенсивность поперечной горизонтальной нагрузки от центробежной силы на кривых

$$\tau = \frac{180 \cdot P}{c \cdot R \cdot l_s} \leq \frac{0,15 \cdot P}{c \cdot l_s}, \quad (2)$$

где R – радиус кривой, м.

В методике ВНИИЖТа горизонтальное давление балласта на стенку борта от нагрузки определяют по формулам механики сплошной среды (решение задачи Мичелла) [6] следующим образом (см. рис. 4):

– от вертикальной нагрузки

$$\sigma_q = 2 \frac{q}{\pi} \left[\phi_1 - \phi_2 - \frac{1}{2} (\sin 2\phi_1 - \sin 2\phi_2) \right], \quad (3)$$

– от горизонтальной центробежной силы

$$\sigma_\tau = 2 \frac{\tau}{\pi} \left\{ \ln \left[\frac{(0,5l_s + x)^2 + z^2}{(0,5l_s - x)^2 + z^2} \right] - \frac{2l_s x z^2}{(0,25l_s + x^2 + z^2)^2 - l_s x^2} \right\}. \quad (4)$$

В связи с тем что железнодорожный щебеночный балласт представляет собой не сплошную, а зернистую среду, горизонтальное давление балласта на борт от нагрузки рекомендуется определять по формулам механики зернистой распорной среды [8] следующим образом (см. рис. 4):

– от вертикальной нагрузки

$$\begin{aligned} \sigma_q = & 2 \frac{qv}{\sqrt{2\pi}} \cdot \left[e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x-0,5l_s}{z\sqrt{v}} \right)} - e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x+0,5l_s}{z\sqrt{v}} \right)} \right] + \\ & + 2 \frac{q\sqrt{v}}{z\sqrt{2\pi}} \left[(x+0,5l_s) e^{\left(\frac{(x+0,5l_s)^2}{2vz^2} \right)} - (x-0,5l_s) e^{\left(\frac{(x-0,5l_s)^2}{2vz^2} \right)} \right]; \end{aligned} \quad (5)$$

– от горизонтальной центробежной силы

$$\sigma_\tau = - \frac{\tau}{\sqrt{2\pi v}} \left[e^{\left(\frac{-z^2}{2v(x+0,5l_s)^2} \right)} - e^{\left(\frac{-z^2}{2v(x-0,5l_s)^2} \right)} \right]. \quad (6)$$

Изгибающий момент от временной нагрузки в корневом сечении борта $z = h_{br}$:

$$M_{q+\tau} = \int_0^{h_{br}} (\sigma_q + \sigma_\tau) \cdot b \cdot (h_{br} - z) dz + M_0. \quad (7)$$

В формулах (1)–(7):

b – расчетная ширина борта, равная 1 м;

h_{br} – высота продольного борта, м;

φ_1 и φ_2 – углы, определяющие наклон прямых, исходящих из концов шпалы; z – глубина, на которой определяют напряжение (считая от подошвы шпалы), м;

v – коэффициент бокового давления (экспериментальный параметр, был принят по опытным данным равным 0,5 при толщине балласта под шпалой 25 см);

l_s – длина шпалы, равная 2,7 м;

M_0 – начальный изгибающий момент в корневом сечении борта, равный 1 кНм.

График расчетных зависимостей изгибающего момента в корневом сечении борта от толщины балласта под шпалой при $a = 60$ см и экспериментальные данные представлены на рис. 5.

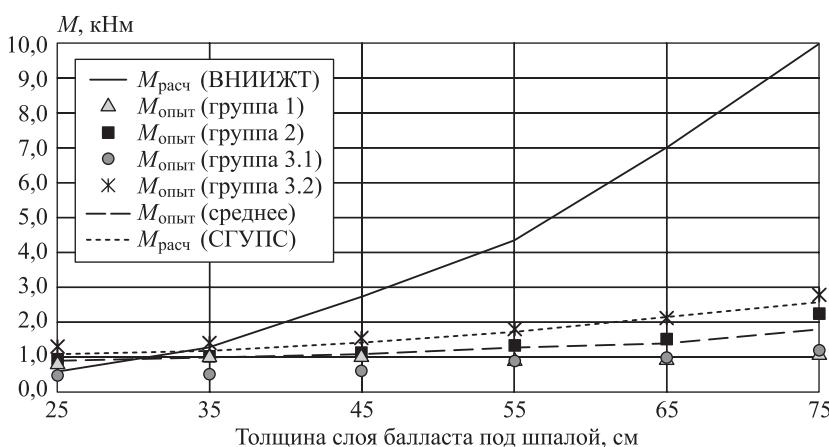


Рис. 5. Графики зависимости изгибающего момента в корневом сечении бортов от толщины балласта под шпалой при $a = 60$ см

Выводы. 1. Инженерная методика расчета ВНИИЖТ, разработанная для продольного борта плиты балластного корыта и основанная на допущениях механики грунтов сплошной среды, не отражает фактическую работу балласта под нагрузкой на значительной части диапазона изменения его толщины, дает завышенные значения момента и не может быть использована для расчета борта без существенной корректировки.

2. Выполнена корректировка методики расчета продольного борта таким образом, что щебеночный балласт рассмотрен в качестве зернистой, а не сплошной среды и при определении давления на борт использованы предпосылки механики зернистой среды.

3. Результаты расчетов по разработанной инженерной методике СГУПС показали хорошую сходимость с результатами лабораторного эксперимента для различных конструкций продольных бортов и толщин балласта.

4. При соблюдении требований нормативных документов по содержанию мостового полотна и отсутствии дефектов в конструкции продольного борта, снижающих ее грузоподъемность, нет необходимости выполнять расчеты грузоподъемности продольного борта балластного корыта. В ином случае такой расчет следует выполнить.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бокарев С.А., Ефимов С.В. О нормировании высоты продольного борта железобетонных пролетных строений с ездой на балласте // Вестн. СГУПС. 2016. № 2. С. 10–19. http://elibrary.ru/download/elibrary_26737923_29330117.pdf
2. Бокарев С.А., Прибыtkov С.С. Техническое состояние железобетонных мостов на Западно-Сибирской железной дороге и прогноз его изменения // Проектирование и строительство в Сибири. 2002. № 6. С. 19–20.
3. Власов Г.М. Железобетонные мосты. Новосибирск: Изд-во СГУПСа, 2013. 278 с.
4. Осилевский Л.И. Практические методы управления надежностью железобетонных мостов. М.: Науч.-изд. центр «Инженер», 1999. 295 с.
5. Кондратов В.В. О возможности пропуска по мостам высоких поездных нагрузок // Путь и путевое хозяйство. 2008. № 6. С. 10–13.
6. Содержание и реконструкция мостов / под ред. В.О. Осипова. М.: Транспорт, 1986. 327 с.
7. Бокарев С.А., Ефимов С.В., Служаев А.И. Лабораторные исследования продольного борта плиты балластного корыта железобетонных пролетных строений с ездой на балласте // Науч. тр. Общества железобетонщиков Сибири и Урала. Новосибирск, 2016. С. 26–32.
8. Кандаров И.И. Механика зернистых сред и ее применение в строительстве. 2-е изд., испр. и перераб. Л.: Стройиздат, 1988. 280 с.

Бокарев Сергей Александрович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: BokarevSA@stu.ru
Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск

Караполов Александр Михайлович, д-р техн. наук, проф.
Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск

Королев Константин Валерьевич, д-р техн. наук, проф.
Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск

Ефимов Стефан Васильевич, асп.; E-mail: esv@sgups.net
Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск

Получено 13.03.17

Bokarev Sergey Alexandrovich, DSc, Professor; E-mail: BokarevSA@stu.ru

Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

Karaulov Alexandre Mihaylovich, DSc, Professor

Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

Korolev Konstantin Valer'evich, DSc, Professor

Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

Efimov Stefan Vasil'evich, Post-graduate Student; E-mail: esv@sgups.net

Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

THE SUBSTANTIATION OF THE METHOD OF CALCULATION OF THE LONGITUDINAL BOARD OF THE BALLAST TROUGH OF REINFORCED CONSTRUCTION SUPERSTRUCTURES

The results of the analysis of the exploited reinforced concrete superstructures on the rail network of our country, with the indication of the faults of the technical condition that worsens them, are presented. The results of full-scale laboratory research of fragments of a slab of a ballast trough with longitudinal boards of reinforced concrete superstructures are presented. The effect of the operational parameters of the ballast prism on the stressed-deformed state of longitudinal board under the action of a vertical load is studied. The results of the experiment are compared with the calculated data obtained by the VNIIZhT method for calculating the longitudinal boards. Recommendations are given for a substantial correction of this technique by treating crushed ballast as a granular environment.

K e y w o r d s: reinforced concrete superstructure, longitudinal board of the ballast trough, laboratory research, method of calculating the longitudinal board, mechanics of granular environment.

REFERENCES

1. Bokarev S.A., Efimov S.V. O normirovanií vysoty prodol'nogo borta zhelezobetonnykh proletnykh stroeniy s ezdoy na ballaste [About standardizing the height of the longitudinal board of reinforced concrete superstructures of riding on the ballast]. Vestnik SGUPS [Herald STU]. 2016. No. 2. Pp. 10–19. http://elibrary.ru/download/elibrary_26737923_29330117.pdf (in Russian)
2. Bokarev S.A., Pribytkov S.S. Tekhnicheskoe sostoyanie zhelezobetonnykh mostov na Zapadno-Sibirskoy zheleznoy doroge i prognoz ego izmeneniya [Technical condition of reinforced concrete bridges on the West Siberian Railway and the forecast of its change]. Proektirovaniye i stroitel'stvo v Sibiri [Designing and construction in Siberia]. 2002. No. 6. Pp. 19–20. (in Russian)
3. Vlasov G.M. Zhelezobetonnye mosty [Reinforced bridges]. Novosibirsk, Publishing house SGUPS, 2013. 278 p. (in Russian)
4. Iosilevskiy L.I. Prakticheskie metody upravleniya nadezhnost'yu zhelezobetonnykh mostov [Practical methods of managing the reliability of reinforced concrete bridges]. Moscow, Scientific Center «Engineer», 1999. 295 p. (in Russian)
5. Kondratenko V.V. O vozmozhnosti propuska po mostam vysokikh poezdnykh nagruzok [On the possibility of skipping high traffic loads on bridges]. Put' i putevoe hozyaystvo [The Way and Track Economy]. 2008. No. 6. Pp. 10–13. (in Russian)
6. Soderzhanie i rekonstruktsiya mostov [Maintenance and reconstruction of bridges]. Ed. by V.O. Osipova. Moscow, Transport, 1986. 327 p. (in Russian)
7. Bokarev S.A., Efimov S.V., Sluzhakov A.I. Laboratornye issledovaniya prodol'nogo borta plity ballastnogo koryta zhelezobetonnykh proletnykh stroeniy s ezdoy na ballaste [Laboratory research of the longitudinal board of the ballast trough of reinforced concrete superstructures with ballast riding]. Nauchnye trudy Obshchestva zhelezobetonshchikov Sibiri i Urala [Scientific works of the Society of reinforced concrete workers in Siberia and the Urals.]. Novosibirsk, 2016. Pp. 26–32. (in Russian)
8. Kandaurov I.I. Mekhanika zernistykh sred i ego primenie v stroitel'stve [Mechanics of granular media and its use in construction]. 2nd edition, revised and remake. Leningrad, Stroyizdat, 1988. 280 p. (in Russian)

В ЛАБОРАТОРИЯХ ВУЗОВ



УДК 624.011.1

Г.И. ГРЕБЕНЮК, В.В. ПУРТОВ, А.В. ПАВЛИК, Н.И. КУЛЕШОВА

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОЕДИНЕНИЙ ДЕРЕВЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛАСТИНАХ И ДЮБЕЛЯХ, УСИЛЕННЫХ ШТАМПОВАННЫМИ ЗУБЧАТЫМИ ШАЙБАМИ ПРИ ДЕЙСТВИИ КРАТКОВРЕМЕННЫХ НАГРУЗОК

Совершенствование нагельных соединений с целью увеличения их несущей способности и надежности в настоящее время остается актуальным. Особое место среди них занимают соединения с использованием нагельных пластин. Наряду с уже известными металлическими штампованными зубчатыми пластинами, гвоздевыми пластинами с приваренными цилиндрическими зубьями, алюминиевыми пластинами на шурупах (пластины «SHERPA»), металлическими пластинами с зубьями-дюбелями, авторами предложены и разработаны крепежные элементы в виде металлических пластин (накладок) и дюбелей, усиленных штампованными зубчатыми шайбами. С целью определения прочности и деформативности разработанных соединений были подготовлены и проведены их испытания при действии кратковременных нагрузок вдоль и поперек волокон. При этом для сравнения несущей способности и деформативности были исследованы образцы соединений на металлических пластинах с зубьями-дюбелями, образцы соединений на металлических пластинах и зубчатых шайбах, а также образцы соединений на металлических пластинах и дюбелях, усиленных штампованными зубчатыми шайбами. На основе полученных данных был проведен сравнительный анализ кратковременной несущей способности и деформативности для всех трех видов зубчатых пластин. Даны рекомендации по применению разработанных соединений.

Ключевые слова: соединения на металлических пластинах, несущая способность, односрезное соединение, нагельные соединения, соединения деревянных элементов, зубья-дюбели, усиленные штампованной зубчатой шайбой, гвозди, металлическая пластина, зубчатая шайба, кратковременные испытания, смятие древесины, прочность, деформативность.

Введение. Один из путей развития деревянных конструкций – повышение надежности и прочности их узловых соединений. В настоящее время известны виды нагельных пластин как отечественные, так и зарубежные

© Гребенюк Г.И., Пуртов В.В., Павлик А.В., Кулешова Н.И., 2017

металлические штампованные зубчатые пластины [1, 2 и др.], гвоздевые с приваренными цилиндрическими зубьями системы КирПи-ЦНИИСК¹, металлические с зубьями-дюбелями [3], алюминиевые на шурупах («SHERPA») [4] и др. При этом с целью повышения несущей способности нагельных соединений проводятся исследования совместной работы штампованных металлических зубчатых пластин (МЗП) и цилиндрических нагелей (болтов [5], шурупов [6]). Особого внимания из вышеназванного заслуживают металлические пластины с зубьями-дюбелями. Как уже ранее было отмечено в [7], использование металлических пластин и дюбель-гвоздей, изготовленных из высокопрочной закаленной стали (рис. 1, а), позволяет значительно повысить несущую способность и снизить деформативность соединений деревянных элементов по сравнению с соединениями на гвоздях из проволоки и по сравнению с соединениями на штампованных МЗП, а также возможно усовершенствование таких соединений. Для этого было предложено на зубья-дюбели металлической пластины плотно установить штампованные зубчатые шайбы (рис. 1, б) [8]. Целесообразность принятого решения подтверждают результаты исследования работы древесины на смятие в отверстиях малых диаметров [9], которые показывают необходимость увеличения рассредоточенности передачи усилий деревянному элементу, воспринимаемых от зубьев-дюбелей. Отметим, что соединения на металлических пластинах и дюбелях, усиленных штампованными зубчатыми шайбами, у нас до настоящего времени не исследовались. Для определения кратковременной несущей способности и деформативности предложенных соединений были проведены испытания нескольких серий образцов, отличавшихся друг от друга углом между направлением действия усилия и направлением волокон древесины, а также видами зубчатых элементов.

Кратковременные испытания соединений на металлических пластинах и дюбелях, усиленных штампованными зубчатыми шайбами, проводились на образцах, изготовленных из кленой древесины сосны. Образцы необходимых размеров выпиливали из кленого бруса длиной 3 м.

Перед началом основных испытаний были определены прочностные характеристики древесины. В соответствии с нормативом² на стандартных образцах определялась прочность древесины при сжатии вдоль волокон. Образцы изготавливались из древесины сосны с влажностью 8 %. Согласно требованиям норм³, было испытано 28 образцов. Испытания образцов на сжатие проводили до разрушения на универсальной разрывной машине «Р-5». Статистические характеристики по результатам испытаний, определенные в соответствии с вышеназванным ГОСТом, приведены в табл. 1.

¹ Рекомендации по проектированию и изготовлению деревянных конструкций с соединениями на пластинах с цилиндрическими нагелями / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. М.: Стройиздат, 1988. 77 с.

² ГОСТ 16483.10–73* Древесина. Методы определения предела прочности при сжатии вдоль волокон. М., 1999. 7 с.

³ ГОСТ 16483.0–89 Древесина. Общие требования к физико-механическим испытаниям. М., 2009. 11 с.

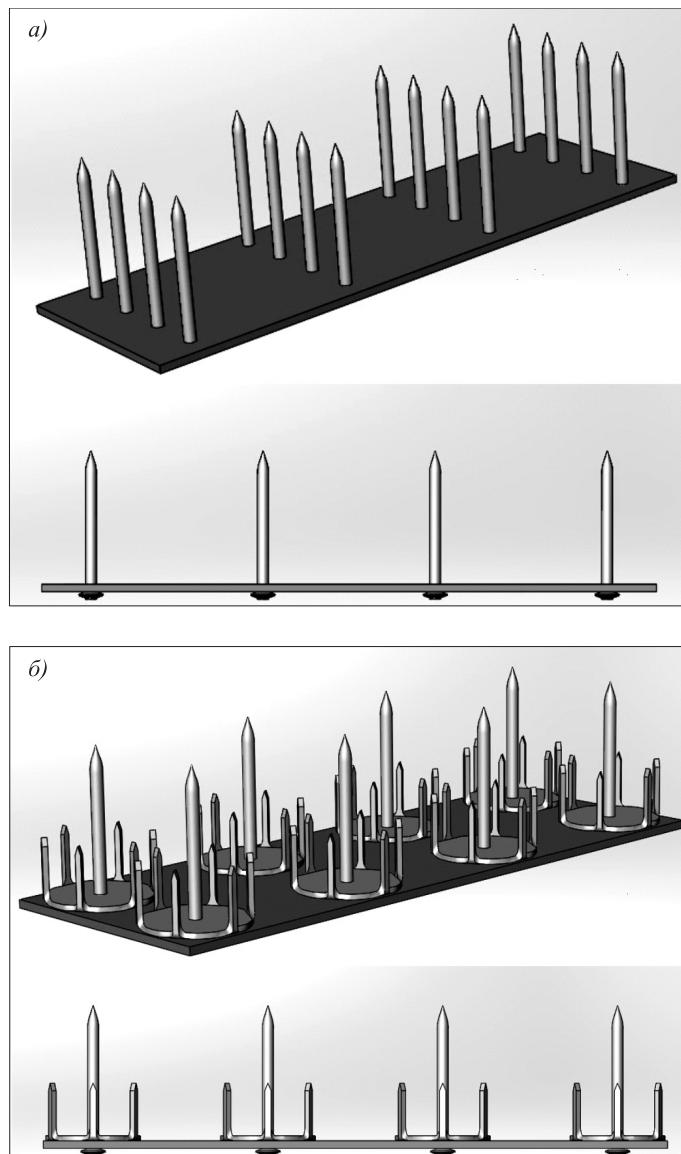


Рис. 1. Металлическая пластина с зубьями-дюбелями (а) и с зубьями-дюбелями, усиленными штампованными зубчатыми шайбами (б)

Таблица 1

Статистические характеристики	Показатели
Прочность древесины при сжатии вдоль волокон σ_{12} , МПа	44,9
Влажность образцов W , %	8
Среднее квадратическое отклонение S , МПа	6,7
Средняя ошибка среднего арифметического S_r , МПа	1,27
Выборочный коэффициент вариации v , %	14,9
Относительная точность P_v , %	5,86

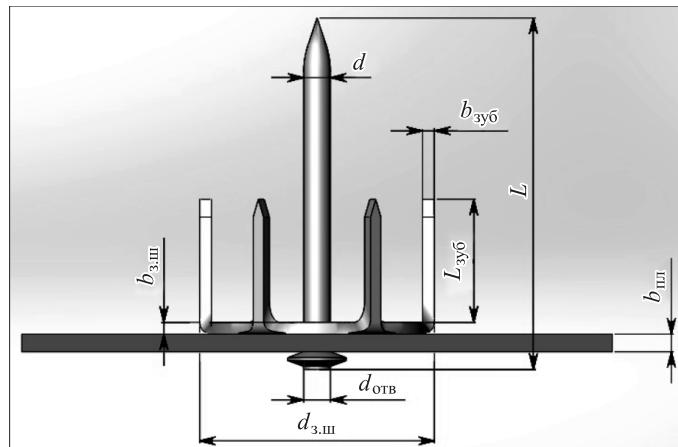


Рис. 2. Фрагмент схемы металлической зубчатой пластины с дюбелем и штампованной зубчатой шайбой

$b_{\text{зш}}$ – толщина шайбы; $b_{\text{зуб}}$ – ширина зуба; $b_{\text{пл}}$ – толщина металлической пластины; $d_{\text{зш}}$ – диаметр шайбы; $d_{\text{отв}}$ – диаметр отверстия под дюбель; d – диаметр дюбеля; L – длина дюбеля; $l_{\text{зуб}}$ – высота зуба шайбы с учетом заостренной части

При изготовлении образцов соединений использовали гладкие дюбели⁴ (Исполнение 1) длиной (L) 60 мм и диаметром (d) 4,5 мм, выполненные из конструкционной стали⁵ марки 70. Металлические пластины толщиной 3 мм и штампованные зубчатые шайбы толщиной ($b_{\text{зш}}$) 2 мм изготавливались из листовой стали⁶ С 245 (рис. 2). Предложенные шайбы имеют по краям шесть выштампованных и загнутых в одну сторону под прямым углом к поверхности шайбы зубьев. Высота зубьев ($l_{\text{зуб}}$) 19 мм и ширина ($b_{\text{зуб}}$) 2 мм. В центре шайбы расположено отверстие под дюбель диаметром ($d_{\text{отв}}$) 4,4 мм, что обеспечивает ее плотную посадку на дюбель диаметром (d) 4,5 мм.

Параметры зубчатой шайбы определяли, основываясь на результатах исследований предлагаемых соединений поляризационно-оптическим методом [10], результатах аналитического расчета влияния толщины шайбы (и связанным с ней диаметром зуба) на несущую способность (для толщин в интервале $1,5 \text{ mm} \leq \delta_{\text{зш}} \leq 2,5 \text{ mm}$), учитывая возможность их изготовления, а также принимая в расчет требования по расстановке нагелей⁷. При этом оптимальную длину зуба шайбы определяли также аналитическим способом, из условия достижения максимальной несущей способности при образовании двух пластических шарниров (в основании и по длине зуба

⁴ ТУ 14-4-1731-2007 Дюбели-гвозди с насаженными шайбами с цинковым покрытием для поршневых монтажных пистолетов. М., 2008. 6 с.

⁵ ГОСТ 14959-79 Прокат из рессорно-пружинной углеродистой и легированной стали. Технические условия. М., 2006. 15 с.

⁶ ГОСТ 27772-2015 Прокат для строительных стальных конструкций. Общие технические условия. М., 2016. 18 с.

⁷ СП 64.13330.2011 Свод правил. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80. М., 2011. 87 с.

шайбы). Учитывая все вышеперечисленные требования, зубчатые шайбы были изготовлены диаметром $d_{\text{з.ш}} = 38 \text{ мм}$.

Для того чтобы обеспечить достаточно надежные результаты при наименьшем возможном числе испытаний, примем систему интервальных оценок [11] по t -критерию.

Задавая уровень риска равным 2 % ($\alpha = 0,02$), при этом исходя из гипотезы о равенстве генеральной средней μ заданной величине, в вычислении генерального среднего, запишем

$$P\left\{t_\alpha \geq \left|\frac{\bar{X} - \mu}{\sigma}\right| \sqrt{n}\right\} = 1 - \alpha, \quad (1)$$

где \bar{X} – среднее значение измеряемой величины по выборке ограниченного объема;

μ – генеральное среднее по большому числу измерений;

t_α – квантиль t -распределения Стьюдента при уровне риска α и числе степеней свободы $f = n - 1$, определяемой по табл. 19.5-5 [11];

σ – стандарт выборки;

n – число наблюдений (при $n = 4$ число степеней свободы равно $f = 3$).

Отсюда, раскрывая выражение (1), получим

$$n \geq \frac{t_\alpha^2}{\left(\frac{\bar{X} - \mu}{\sigma}\right)^2}. \quad (2)$$

Для определения знаменателя в (2) используем гипотезу о доверительных границах нормального отклонения генерального среднего. Примем, что границы интервала с риском $\alpha = 0,02$ не покрывают вычисленных значений генерального среднего. Тогда, используя зависимость

$$P = 2\Phi\left(\frac{\bar{X} - \mu}{\sigma}\right) = 0,98,$$

по табл. 18.8-9 [11] найдем, что $\frac{\bar{X} - \mu}{\sigma} = 2,33$.

Подставив полученное значение в (2), определим

$$n = \frac{4,541^2}{2,33^2} = 3,8.$$

Таким образом, для получения надежных (с вероятностью 0,98) результатов достаточно четырех наблюдений. Принимая во внимание, что образцы симметричные и наблюдения для каждого условного среза дублируются, эксперимент необходимо повторять минимум дважды, изготавливая для этого образцы, по возможности, с одинаковыми свойствами.

С целью изучения несущей способности и деформативности соединений на металлических пластинах и дюбелях с зубчатыми шайбами были изготовлены и испытаны на воздействие кратковременной статической нагрузки

образцы односрезных соединений клееных деревянных элементов серий МДШ-0 (металлическая пластина с дюбелем и зубчатой шайбой – угол сопряжения 0°) и МДШ-90 (то же, с углом сопряжения 90°) (рис. 3, в). Для сравнения были испытаны аналогичные образцы, выполненные на дюбелях без зубчатых шайб (серии МД-0 и МД-90) (рис. 3, а). Всего было испытано по четыре образца в каждой серии (табл. 2).

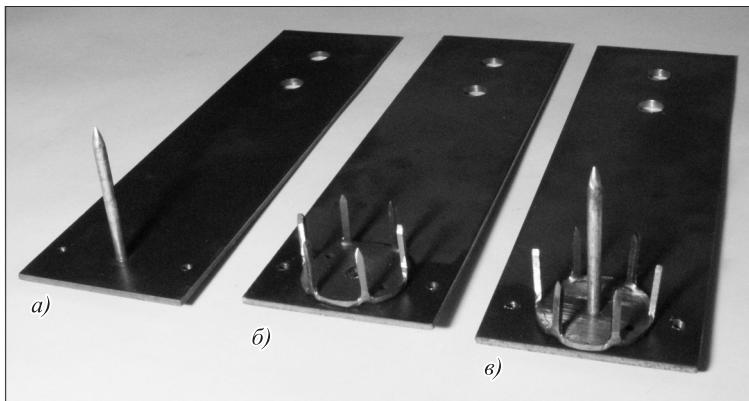


Рис. 3. Зубчатые пластины для проведения испытаний

а – металлическая пластина с дюбелем (серии МД); б – металлическая пластина со штампованной зубчатой шайбой (серии МШ); в – металлическая пластина с дюбелем, усиленным штампованной зубчатой шайбой (серии МДШ)

Для изучения влияния штампованной зубчатой шайбы на несущую способность исследуемых соединений были дополнительно изготовлены образцы соединений на металлических пластинах и зубчатых шайбах (серии МШ-0 и МШ-90) (рис. 3, б).

Назначение размеров образцов производили с учетом действующих норм по расстановке нагелей (рис. 4, а, б). В результате образцы серий МД-0, МШ-0 и МДШ-0 имели следующие размеры: $b = 110$ мм, $h = 110$ мм, $l = 250$ мм. А также были приняты размеры образцов с углом сопряжения 90° серий МД-90, МШ-90 и МДШ-90 – $b = 110$ мм, $h = 110$ мм, $l = 120$ мм (см. табл. 2).

Сборка зубчатых пластин производилась при помощи ручного инструмента. Дюбель с предварительно снятой с него оцинкованной направляющей шайбой забивали в предварительно просверленное в пластине отверстие (серия МД-0 и МД-90). Образцы серий МДШ-0 и МДШ-90 изготавливались в следующей последовательности. Зубчатую шайбу фиксировали на специальной трубке с толстой стенкой. Далее отверстие шайбы совмещали с отверстием, предварительно просверленным в пластине, и забивали дюбель. В образцах серий МШ-0 и МШ-90 зубчатая шайба крепилась к пластине при помощи заклепки и контактной сварки. Диаметр отверстий в пластине и отверстий в зубчатой шайбе для всех серий был на 0,1 мм меньше диаметра дюбеля. Полученные таким образом зубчатые пластины запрессовывались при помощи направляющих в деревянные элементы на разрывной машине «Р-5». Усилие запрессовки для вышеуказанных серий составило: МД – 1,6 кН; МШ – 7,0 кН; МДШ – 7,8 кН. С целью исключения влияния сил

Таблица 2. Основные характеристики соединения на зубчатых пластинах

Схема	Серии	Число дюбель- лей	Число шайб	Размеры элементов, мм				$\frac{d_1}{l_2}$, мм	$\frac{d_3}{l_1}$, мм	Коли- чество образ- цов
				<i>b</i>	<i>h</i>	<i>l</i>	$\delta_{пл}$			
	МД-0	2	—	110	110	250	3	—	$\frac{4,5}{60}$	4
	МД-90	2	—	110	110	120	3	—	$\frac{4,5}{60}$	4
	МШ-0	—	2	110	110	250	3	$\frac{38}{19}$	—	4
	МШ-90	—	2	110	110	120	3	$\frac{38}{19}$	—	4
	МДШ-0	2	2	110	110	250	3	$\frac{38}{19}$	$\frac{4,5}{60}$	4
	МДШ-90	2	2	110	110	120	3	$\frac{38}{19}$	$\frac{4,5}{60}$	4

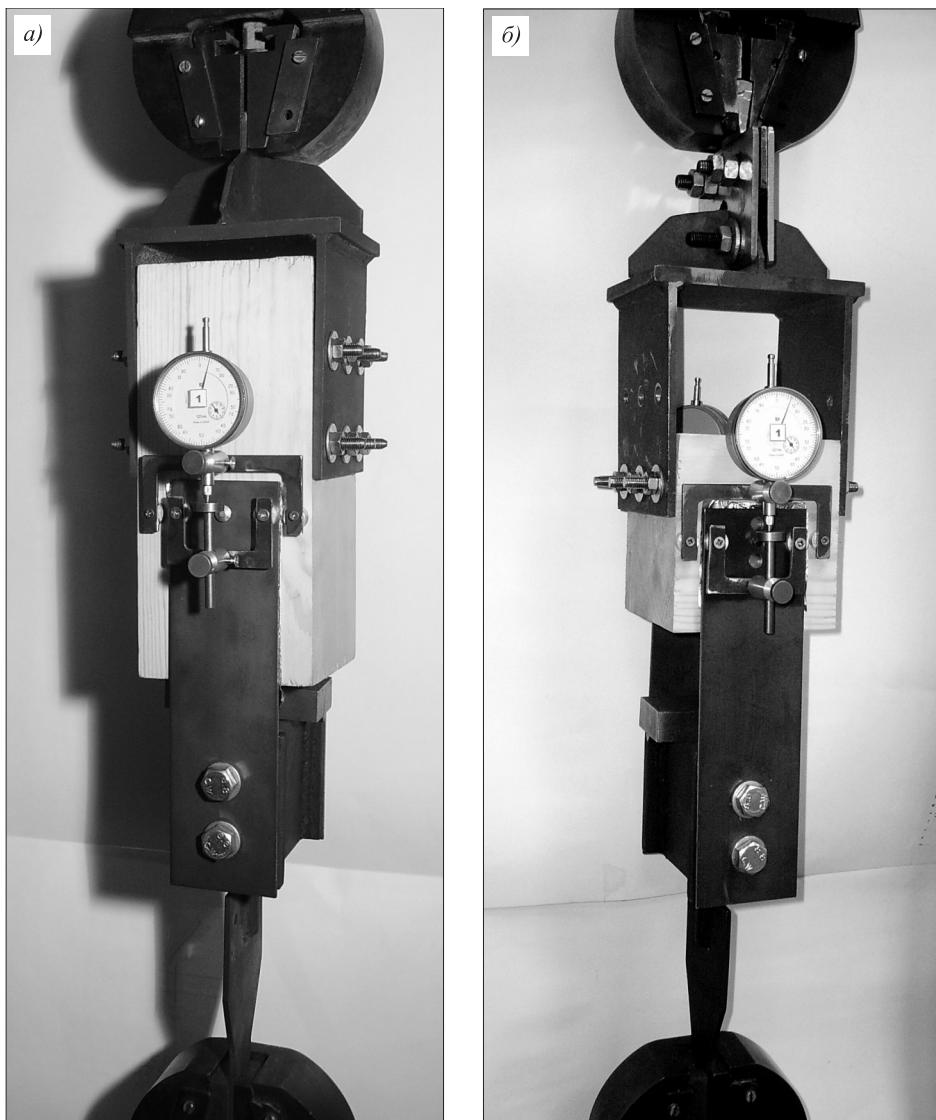


Рис. 4. Типовые образцы соединений для испытаний вдоль (а) и поперек волокон (б)

трения на работу испытываемых образцов во время проведения испытаний между пластинами (зубчатыми шайбами) и деревянными элементами прокладывали три слоя алюминиевой фольги.

Прочность древесины клеедощатых образцов соединений при сжатии вдоль волокон в среднем при влажности 7–8 % составила $R_q^{bp} = 53,5$ МПа (при влажности 12 % $R_q^{bp} = 44,9$ МПа). Полученная при испытаниях характеристика близка к указанной в действующем нормативе⁷, $R_q^{bp} = 44$ МПа при влажности древесины $W = 12$ %.

При проведении испытаний для серий МД-0, МД-90, МШ-90 на разрывной машине устанавливали шкалу в 10 кН (цена деления 0,02 кН). Для серий МДШ-0, МДШ-90 и МШ-0 устанавливали шкалу в 25 кН (цена деления 0,05 кН). Величина ступени возрастания усилия для каждой серии была определена по результатам пробных испытаний и принята равной 0,08–0,1 от разрушающего усилия. Скорость перемещения захвата устанавливали

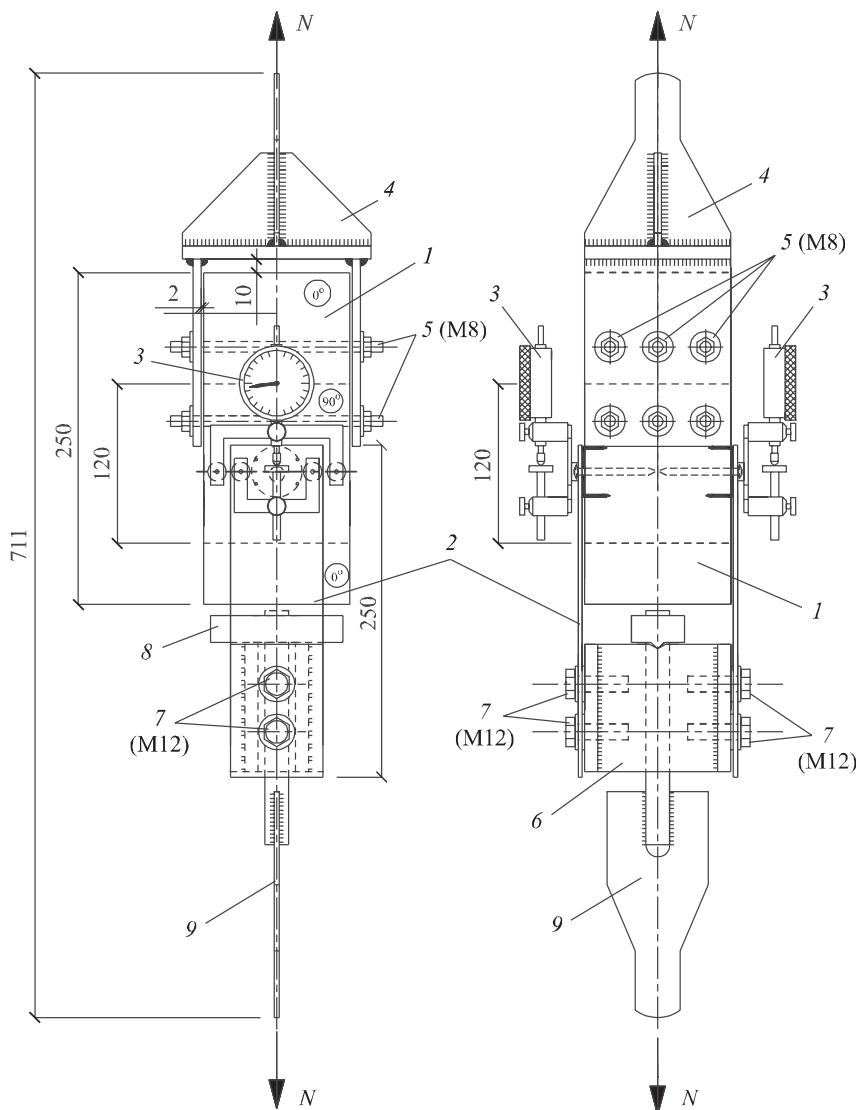


Рис. 5. Схема испытания образцов с металлическими накладками серий МД, МШ и МДШ вдоль и поперек волокон

1 – цельнодеревянные элементы; 2 – металлические пластины с зубьями (серии МД-90, МШ-90, МДШ-90, МД-0, МШ-0, МДШ-0); 3 – индикаторы часового типа ИЧ-10; 4 – сварной вилкообразный держатель, закрепленный в неподвижном захвате; 5 – стальные шпильки; 6 – сварная квадратная призма с треугольным вырезом и четырьмя торцевыми отверстиями для болтов; 7 – высокопрочные болты; 8 – гайка, снабженная призмой; 9 – тяж, закрепленный в подвижном захвате испытательной машины

равной 4,0 мм / мин, что соответствовало скорости, в среднем равной 4 кН/мин. Испытание образцов проводилось на растяжение при непрерывном нагружении (рис. 5). Часть образцов была испытана с периодической разгрузкой⁸.

Образцы всех серий (см. рис. 5) состояли из деревянного элемента с за-прессованными в него двумя зубчатыми пластинами, что позволяло одно-

⁸ Рекомендации по испытанию соединений деревянных конструкций / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. М.: Стройиздат, 1981. 40 с.

временно испытывать два односрезных соединения. В соответствии с рекомендациями по испытанию соединений деревянных конструкций⁸ металлические части креплений, не относящиеся к испытываемому соединению (тяж с призматической гайкой, сварные вилкообразный держатель и квадратная призма), были дополнительно усилены при помощи «цементации» (насыщения углеродом) и последующей их закалки. Деформации сдвига при испытании образцов замеряли с помощью установленных на них индикаторов часового типа «ИЧ-10» с ценой деления 0,01 мм.

В ходе испытания проводилось наблюдение за работой опытных образцов под нагрузкой.

На рис. 6–9 показаны результаты кратковременных испытаний образцов односрезных соединений серий МД, МШ и МДШ, проведенных по схемам табл. 2.

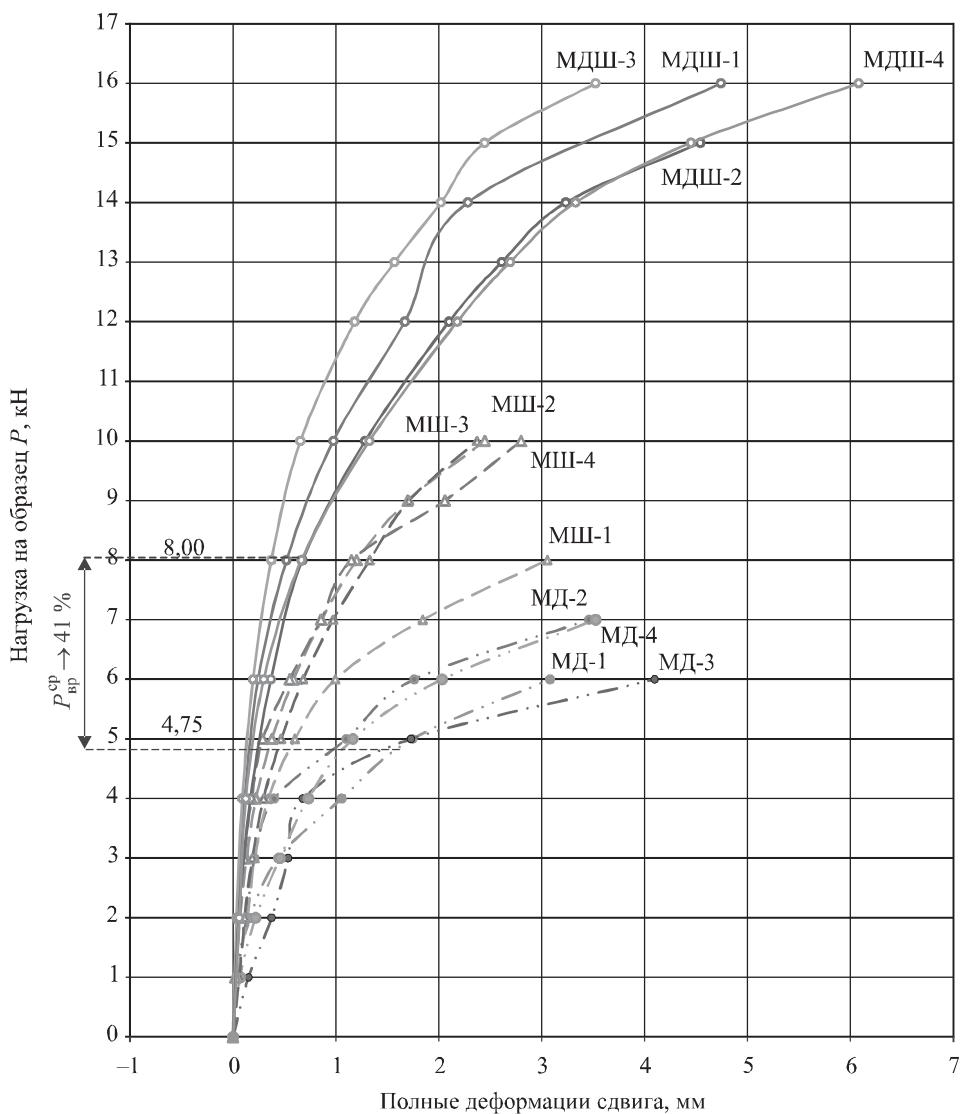
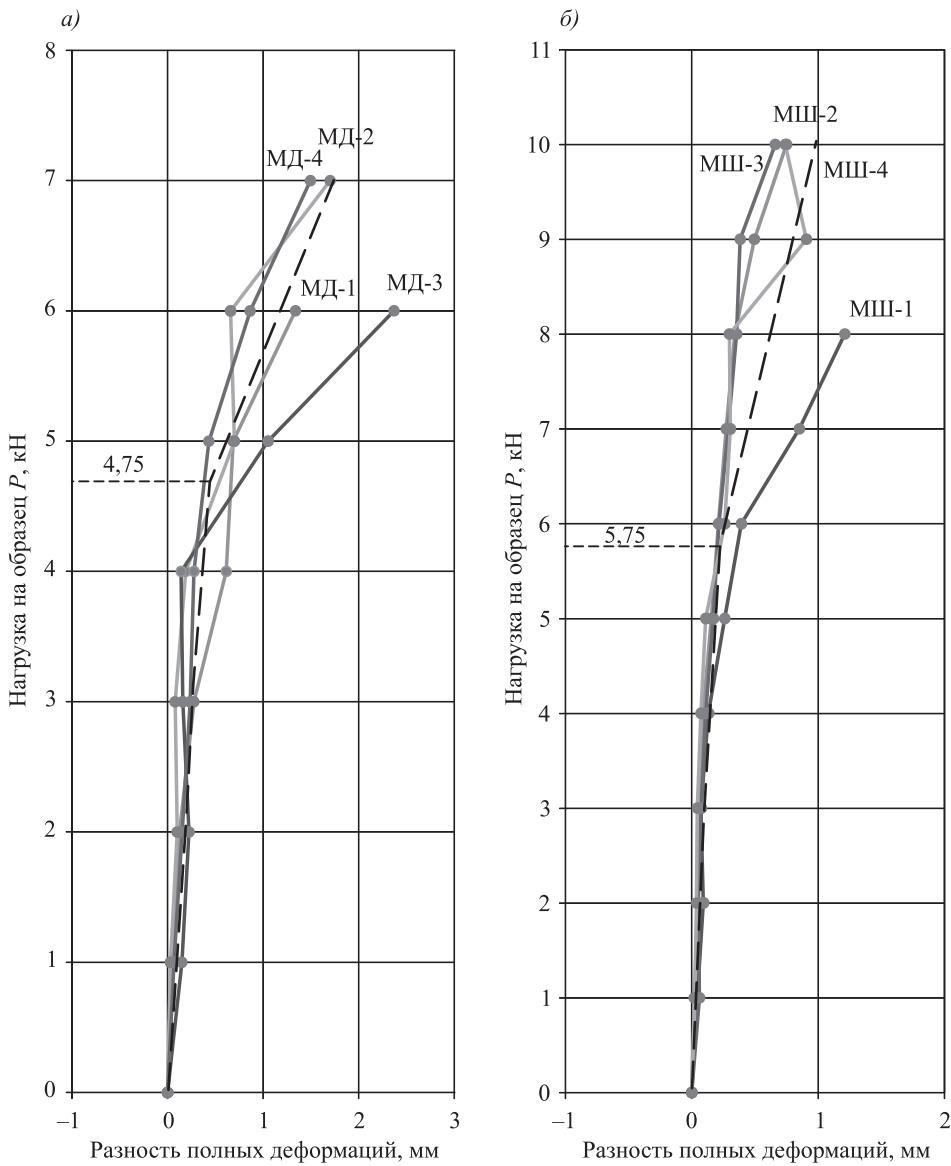


Рис. 6. Полные деформации образцов серий МД-0, МШ-0 и МДШ-0

Результаты. Кратковременная несущая способность образцов серии МД-0, отнесенная к одному условному срезу дюбеля, составила от 1,68 до 2,10 кН. Теоретическая временная несущая способность одного дюбеля для образцов этой серии равняется $P_{\text{теор}} = 2,14$ кН. Расхождение между теоретическим значением предельной нагрузки и экспериментально определенным средним (2,00 кН) составляет 6,5 %.

Образцы серии МШ-0 разрушились при нагрузке, приходящейся на один условный срез зубчатой шайбы, равной 2,42 кН. Отличие экспериментальной величины от вычисленной теоретической ($P_{\text{теор}} = 2,22$ кН) составляет 8,3 %.

Разрушение образцов серии МДШ-0 носило вязкий характер и сопровождалось образованием одного пластического шарнира в дюбеле и двух шарниров в зубьях шайбы. Временная несущая способность, отнесенная к



одному условному срезу дюбеля, усиленного зубчатой шайбой, составила в среднем 3,36 кН. Разница между теоретической величиной ($P_{\text{теор}} = 3,66$ кН) и экспериментальной оказалась равной 8,2 %.

Для серий образцов, испытываемых поперек волокон, были получены следующие показатели. Разрушающая нагрузка для образцов серии МД-90, отнесенная к одному условному срезу дюбеля, составила от 1,29 до 1,72 кН. Примерно в 10 % случаев наблюдалось хрупкое разрушение соединения вследствие отрыва головки дюбеля. Теоретически вычисленные значения разрушающих нагрузок ($P_{\text{теор}} = 1,60$ кН) и в этом случае близки к экспериментальным (1,51 кН). Расхождение не превышает 5,6 %.

В образцах серии МШ-90 средняя несущая способность на один условный срез зубчатой шайбы от 1,51 до 2,15 кН. Разрушение образцов сопровождалось смятием древесины в нагельных гнездах и изгибом зубьев шайбы с образованием двух шарниров пластичности. Теоретически вычисленное значение временной несущей способности зубчатой шайбы для образцов этой серии составило $P_{\text{теор}} = 1,9$ кН.

Отличие полученной величины от экспериментально определенного среднего (1,77 кН) составляет 6,8 %.

Характер разрушения образцов серии МДШ-90 был аналогичен образцам, испытанным вдоль волокон. При этом нагрузка на один условный срез дюбеля, усиленного зубчатой шайбой, в среднем составила 2,9 кН. Теоретическая временная несущая способность в этом случае ($P_{\text{теор}} = 3,09$ кН) расходится с экспериментальным значением на 6,1 %.

Во всех рассмотренных случаях (кроме серии МШ-0) экспериментальные значения несущей способности образцов оказались несколько ниже теоретических результатов, вычисленных по формулам. Разни-

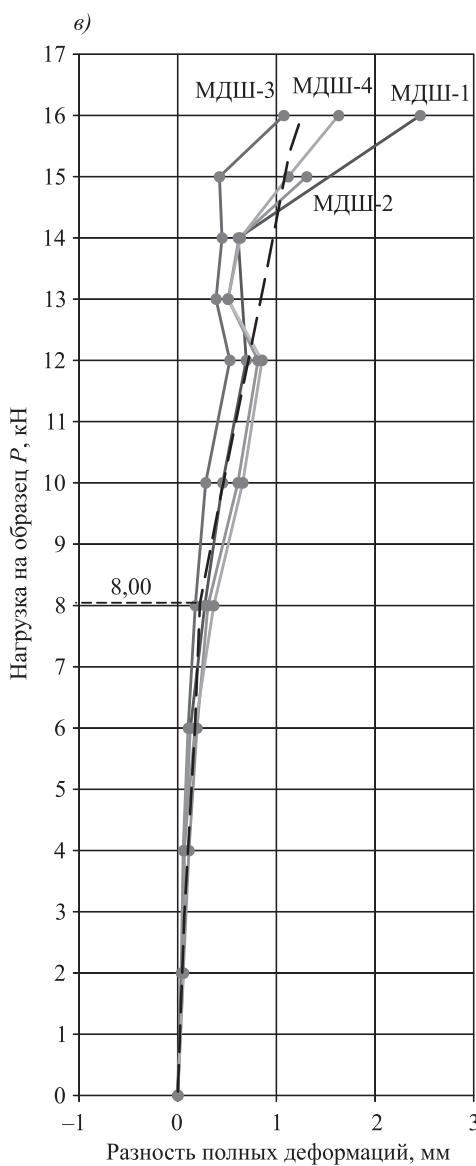


Рис. 7. Разность полных деформаций образцов серий МД-0 (а); МШ-0 (б); МДШ-0 (в)

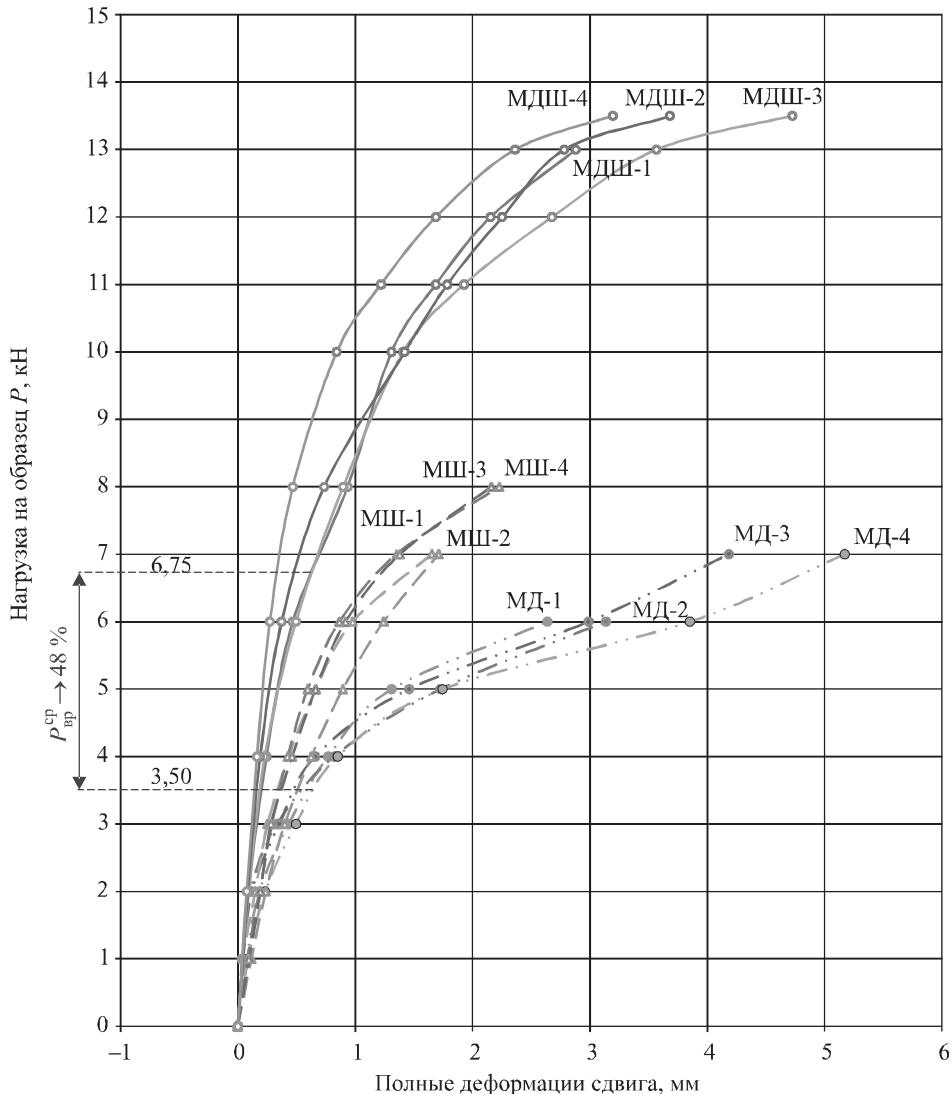


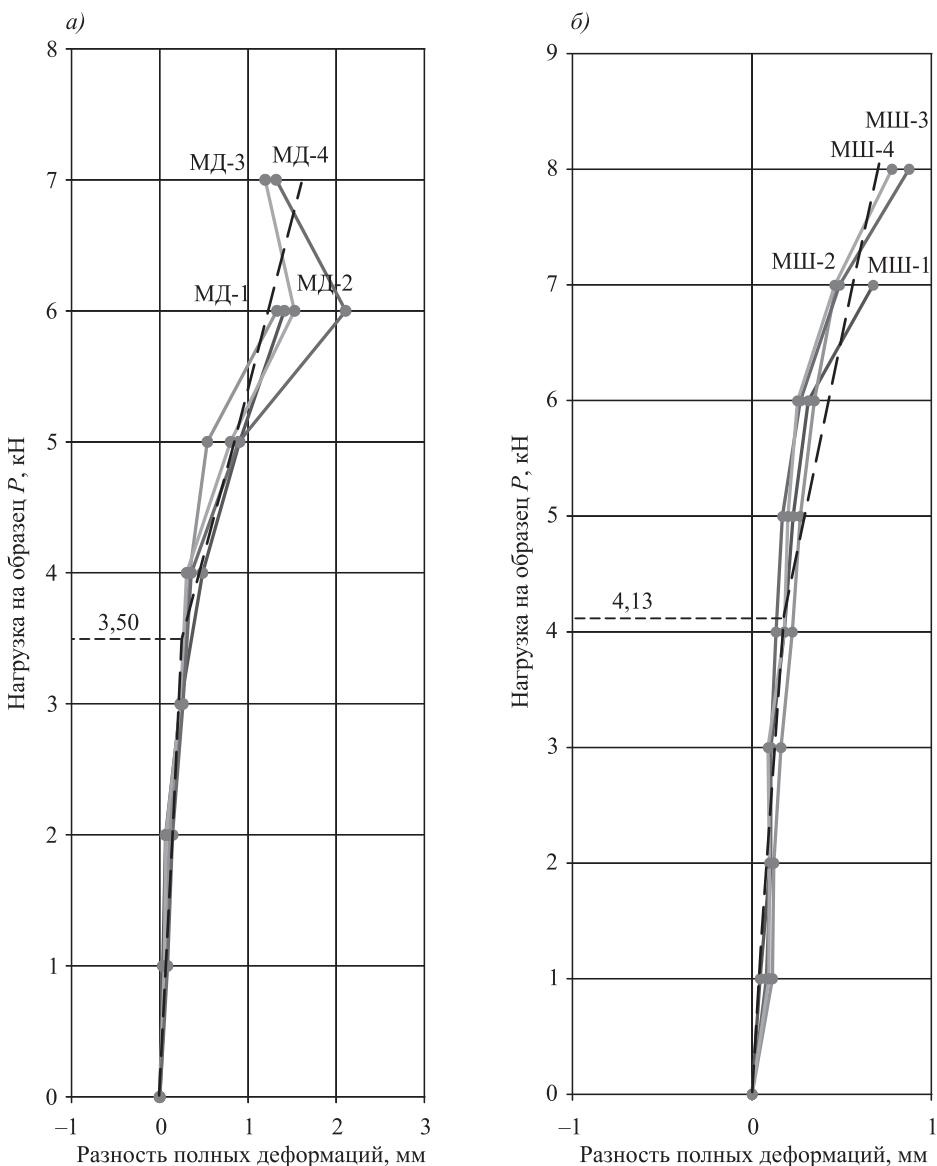
Рис. 8. Полные деформации образцов серий МД-90, МШ-90 и МДШ-90

ца находится в пределах от 5,6 до 8,3 %, что показывает их хорошую сходимость.

Образцы всех серий разрушались в основном вязко. Достижение предела прочности сопровождалось смятием древесины нагельного гнезда, смятием в отверстии стальных пластины и шайбы, изгибом дюбеля и зубьев шайбы.

Обсуждение. На основании испытаний установлено, что кратковременная несущая способность дюбелей поперек волокон в образцах серии МД-90 существенно меньше ($\approx 25\%$), чем в соединениях вдоль волокон (серия МД-0). Для образцов серии МШ-90 кратковременная несущая способность оказалась меньше на $\approx 27\%$, чем в образцах серии МШ-0. В свою очередь кратковременная несущая способность образцов серии МДШ-90 получилась меньше несущей способности образцов серии МДШ-0 на $\approx 14\%$.

Начало рис. 9



Анализ результатов эксперимента показал, что дюбели, усиленные зубчатыми шайбами, обладают несущей способностью, в среднем большей на $\approx 41\%$ (вдоль волокон) и $\approx 48\%$ (поперек волокон), чем дюбели без таких шайб.

Заключение. Результаты проведенных экспериментов отчетливо показали достоинства предлагаемой металлической пластины с зубьями-дюбелями, усиленными штампованными зубчатыми шайбами. Наличие зубчатой шайбы снижает деформативность соединений вдоль и поперек волокон. Это можно объяснить тем, что действующие в соединении усилия воспринимаются большим числом зубьев и распределются на большую рабочую поверхность деревянных элементов. Постановка зубчатой шайбы на зубья-дюбели снижает деформации в основаниях зубьев в интервале упругой

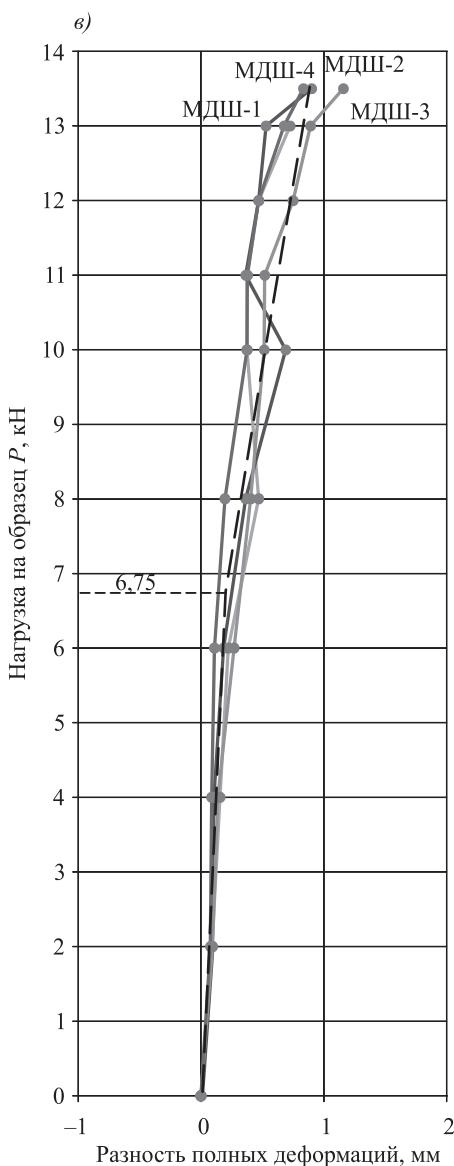


Рис. 9. Разность полных деформаций образцов серий МД-90 (а); МШ-90 (б); МДШ-90 (в)

работы древесины. За счет этого повышается несущая способность и увеличивается вязкость соединения в сравнении с аналогичными соединениями на дюбель-гвоздях.

Исследованные соединения можно с успехом использовать в цельнодеревянных и kleедощатых фермах средних пролетов, а также в пространственных совмещённых фермах покрытий [12]. При этом, в первую очередь, их целесообразно применять при конструировании опорных узлов конструкций, способных воспринимать значительные усилия растяжения.

Коллектив авторов выражает глубокую благодарность А.М. Иванову, С.М. Кондрашову и В.С. Спиридонову за помощь в подготовке образцов и различных приспособлений для проведения испытаний.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат.127775 Российская Федерация, МПК Е 04 В 1/49. Крепежный элемент для соединения деревянных деталей / В.Г. Котлов, Б.Э. Шарынин, С.С. Муратова; заявитель и патентообладатель Поволжский ГТУ. № 2012152107; заявл. 04.12.2012; опубл. 10.05.2013, Бюл. № 13.
2. ANSI/TPI 1-2014: National design standard for metal plate connected wood truss construction. Truss Plate Institute, 2014. 112 p.
3. Пуртов В.В. Легкие деревянные стропильные фермы с соединениями на стальных пластинах и дюбелях: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 1987. 22 с.
4. Augustin M., Flatscher G. 2010. Nachweisführung für SHERPA-Verbindungen auf Basis des SHERPA-Handbuchs, Internationales Holzbau-Forum 10, TU Graz, Seiten 1–16.

5. Blass H.J., Schmid M., Litze H., Wagner B. Nail plate reinforced joints with dowel-type fasteners. World Conference on Timber Engineering 2000. Whistler, British Columbia, Canada. Proceedings pp. 8.6.4-1 – 8.6.4-8.
6. Сюй Юнь. Повышение несущей способности соединений элементов деревянных конструкций на металлических накладках с использованием металлической зубчатой пластины: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Санкт-Петербург, 2015. 27 с.
7. Дмитриев П.А. Экспериментальные исследования соединений элементов деревянных конструкций на металлических и пластмассовых нагелях и теория их расчета с учетом упруго-вязких и пластических деформаций: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Новосибирск: НИСИ, 1975. 67 с.
8. Пат. 40772 Российская Федерация, МПК F 16 B 13/00. Крепежная деталь для соединения деревянных элементов (варианты) / П.А. Дмитриев, В.В. Пуртов, А.В. Павлик; заявитель и патентообладатель НГАСУ. № 2004114426; заявл. 14.05.2004; опубл. 27.09.2004, Бюл. № 27.
9. Пуртов В.В., Павлик А.В. Работа древесины на смятие в отверстиях малых диаметров // Изв. вузов. Строительство. 2005. № 5. С. 106–110.
10. Албаут Г.Н., Пуртов В.В., Павлик А.В., Табанюхова М.В., Михеева О.А. Исследование соединений деревянных элементов на металлических пластинах и дюбелях с зубчатыми шайбами поляризационно-оптическим методом при действии кратковременных нагрузок // Изв. вузов. Строительство. 2007. № 7. С. 116–121.
11. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука, 1984. 831 с.
12. Инжутов И.С., Дмитриев П.А., Шапoshников В.Н. Пространственные совмещенные фермы покрытий. Пространственные конструкции в Красноярском крае. Красноярск: КПИ, 1985. С. 164–168.

Гребенюк Григорий Иванович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: Greb@sibstrin.ru
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)
Пуртов Вячеслав Васильевич, канд. техн. наук, доц.; E-mail: nsksert@mail.ru
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)
Павлик Андрей Владимирович, ст. препод.; E-mail: APsert@mail.ru
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)
Кулемшова Надежда Ильинична, студ.; E-mail: nadya.kuleshova.93@mail.ru
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено после доработки 14.03.17

Grebenuk Grigoriy Ivanovich, DSc, Professor; E-mail: Greb@sibstrin.ru
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia
Purtov Vyacheslav Vasil'evich, PhD, Ass. Professor; E-mail: NSKsert@mail.ru
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia
Pavlik Andrey Vladimirovich, Senior Lecturer; E-mail: APsert@mail.ru
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia
Kuleshova Nadezhda Il'инична, Post-graduate Student;
E-mail: nadya.kuleshova.93@mail.ru
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF WOODEN ELEMENTS JOINTS ON METAL PLATES AND DOWEL TEETH, STRENGTHENED WITH STAMPED GEAR WASHERS UNDER A SHORT LOAD ACTION

Perfection of dowel-type fasteners with the purpose of increasing their bearing strength and reliability continues to remain actual. A special place among them is occupied by joints

with dowel plates. Along with already known metal stamped nail plates, nail plates with the welded teeth, aluminum plates on screws («SHERPA» plates), metal plates with dowel teeth, the authors suggested and developed fasteners elements in the form of the metal cover plates and dowel teeth, strengthened with stamped gear washers. For the purpose of determination of strength and deformability of the developed joints short load action tests along and across the grain were prepared and carried out. Thus for the comparison of the strength and the deformability of joints on metal plates with dowel teeth, joints on metal plates and gear washers, as well as on metal plates and dowel teeth, strengthened with stamped gear washers models of connections were carried out. On the basis of the obtained data of short load-carrying capacity and deformability for all three types of nail plates the comparative analysis was conducted. The recommendation on application of the worked out connections and their advantages are given.

К e y w o r d s: steel-to-timber connections, load-carrying capacity, single shear joint, dowel-type fasteners, joints of wooden elements, dowel teeth (expansion bolts teeth) reinforced (strengthened) with stamped gear washer, nails, metal plate, stamped gear washer, short load action tests, wood crushing, strength, deformability.

REFERENCES

1. Pat. 127775 Russian Federation MPK E 04 B 1/49. Krepezhnyy element dlya soedineniya derevyannykh detaley [The fastening element for the connection of wooden details] / V.G. Kotlov, B.E. Sharynin, S.S. Muratova; applicant and patentee of VolSTU. No. 2012152107; appl. 04.12.2012; publ. 10.05.2013, Bull. No. 13. (in Russian)
2. ANSI/TPI 1-2014: National design standard for the metal plate connected wood truss construction. Truss Plate Institute, 2014. 112 p.
3. P u r t o v V.V. Legkie derevyannye stropil'nye fermy s soedineniyami na stal'nykh plastinakh i dyubelyakh: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Light weight wooden rafter trusses with connections on steel plates and dowel teeth: author. dis. ... PhD]. Novosibirsk, 1987. 22 p. (in Russian)
4. A u g u s t i n M., F l a t s c h e r G. 2010. Nachweisfuehrung für SHERPA-Verbindungen auf Basis des SHERPA-Handbuchs, Internationales Holzbau-Forum 10, TU Graz, Seiten 1–16.
5. B l a s s H.J., S c h m i d M., L i t z e H., W a g n e r B. Nail plate reinforced joints with dowel-type fasteners. World Conference on Timber Engineering 2000. Whistler, British Columbia, Canada. Proceedings pp. 8.6.4-1 – 8.6.4-8.
6. S u y y Y u n'. Povyshenie nesushchey sposobnosti soedineniy elementov derevyannykh konstruktsiy na metallicheskikh nakladkakh s ispol'zovaniem metallicheskoy zubchatoy plastiny: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Increase of the load-carrying capacity of connections of elements of wooden constructions on metal slips with the use of a metal nail plate: author. dis. ... PhD]. St. Petersburg, 2015. 27 p. (in Russian)
7. D m i t r i e v P.A. Eksperimental'nye issledovaniya soedineniy elementov derevyannykh konstruktsiy na metallicheskikh i plastmassovyykh nagelyakh i teoriya ikh rascheta s uchetom uprugo-vyazkikh i plasticheskikh deformatsiy: avtoref. dis. ... d-ra tekhn. nauk [Experimental studies of connections of elements of wooden designs on metal and plastic dowels and the theory of their calculation taking into account elastic and viscous and plastic deformations: author. dis. ... DSc]. Novosibirsk, 1975. 67 p. (in Russian)
8. Pat. 40772 Russian Federation MPK F 16 B 13/00. Krepezhnaya detal' dlya soedineniya derevyannykh elementov (varianty) [The fastener for connection of wooden elements (variants)] / P.A. Dmitriev, V.V. Purtov, A.V. Pavlik; applicant and patentee of NGASU. No. 2004114426; appl. 14.05.2004; publ. 27.09.2004, Bull. No. 27. (in Russian)

9. Purtov V.V., Pavlik A.V. Rabota drevesiny na smyatie v otverstiyakh malykh diametrov [Work on wood crushing in the small-diameter holes]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2005. No. 5. Pp. 106–110. (in Russian)
 10. Albaut G.N., Purtov V.V., Pavlik A.V., Tabanyukhova M.V., Mikhеeva O.A. Issledovanie soedineniy derevyanыkh elementov na metallicheskikh plastinakh i dyubelyakh s zubchatymi shaybami polyarizatsionno-opticheskim metodom pri deystvii kratkovremennykh nagruzok [Investigation of wooden elements joints on metal plates with dowel teeth and gear washers under the short load action]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2007. No. 7. Pp. 116–121. (in Russian)
 11. Korn G., Korn T. Spravochnik po matematike dlya nauchnykh rabotnikov i inzhenerov [Mathematical handbook for scientists and engineers]. Moscow, Nauka, 1984. 831 p. (in Russian)
 12. Inzhutov I.S., Dmitriev P.A., Shaposhnikov V.N. Prostranstvennye sovmeshchennye fermy pokrytiy. Prostranstvennye konstruktsii v Krasnoyarskom krae [Spatial overlapping trusses of coverings. Spatial structures in the Krasnoyarsk Territory]. Krasnoyarsk, KPI, 1985. Pp. 164–168. (in Russian)
-

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ И ЩАДЯЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЗИМНЕГО БЕТОНИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В НГАСУ (Сибстрин) разработана технология зимнего бетонирования строительных конструкций с обеспечением энергосбережения от 25 до 40 % (в зависимости от вида и формы конструкции). Гарантируется отсутствие деструктивных процессов во всех точках конструкции.

Энергосбережение достигается путем применения регулируемых (прерывного, непрерывно-ступенчатого и пр.) режимов тепловой обработки бетона. Это позволяет использовать суммарную тепловую энергию – энергию бетона (конструкции призматической формы), энергию грунтов оснований (фундаментные блоки на мерзлом основании), а также взаимное тепловое влияние конструкций (буронабивных свай в составе типовых кустов).

Параметры регулирования режимов тепловой обработки обосновываются на стадии разработки ППР с использованием пакета программных продуктов. Гарантия отсутствия перегрева или недогрева бетона, а также превышение допустимых значений скорости подъема температуры бетона после начала его тепловой обработки и скорости снижения температуры после окончания такой обработки отвечает требованиям СНиП 3.03.01–87.

Возможность реализации предложения как на стадии проектирования (с использованием расчетных значений метеорологических параметров с заданным процентом обеспеченности), так и в условиях строительного объекта (с учетом динамики суточного изменения значений метеорологических параметров путем использования компьютерного управления процессом бетонирования).

630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская 113,
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)

E-mail: patent@sibstrin.ru
Internet: www.sibstrin.ru\innovation
Тел. +7 (383) 266 42 81

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ, ПРЕДСТАВЛЕНИЯ И РЕДАКЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ РУКОПИСЕЙ СТАТЕЙ

1. Рукопись представляется в редакцию на *русском языке*. Зарубежные авторы могут присыпать статьи на *английском языке*. Возможна публикация статьи одновременно в двух вариантах — на русском и английском языках. В этом случае оформляются два текста статьи — на русском языке и точный перевод на английский. Вместе с рукописью представляются:

- *сопроводительное письмо* руководства организации, откуда исходит рукопись;
- *рекомендация* соответствующего академического (кафедры) или научного подразделения (заверенная выписка из протокола заседания подразделения);
- *экспертное заключение* о возможности опубликования, оформленное в организации, откуда исходит рукопись.

Если статья была или будет направлена в другое издание, или же была ранее опубликована, необходимо обязательно сообщить об этом редакции.

2. Рукопись должна готовиться на компьютере в редакторе Microsoft Word для Windows (версии от Word 97 до Word 10; от Windows XP до Windows 10). Текст набирают шрифтом Times New Roman Сг размером 14 пт с межстрочным интервалом 1,5, все поля — 20 мм. Обязательна нумерация страниц внизу посередине. Объем рукописи — до 12 страниц А4, включая иллюстрации, таблицы, библиографический список и сведения об авторах.

3. Состав рукописи статьи, правила и образец оформления см. на Internet-сайте журнала <http://izvuzstr.sibstrin.ru/oformlen/>

a) русскоязычная часть:

- индекс УДК — в левом верхнем углу, прописными буквами;
- инициалы, фамилии авторов;
- название статьи;
- аннотация объемом до 1/3 страницы текста (не менее 80 слов);
- ключевые слова (не менее 5);
- текст статьи:
 - следует применять физические величины и их обозначения согласно международной системе СИ;
 - аббревиатуры и сокращения расшифровываются при первом использовании;
 - ф о р м у л ы набираются шрифтом Times New Roman в редакторе формул MS Equation или MathType, в статье должен быть необходимый минимум формул; все второстепенные и промежуточные математические преобразования выносятся в приложение к статье (для рецензента);
 - русские и греческие буквы и индексы, а также цифры, аббревиатуры и стандартные функции (Re, cos и др.) набираются прямым шрифтом; латинские буквы — курсивом;
 - во избежание смещения сходных изображений прописных и строчных букв *V* и *v*, *S* и *s*, *O* и *o*, *K* и др., а также трудноразличимых букв и символов *l*, *e* и *1* (цифра), *n* и *p*, *I* и *J* и т.п. пояснения выполняются простым карандашом на полях;
 - и л л ю с т р а ц и и представляются в редакцию в виде файлов, созданных в Corel Draw или Microsoft Word, записанных с разрешением 300 дпі, с расширением cdr (предпочтительно) или .doc, фотографии — TIFF или JPEG; надписи и цифры набирать шрифтом Times New Roman, иллюстрации, в том числе фотографии, должны иметь хорошую проработку деталей и должны быть выполнены так, чтобы их можно было отредактировать (изменить шрифт, исправить возможные орфографические ошибки);
 - иллюстрации распечатываются в двух экземплярах, с подписями к ним, размер иллюстрации — не более 20×30 см, их общее число, как правило, не более 4;
 - т а б л и ц ы печатаются каждая на отдельном листе, все наименования в них даются полностью, без сокращения слов;
 - б и б l o g r a f i c h e s k i y c p i s o k (не менее 8 ссылок) составляется по следующим правилам: в список включаются только опубликованные работы, в порядке упоминания в статье, ссылки на них в тексте статьи даются арабскими цифрами в квадратных скобках, в списке не должно быть нормативных документов (ГОСТов, СНиПов, технических регламентов, правовых актов и т.п. неавторизованных источников) — ссылки на них даются в тексте статьи в развернутом виде или в форме подстрочных сносок, библиографический список следует оформлять по ГОСТ Р 7.0.5–2008 (примеры см. на сайте http://izvuzstr.sibstrin.ru/oformlen/rules_and_examples_of_design_bibliographieskogo_list/), ссылки на интернет- сайты не допускаются;
 - для статей из зарегистрированных электронных журналов указываются фамилии и инициалы авторов, название статьи, название журнала, выходные данные выпуска, адрес сайта журнала и дата обращения к электронному ресурсу;
- с в е д е н i я о б а в т о р а х: последовательно для каждого — фамилия, имя, отчество (полностью), учченая степень, звания (звания в негосударственных академиях наук и почетные звания не указывать), наименование учреждения, в котором работает автор, e-mail автора, страна (если не Российская Федерация);

б) англоязычная часть:

- сведения об авторах — последовательно для каждого:
 - фамилия, имя, отчество полностью, транслитерированные в латинские символы по системе BGN (использовать таблицу «правила транслитерации» см. на сайте http://izvuzstr.sibstrin.ru/oformlen/BGN_PCGN_romanization/);

(Окончание правил)

- ученая степень (DSc — доктор наук, PhD — кандидат наук, MSc — магистр, без указания научного направления), ученые звания (Professor, Ass. Professor, Academician of..., Corr. Member of... — профессор, доцент, академик ...), член-корреспондент ...), другое — Senior Lecturer (ст. преподаватель), Engineer (инженер), Post-graduate Student (аспирант), Student (студент);
 - официальное англоязычное название организации (учреждения), города (если не упоминается в названии организации), страны;
 - название статьи;
 - аннотация;
 - ключевые слова (Keywords);
 - библиографический список:
 - для зарубежных источников на латинице — с сохранением оригинального описания;
 - для ссылок на русскоязычные источники — транслитерированные с русских букв на латинские символы (по системе BGN) фамилии и инициалы всех авторов и название статьи; затем в квадратных скобках — название статьи в переводе на английский язык; остальные элементы библиографического описания на английском языке, с исключением разделителей /, —, // и заменой №, с. и С. соответственно на No., p. и Pp., в конце — (in Russian).
4. Статья должна быть тщательно отредактирована и подписана всеми авторами (с указанием даты отправки статьи).
5. Рецензентов для статей редакция назначает по своему усмотрению; авторы могут сообщить редакции данные о специалистах по профилю статьи. Доработанную после рецензии статью присыпать в электронном виде.
6. Корректура статьи может предоставляться по запросу автора.
7. Гонорар за опубликование статьи не выплачивается.
8. Журнал публикует информацию о научно-технических разработках в области строительства объемом 1 с., включая 1–2 иллюстрации. Указываются разработчики: фамилия, имя, отчество полностью, звания и контактная информация. Электронная версия обязательна.
9. Рукописи, не принятые к опубликованию, авторам не высыпаются.

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 раздел
В лабораториях вузов
Внедрение научных достижений в производство
Научная информация

На 1-е полугодие по каталогу «Роспечать» 2017 г.

каталожная цена за 6 месяцев — 3900 р.

цена отдельного номера — 650 р.

ББК 38
И 33
УДК 69

Научное издание

**Известия вузов
СТРОИТЕЛЬСТВО**

№ 4 (700) 2017

Научно-теоретический журнал

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