

СТРОИТЕЛЬСТВО И РЕКОНСТРУКЦИЯ

ISSN 2073-7416

BUILDING AND RECONSTRUCTION

№5 (67) 2016

сентябрь-октябрь

III МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ

“БЕЗОПАСНОСТЬ СРЕДЫ
ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ”



СИМФЕРОПОЛЬ, СУДАК,
26-30 СЕНТЯБРЯ 2016 г.

Теория инженерных сооружений.
Строительные конструкции

The theory of engineering
constructions. Construction
design

Безопасность зданий
и сооружений

Building and structure
safety

Архитектура
и градостроительство

Architecture
and urban development

Строительные материалы
и технологии

Building materials
and technology

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
SCIENTIFIC-TECHNICAL JOURNAL

Редакционный совет:

Голенков В.А. д.т.н., проф., председатель
Радченко С.Ю. д.т.н., проф.,
зам. председателя
Борзенков М.И. к.т.н., доц., секретарь
Астафичев П.А. д.ю.н., проф.
Иванова Т.Н. д.т.н., проф.
Киричек А.В. д.т.н., проф.
Колчунов В.И. д.т.н., проф.
Константинов И.С. д.т.н., проф.
Новиков А.Н. д.т.н., проф.
Попова Л.В. д.э.н., проф.
Степанов Ю.С. д.т.н., проф.

Главный редактор:

Колчунов В.И. акад. РААСН, д.т.н., проф.

Заместители главного редактора:

Данилевич Д.В. к.т.н., доц.
Колесникова Т.Н. д. арх., проф.
Коробко В.И. д.т.н., проф.

Редколлегия:

Бок Т. д.т.н., проф. (Германия)
Бондаренко В.М. акад. РААСН, д.т.н., проф.
Гордон В.А. д.т.н., проф.
Емельянов С.Г. советник РААСН, д.т.н., проф.
Карпенко Н.И. акад. РААСН, д.т.н., проф.
Клюева Н.В. советник РААСН, д.т.н., проф.
Коробко А.В. д.т.н., проф.
Король Е.А. чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф.
Римшин В.И. чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф.
Сергейчук О.В. д.т.н., проф. (Украина)
Серпик И.Н. д.т.н., проф.
Тамразян А.Г. д.т.н., проф.
Тур В.В. д.т.н., проф. (Белоруссия)
Турков А.В. д.т.н., проф.
Федоров В.С. акад. РААСН, д.т.н., проф.
Чернышов Е.М. акад. РААСН, д.т.н., проф.
Шах Р. д.т.н., проф. (Германия)

Ответственный за выпуск:

Савин С.Ю. к.т.н.

Адрес редакции:

302006, Россия, г. Орел,
ул. Московская, 77
Тел.: +7 (4862) 73-43-49
www.gu-unpk.ru
E-mail: str_and_rek@mail.ru

Зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.
Свидетельство:
ПИ № ФС77-47354 от 03 ноября 2011 г.

Подписной индекс **86294** по объединенному каталогу «Пресса России»

© ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 2016

Содержание

Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции

Гбагуйди Аиссе Г., Ако Сар М., Сохоунло Д., Микозоунно Р., Фоджет А.Е. Механические характеристики зоны стыка арматурных каркасов из древесины пальмы в бетоне	3
Калафатов Д.А. Результаты экспериментальных исследований моделей двухслойных железобетонных плитных фундаментов каркасных зданий на грунтовом основании.....	16
Малинин В.Г., Муссауи Ю.Ю., Луферова А.В. Построение расчетной модели пробного применения материалов с эффектом памяти формы (ЭПФ) в строительных конструкциях при двухзвенных траекториях их деформирования.....	23
Травуш В.И., Конин Д.В., Рожкова Л.С., Крылов А.С. Отечественный и зарубежный опыт исследований работы сталежелезобетонных конструкций на внецентренное сжатие.....	31
Турков А.В., Карпова Е.В., Абашина Н.С. Прогибы и частоты собственных колебаний составных ромбических изотропных пластин, шарнирно опертых по контуру при изменении жесткости связей сдвига.....	45

Безопасность зданий и сооружений

Бакаева Н.В., Калайдо А.В. Механизмы поступления радона в здания и сооружения.....	51
Клюева Н.В., Дмитриева К.О. Вопросы устойчивости стержневых элементов конструктивных систем из древесины различных пород при силовом и средовом нагружении в условиях повышенной влажности	60
Тур В.В., Надольский В.В. Калибровка значений частных коэффициентов для проверок предельных состояний несущей способности стальных конструкций для условий республики Беларусь. часть 2.....	69
Федосов С.В., Румянцева В.Е., Хрунов В.А. Повышение экологической и промышленной безопасности опасных производственных объектов.....	76

Архитектура и градостроительство

Дворецкий А.Т., Клевец К.Н. Избыток тепловой энергии в системах пассивного солнечного нагрева зданий.....	84
Михайлова Е.А. Архитектурно-планировочные особенности проектирования в условиях затопляемых территорий в городах нидерландов.....	92

Строительные материалы и технологии

Федюк Р.С. Диффузионная проницаемость в зависимости от состава фибробетона.....	99
Шаленный В.Т., Мороз В.В. Возможность сокращения сроков окупаемости инвестиций в энергосбережение путем учета и совершенствования и других мероприятий при реконструкции	106
Мамиева И.А. О подготовке специалистов по архитектуре, геометрии и расчету большепролетных пространственных структур и оболочек.....	114

Editorial council:

Golenkov V.A. *Doc. Sc. Tech., Prof.,
president*

Radchenko S.Y. *Doc. Sc. Tech., Prof.,
vice-president*

Borzenkov M.I. *Candidat Sc. Tech.,
Assistant Prof.*

Astafichev P.A. *Doc. Sc. Law., Prof.*

Ivanova T.N. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Kirichuk A.V. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Kolchunov V.I. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Konstantinov I.S. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Novikov A.N. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Popova L.V. *Doc. Ec. Tech., Prof.*

Stepanov Y.S. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Editor-in-chief

Kolchunov V.I. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Editor-in-chief assistants:

Danilevich D.V. *Candidat Sc. Tech., Assis-
tant Prof.*

Kolesnikova T.N. *Doc. Arc., Prof.*

Korobko V.I. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Editorial committee

Bock T. *Doc. Sc. Tech., Prof. (Germany)*

Bondarenko V.M. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Gordon V.A. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Emelyanov S.G. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Karpenko N.I. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Kljueva N.V. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Korobko A.V. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Korol E.A. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Rimshin V.I. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Sergeychuk O.V. *Doc. Sc. Tech., Prof. (Ukraine)*

Serpik I.N. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Tamrazyan A.G. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Tur V.V. *Doc. Sc. Tech., Prof. (Belorussia)*

Turkov A.V. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Fyodorov V.S. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Chernyshov E.M. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Schach R. *Doc. Sc. Tech., Prof. (Germany)*

Responsible for edition:

Savin S.Yu. *Candidat Sc. Tech*

The edition address: 302006, Orel,

Street Moscow, 77

+7 (4862) 73-43-49

www.gu-unpk.ru

E-mail: oahtc@ostu.ru

Journal is registered in Russian federal service
for monitoring communications, information
technology and mass communications

The certificate of registration:

III № ФС77-47354 from 03.04.11 г.

Index on the catalogue of the «**Pressa Rossii**»
86294

© State University ESPC, 2016

Contents

Theory of engineering structures.

Building units

- Gbaguidi - Aïsse G., Akowe Sare M., Sohounhloue J., Michozounnou R., Foudjet A.E.** Mechanical characterization of the lapping zone of palm wood trusses in the concrete..... 3
- Kalafatov D.** Results of experimental studies models of bilayer concrete slab foundation frame building on grade..... 16
- Malinin V., Moussaoui Yu., Luférova A.** The computational model of test application of materials with shape memory effect (sme) in building constructions with the two-tier trajectories of deformation..... 23
- Travush V., Konin D., Rozhkova L., Krylov A.** Domestic and foreign experience in research of composite structures for eccentric compression..... 31
- Turkov A., Karpova E., Abashina N.** Deflection and natural frequency compound orthorhombic isotropic plate simply supported along the contour changes in hardness relations with shear..... 45

Building and structure safety

- Bakaeva N., Kalaydo A.** About the radon transport mechanisms into the buildings 51
- Klyuyeva N., Dmitrieva K.** Issues of sustainable rod elements design systems of different wood species in force and environmental loading moisture 60
- Tur V., Nadolski V.** The partial factor values calibration for the ultimate limit state checking of steel structures for the conditions republic of belarus. part 2..... 69
- Fedosov S., Rumyantseva V., Khrunov V.** Increasing of ecological and industrial safety of hazardous production facilities..... 76

Architecture and town-planning

- Dvoretzky A., Klevets K.** Yield of heating in passive solar heating systems of buildings..... 84
- Mikhailova E.** Architectural planning design features in the flooded areas in the cities of Netherlands..... 92

Construction materials and technologies

- Fediuk R.** Diffusion permeability depending on the composition of fiber concrete.. 99
- Shalennyi V., Moroz V.** The possibilities of reducing the payback period of investmets in energy efficiency by integrating and improvement of recourse-saving technologies in reconstruction..... 106

- Mamieva I.** On teaching of specialists in architecture, geometry, and strength analysis of large-span space structures and shells..... 114

UDC 691.328.4

G. GBAGUIDI - AÏSSE, M. AKOWE SARE, J. SOHOUNHLOUE,
R. MICHOZOUNNOU, A.E. FOUJDET

MECHANICAL CHARACTERIZATION OF THE LAPPING ZONE OF PALM WOOD TRUSSES IN THE CONCRETE

The present article opens a new axis of the study of the palm as vegetable truss in the concrete and is based on the mechanical characterization of the lapping zone of palm wood trusses in the concrete. More explicitly, the finality of our study is to identify the type of bond that will give a maximal rigidity in the lapping zone. For that, it was question in a first time to count the different types of lapping existing in the literature, then to identify among the different types of lapping counted those which are better adapted to our study and finally to determine the type of lapping that offers the maximum of rigidity in bending four points. From the counted and retained lapping, we have achieved five types of beam to which we have added a witness beam. From the bending four points tests achieved, some results have been obtained and allow us to conclude that the type of bond that gives a maximal rigidity in the lapping zone is the bond of type 5; assembly by sticking of palm truss with galvanized tubes in U shape.

Key words: palm wood, lapping zone, maximal rigidity, bending 4 points.

1. Introduction

Today, with the persistent economic crisis in African countries, the valorization of the local materials of construction not only constitutes a solution (United Nations 1997), but also an advantage to answer the architectural heritage question valuably. Thus, the report done about the increase in prices of the construction materials, in particular the one of the steel generally imported, makes the construction get more and more costly. In order to solve this state of thing, some researches have been done since decades to substitute a material (local) for steel; material having the characteristics near steel and at lower cost.

Some researchers have, for the most part, thought about the use of the vegetable truss in the concrete. Among these last ones we can mention:

- FOUJDET and FOMO, in 1995, who used rattan in their study as truss in the weakly loaded elements and the beams of small span [1].
- In 2006, BLACKBURN was interested in the use of bamboo as vegetable truss in the concrete within the context of the reconstruction of the habitat in Vietnam [2].
- KHENFER and al., in 2009, as for them recommend rather the use of the vegetable grain of date palms to improve the resistance to the bending of the pieces made of concrete [3].
- Then in 2014, SOHOUNHLOUE is interested in the characterization of the inter-facial joints of the vegetable fibers: case of Cameroon rattan [4].

One of the local materials identified in Benin is the wood of the *Borassus Aethiopum* Mart.

The *Borassus Aethiopum* Mart commonly called palm in French is a vegetable species encountered in general in Sahelian Africa and in Benin in particular. It was the subject of several researches. CABANNES recognizes the Palm like a fibrous tree that grows in the temporarily flooded shallows of the zones sahelo soudanian of Africa [5]; GIFFARD as for him shows that the palm constitutes in Africa one of the best woods in the zone sahelo-soudanian [6]. After having shown the socioeconomic importance of the *Borassus Aethiopum* Mart in Benin [7], some studies about the physical and mechanical characteristics of the *Borassus Aethiopum* Mart have been done and reported satisfactory results [8]. Fond of these conclusive results, some studies about the possibility of use of *Borassus Aethiopum* Mart as vegetable truss in the elements made of concrete have been done with good report [9].

In the total mastery of the use of the *Borassus Aethiopum* Mart in the concrete, the present study aims at identifying the type of bond that will give a maximal rigidity in the lapping zone.

2. Methodology

The methodology of this work is based on the documentary research, of the works of land and the treatment to the laboratory.

The main object of the documentary research was to make a bibliographic synthesis that lead us to make an inventory of the previous works achieved, to have their results; that allowed us to realize the existence of an bibliographic emptiness with regard to the objective of our study which is the identification of the bond that will give a maximal resistance in the lapping zone.

We went therefore, for the beginning of the study, to the forest gallery of Pahou-Ahazon in the South of Benin where we carried out the felling, the cross-cut and the setting in boards of a foot of *Borassus Aethiopum* male Mart. After these stages, the following one was the drying of the boards of it to the ATC society of Wood in Allada to a moisture content of 12%. Following it, we have, in the wood workshop of the Technical Grammar School Coulibaly of Cotonou, carried the machining of these last in normalized test-tubes. In the same way to the previous activities, some tests of identification have been achieved on the samples of lagoonsand, of rounded gravel of Mono and the cement CPJ 35 of SCB Bouclier that will enter in the formulation of the reinforced concrete of *Borassus Aethiopum* Mart. The Laboratory of Materials and Structures (LAMS) of High Civil Engineering School of Véréchaguine A. K. was used as for the realization of different mechanical tests on the samples and the test-tubes.

To reach our main purpose, we have firstly listed some possible types of assembly in the lapping zone. Secondly, we have identified those which are better adapted to our sturdy. On the basis of the identified types of assembly, some beams have been prepared. And to finish, the type of assembly that offers the maximum of resistance in bending four (04) points has been identified.

Below, we have the different reinforcements coming in the confection of the beams and the assembling achieved at the LAMS laboratory (fig. 1, 2, 3, 4, 5, 6).

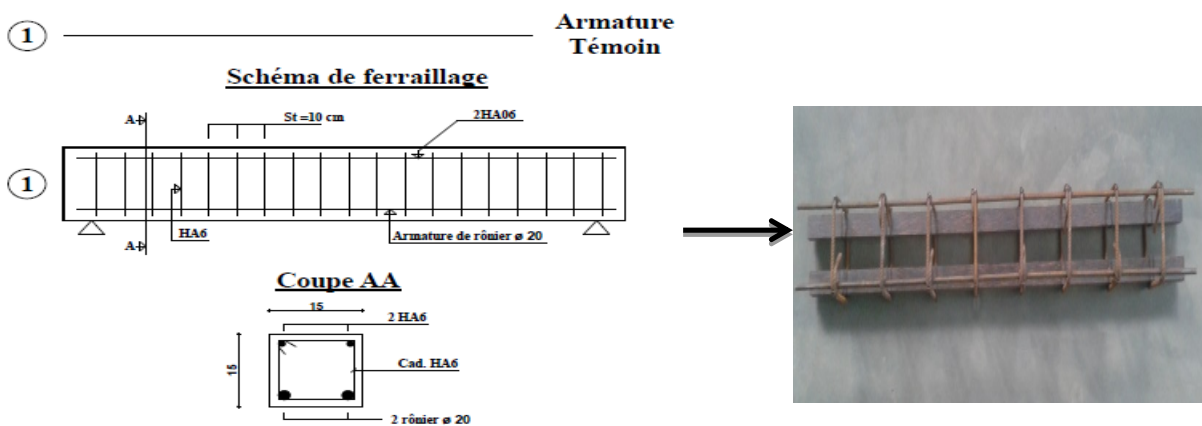


Figure 1 – Beam reinforced of continuous palm

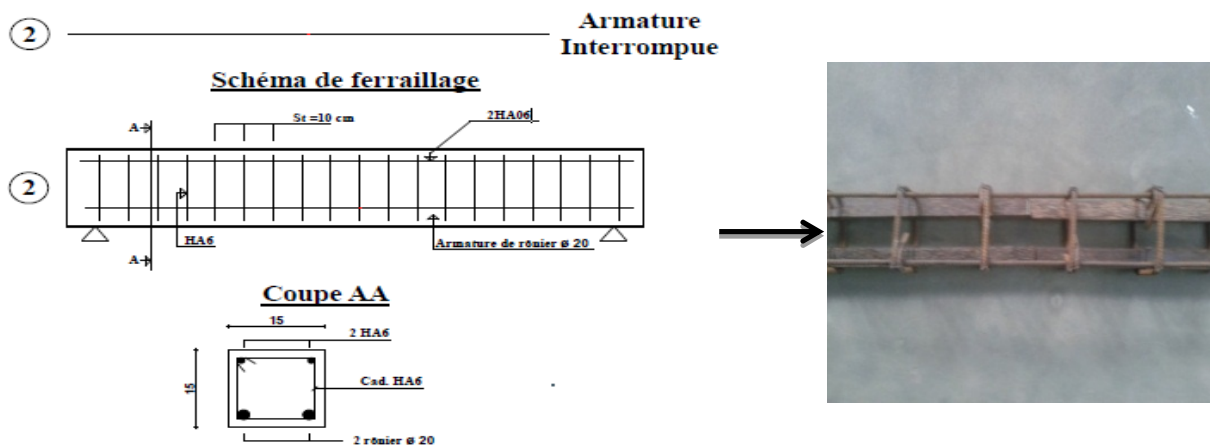


Figure 2 – Beam reinforced of interrupted palm

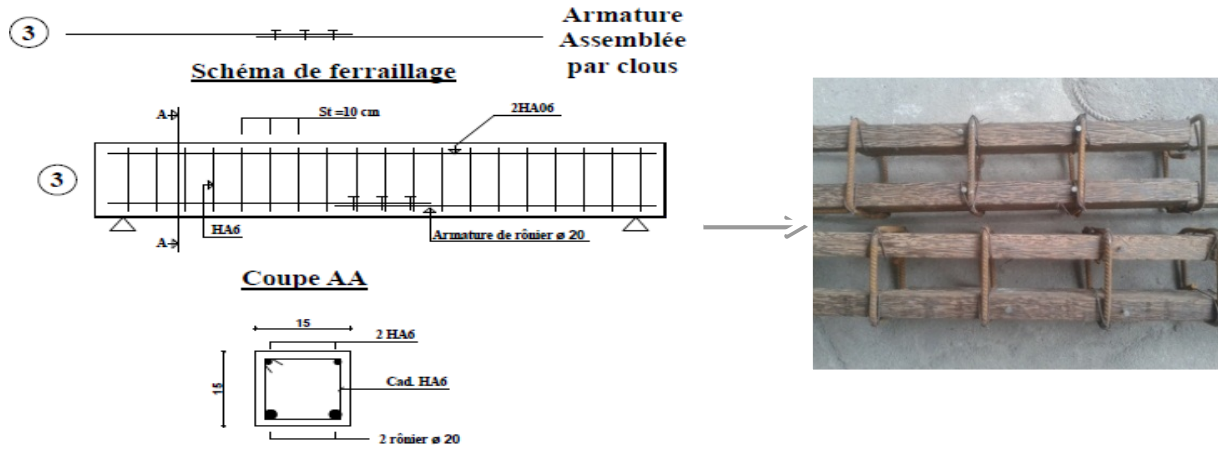


Figure 3 – Beam reinforced with palm assembled by nails

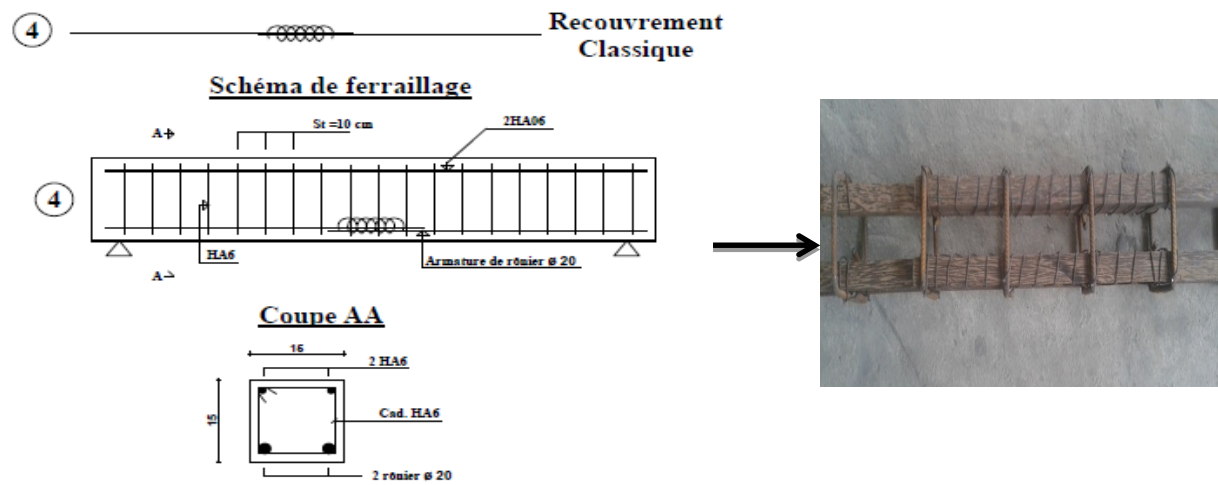


Figure 4 – Beam reinforced with palm assembled by wire

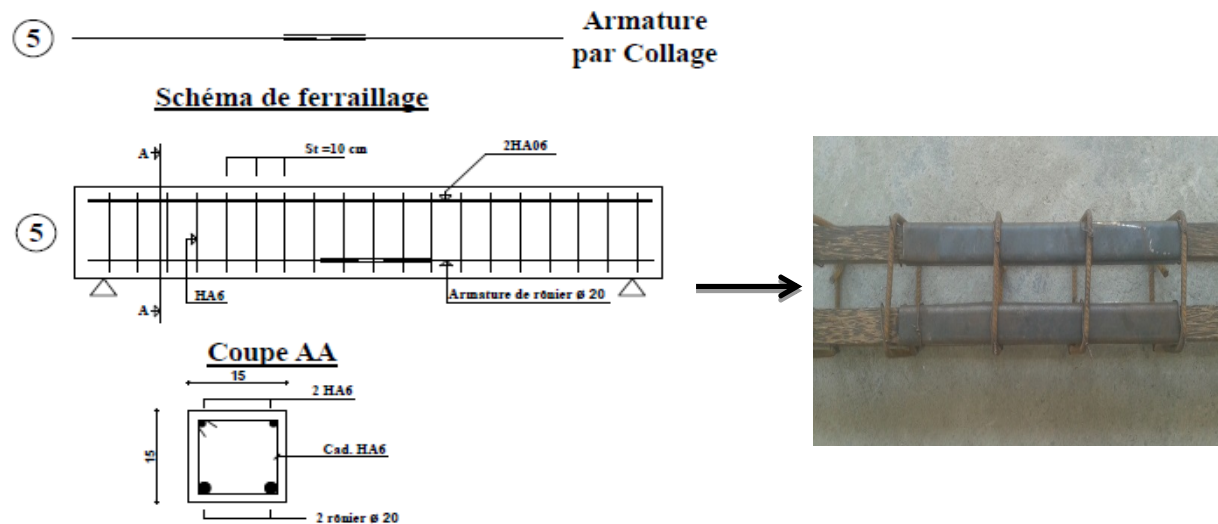


Figure 5 – Beam reinforced with palm assembled by sticking with iron galvanized tubes in U shape

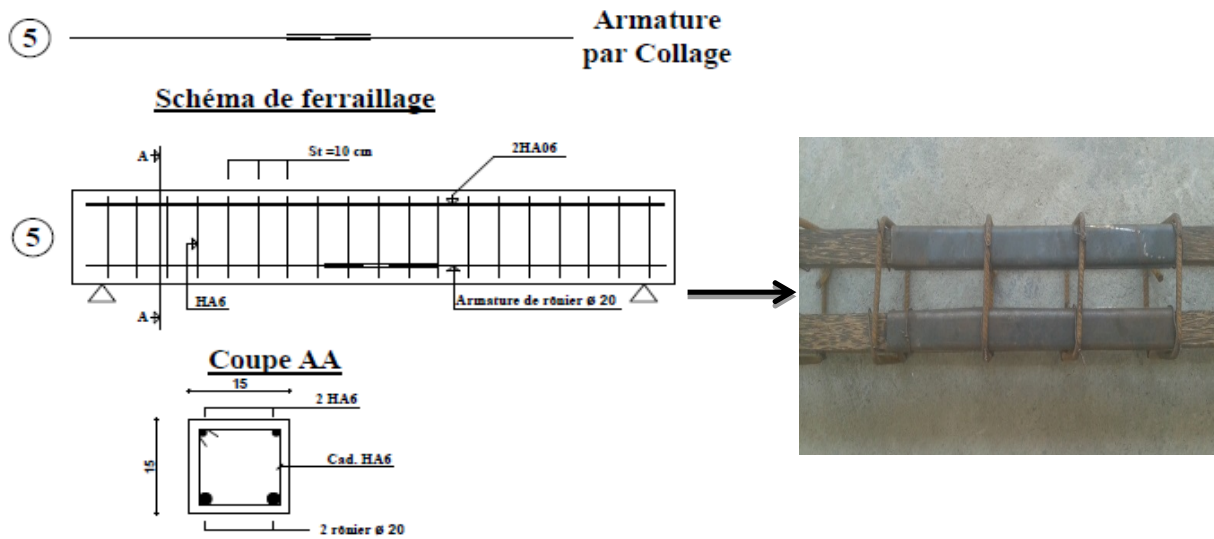


Figure 6 – Beam reinforced with palm assembled by sticking with fiiron galvanized tubes in laminations shape

The results of the tests achieved in the reach our goals were the subject of analysis and discussions.

3. Results and discussions

Physical characteristics of materials. The tests of physical characterization have been achieved on the lagoon sand, rounded gravel of Mono and the cement CPJ coming in the confection of the concrete. About the number of these tests, we have the particle analysis by sifting, the specific density, the bulkspecific gravity and the sand equivalent.

The table 1 below presents the results of all the physical characterization tests of materials used.

Table 1 – Summary of the characteristics of materials

Characteristics	Lagoon sand	Rounded gravel of Mono	Cement
Granular class	0,08/5	5/15	-
Coefficient of fineness CF	2,55	-	-
Uniformity coefficient U_c	2,81	2,06	-
Curvature coefficient C_c	1,003	1,01	-
Specific density (g/cm^3)	1,50	2,05	-
Bulk specific gravity (g/cm^3)	1,42	1,91	3,10
Densité « SSS »	2	-	1,00
Absorption percentage	2,05	1,60	-
E.S	79	-	-
E.S.V	91,5	-	-

From the different results obtained, we formulated the concrete having to serve to the casting of the beams.

Physical characteristics of the fresh concrete. The formulation of the concrete has been made according to Dreux-Gorisse method [10] where we want to make a plast concrete for the achievement of the beams with a maximal dimension $D_{max}=31,50$ mm for the granulates. The wished resistance is $\sigma'_n=300$ bars. The granulates are of common quality, rounded with a normal vibration.

Ø Data of basis

- Maximal dimension of the granulates $D = 31,5$ mm

- Nominal resistance $\sigma_n = 300$ bars
- Settlement to the cone: $A = 5$ cm
- Means of compaction: common or normal vibration
- The granulates that we have at our disposal are:

- Clean lagoon sand:

$M_f = 2,35$

Specific mass: $1,5 \text{ g/cm}^3$

Bulk specific gravity: $1,42 \text{ g/cm}^3$

Sand Equivalent: Clean sand

- Rounded clean gravel

Specific mass: $2,05 \text{ g/cm}^3$

Obvious density: $1,91 \text{ g/cm}^3$

- The used cement is the CPJ 35 of SCB BOUCLIER with $\sigma_c = 480$ bars and of specific weight equal to $3,1 \text{ g/cm}^3$.

According to the physical characteristics of our materials and the data of basis, the table 2 below presents the summary of the materials dosage.

Table 2 – Summary of the materials dosage

Materials	Mass (Kg)	Specific Weights (g/cm^3)	Absolute Volumes (Litre)
Sand	323	1,5	215
Gravel	1029	2,05	502
Cement	350	3,1	113
Water	172	1	172
Density (Kg/m^3)	-	1874	-

Mechanical characteristics of the formulated concrete. The different tests have been achieved in the Laboratory of the Materials and Structures (LAMS) of High Civil Engineering School of Véréchaguine A. K. (HCES-VAK). To the number of these tests, we have:

- Test of settling to the cone of Abrams achieved on the cool concrete (Norm NF EN 12350-2)

This test has been done all the times that we sank the concrete for the confection of beams. To every casting we made four (4) test-tubes. The results are consigned in the following picture:

Table 3 – Test of settling to the cone of Abrams

Confection des poutres	Settlement to the cone of Abrams obtained (cm)
1st confection	5,30
2nd confection	4,70
3rd confection	4,85
4th confection	5,15
Average	5,00

From the analysis of these results, we note that the settlement to the cone of Abrams obtained is included between 4,70 and 5,30; we conclude therefore that the concrete is tough and of good vibration.

- Test of compression on the hardened concrete (NF P 18. 406)

In order to appreciate better the concrete that we used the point of view resistance to the compression for the confection of our beams, we also achieved some tests of compression according to the norm NF P 18 - 406 on cylindrical test-tubes of diameter 16cm and 32cm high by means of a hydraulic press as shows the figure 7.

The tests have been achieved after 7, 14, 21 and 28 days on three (3) different samples. The results of this test are consigned here in the tables 4 - 9 below:

Table 4 – Test of compression on the cylindrical test-tubes of 7 days

N° of test-tubes	Breaking load (KN)	Breaking strain (MPa)
N° 1	90	18,10
N° 2	92	18,50
Average		18,30

Table 5 – Test of compression on the cylindrical test-tubes of 14 days

N° of test-tubes	Breaking load(KN)	Breaking strain(MPa)
N° 1	94,5	19,00
N° 2	96	19,30
Average		19,15

Table 6 – Test of compression on the cylindrical test-tubes of 21 days

N° of test-tubes	Breaking load(KN)	Breaking strain(MPa)
N° 1	99,99	20,10
N° 2	100,5	20,21
Average		20,16

Table 7 – Test of compression on the cylindrical test-tubes of 28 days

N° of test-tubes	Breaking load(KN)	Breaking strain(MPa)
N° 1	109	21,92
N° 2	115	23,12
Average		22,52

Table 8 – Summary of the averages of the Breaking strain of the compression test on the cylindrical test-tubes of different dates

Averages	Breaking strain (MPa)
7 Jours	18,30
14 Jours	19,15
21 Jours	20,16
28 Jours	22,52

The breaking strain of the concrete used for the confection of the beams is $f_{c_{28}} = 22,52\text{Mpa}$.

Table 9 – Summary of the test of compression on the cylindrical test-tubes

N° test-tubes	Breaking pressure (bar)	Area of straight section of the test-tube (cm ²)	Breaking force (daN)
N° 1	151,16	201,06	30392,07
N°2	156,50	201,06	31466,05
N°3	162,91	201,06	32754,81
Average	156,86	201,06	31537,65
Standard deviation	4,036	0	811,45

Mechanical characteristics of the lapping zone of different types of assembly. In order to be able to make the choice of the best lapping, we had to prepare several samples of beams on which we achieved the test of bending 4 points according to the norm NF P 98 - 302. These different samples have been previously described in the methodology. All the beams are reinforced with construction trusses at the superior part.

So therefore we have:

Beams 1: Witness beams: these are beams reinforced at the bottom part of two continuous Borassus trusses of square section of 20x20 cm² (2Bo20).

Beam 2: These beams are reinforced at the inferior part of 2Bo20 discontinuous or interrupted to mid bay.

Beam 3: These beams are reinforced to the inferior part of 2Bo20 assembled by nails.

Beam 4: These beams are reinforced to the inferior part of 2Bo20 with a classic lapping (trusses assembled by wire).

Beam 5: These beams are reinforced to the inferior part of 2Bo20 with a lapping by sticking (iron galvanized tube in U shape).

Beam 6: These beams are reinforced to the inferior part of 2Bo20 with a lapping by sticking (iron galvanized tube of two blades).

The prepared beams have a dimension of (15 x 15 x 91) cm³. The Borassus used at moisture content equal to 12% and has for section (2 x 2) cm². For the confection of the beams, the adopted coating is 3 cm. The tests on the beams have been done of 28 days. For every type of we achieved three (03) test-tubes.

The figure 8 shows the device of the bending 4 points test on the hydraulic press. The results of the bending tests 4 points have been summarized in the tables 10 - 16 below.



Figure 7 – Hydraulic press for the compression

Table 10 – Test of bending 4 points on the beams reinforced with trusses of 2Bo20 continuous

	1. TEST TUBEN°1			2. TEST TUBEN°2			3. TEST TUBEN°3		
	Applied Pressure (bar)	Deflection of the beam (mm)	Breaking force (daN)	Pressure applied (bar)	Deflection of the beam (mm)	Breaking force (daN)	Applied Pressure (bar)	Deflection of the beam (mm)	Breaking force (daN)
Beam 1: Beams reinforced with construction trusses at superior part and of 2Bo20 continuous at inferior part	1,60	0,22	62,34	1,60	0,20	62,34	1,60	0,18	62,34
	6,94	0,50	270,99	6,94	0,35	270,99	6,94	0,56	270,99
	12,28	0,72	479,64	12,28	0,73	479,64	12,28	0,78	479,64
	17,62 Cracking	1,08	688,29	17,62	1,00	688,29	17,62	0,89	688,29
	22,96	1,15	896,95	22,96 Cracking	1,05	896,95	22,96 Cracking	1,20	896,95
	28,30 Breaking load	1,22	1105,60	28,30 Breaking load	1,07	1105,60	28,30 Breaking load	1,65	1105,60

Table 11 – Test of bending 4 points on the beams reinforced with 2Bo20 interrupted

Beam 2: Beams reinforced with 2Bo20 interrupted at the inferior part	4. TEST TUBEN°1			5. TEST TUBEN°2			6. TEST TUBEN°3		
	Applied Pressure (bar)	Deflection of the beam (mm)	Breaking force (daN)	Pressure applied (bar)	Deflection of the beam (mm)	Breaking force (daN)	Applied Pressure (bar)	Deflection of the beam (mm)	Breaking force (daN)
	1,60	0,00	62,34	1,60	0,00	62,34	1,60	0,00	62,34
	6,94	0,06	270,99	6,94	0,30	270,99	6,94	0,45	270,99
	12,28 Cracking	0,35	479,65	12,28 Cracking	0,60	479,64	12,28 Cracking	0,60	479,64
	17,6203 Breaking load	0,80	688,29	17,62 Breaking load	0,80	688,29	17,62 Breaking load	0,85	688,29

Table 12 – Test of bending 4 points on the beams reinforced with 2Bo20 assemblies by nails

Beam 3: Beams reinforced with 2Bo20 assembled by nails at the inferior part	7. TEST TUBEN°1			8. TEST TUBEN°2			9. TEST TUBEN°3		
	Applied Pressure (bar)	Deflection of the beam (mm)	Breaking force (daN)	Pressure applied (bar)	Deflection of the beam (mm)	Breaking force (daN)	Applied Pressure (bar)	Deflection of the beam (mm)	Breaking force (daN)
	1,60	0,08	62,34	1,60	0,02	62,34	1,60	0,03	62,34
	6,94	0,20	270,99	6,94	0,08	270,99	6,94	0,05	270,99
	12,28 Cracking	0,28	479,64	12,28 Cracking	0,15	479,64	12,28 Cracking	0,09	479,64
	17,62	0,3	688,29	17,62	0,10	688,29	17,62	0,15	688,29
	22,96	0,4	896,95	22,96	0,50	896,95	22,96	0,30	896,95
	28,30 Breaking load	0,55	1105,6	28,30	0,55	1105,6	28,30	0,70	1105,6
	-	-	-	33,65 Breaking load	0,60	1314,25	33,65 Breaking load	0,70	1314,25

Table 13 – Test of bending 4 points on the beams reinforced with 2Bo20 assembled by the wire

Beam 4: Beams reinforced with 2Bo20 assembled by the wire at the inferior part	10. TEST TUBEN°1			11. TEST TUBEN°2			12. TEST TUBEN°3		
	Applied Pressure (bar)	Deflection of the beam (mm)	Breaking force (daN)	Pressure applied (bar)	Deflection of the beam (mm)	Breaking force (daN)	Applied Pressure (bar)	Deflection of the beam (mm)	Breaking force (daN)
	1,60	0,00	62,34	1,60	0,00	62,34	1,60	0,00	62,34
	6,94	0,10	270,99	6,94	0,06	270,99	6,94	0,06	270,99
	12,28	0,50	479,64	12,28	0,47	479,64	12,28	0,47	479,64
	17,62 Cracking	0,85	688,29	17,62 Cracking	0,74	688,29	17,62 Cracking	0,74	688,29
	22,96	1,00	896,95	22,96	0,97	896,95	22,96	0,97	896,95
	28,30	1,20	1105,60	28,30	1,02	1105,60	28,30	1,02	1105,60
	33,65 Breaking load	1,55	1300,91	33,65 Breaking load	1,35	1300,91	33,65 Breaking load	1,35	1300,91

Table 14 – Test of bending 4 points on the beams reinforced with 2Bo20 by sticking with a lapping of iron galvanized in U shape

Beam 5: Beams reinforced with 2Bo20 lapped of iron galvanized tube in U shape by sticking in the lapping zone at the inferior part	13. TEST TUBEN°1			14. TEST TUBEN°2			15. TEST TUBEN°3		
	Applied Pressure (bar)	Deflection of the beam (mm)	Breaking force (daN)	Pressure applied (bar)	Deflection of the beam (mm)	Breaking force (daN)	Applied Pressure (bar)	Deflection of the beam (mm)	Breaking force (daN)
	1,60	0,00	62,34	1,60	0,00	62,34	1,60	0,00	62,34
	6,94	0,16	270,99	6,94	0,18	270,99	6,94	0,15	270,99
	12,28	0,36	479,64	12,28	0,30	479,64	12,28	0,20	479,64
	17,62 Fissuration	0,42	688,29	17,62 Fissuration	0,40	688,29	17,62 Fissuration	0,50	688,29
	22,96	0,50	896,95	22,96	0,45	896,95	22,96	0,65	896,95
	28,30 Breaking load	0,55	1105,60	28,30 Breaking load	0,55	1105,60	28,30 Breaking load	0,70	1105,60

Table 15 – Test of bending 4 points on the beams reinforced with 2Bo20 by sticking iron galvanized tube of two blades

Beam 6: Beams reinforced with 2Bo20 lapped of iron galvanized tube of 2 blades by sticking at the inferior part	16. TEST TUBEN°1			17. TEST TUBEN°2			18. TEST TUBEN°3		
	Applied Pressure (bar)	Deflection of the beam (mm)	Breaking force (daN)	Pressure applied (bar)	Deflection of the beam (mm)	Breaking force (daN)	Applied Pressure (bar)	Deflection of the beam (mm)	Breaking force (daN)
	1,60	0,00	62,34	1,60	0,00	62,34	1,60	0,00	62,34
	6,94	0,16	270,99	6,94	0,18	270,99	6,94	0,15	270,99
	12,28	0,36	479,64	12,28	0,30	479,64	12,28	0,20	479,64
	17,62 Cracking	0,42	688,29	17,62 Cracking	0,40	688,29	17,62 Cracking	0,50	688,29
	22,96	0,50	896,95	22,96	0,45	896,95	22,96	0,65	896,95
	28,30 Breaking load	0,55	1105,60	28,30 Breaking load	0,55	1105,60	28,30 Breaking load	0,70	1105,60

The table 16 summarizes the values of the strengths of ruptures, the arrows and of the modulus of YOUNG for every type of assembly.

Table 16 – Summary of determination of the modulus of Young

Descriptions	Breaking Force (daN)			Average of Breaking Force (daN)	Average deflection (mm)	Modulus of Young (MPa)
Type 1	1335	1310	1315	1315,00±10	1,38	1651
Type 2	710	690	670	690,00±13,33	0,85	1407
Type 3	1110	1105	1095	1103,00±5,55	0,70	2732
Type 4	1320	1290	1310	1307,00±11,11	1,55	1461
Type 5	1523	1530	1537	1530,00±4,67	0,70	3788
Type 6	1100	1115	1105	1106,67±5,56	0,60	3197

On the basis of the results of the modulus of Young, a histogram has been constructed, to the figure 9, in order to conduct the analyses on the type of assembly of beams that would give a maximal rigidity in the lapping zone.

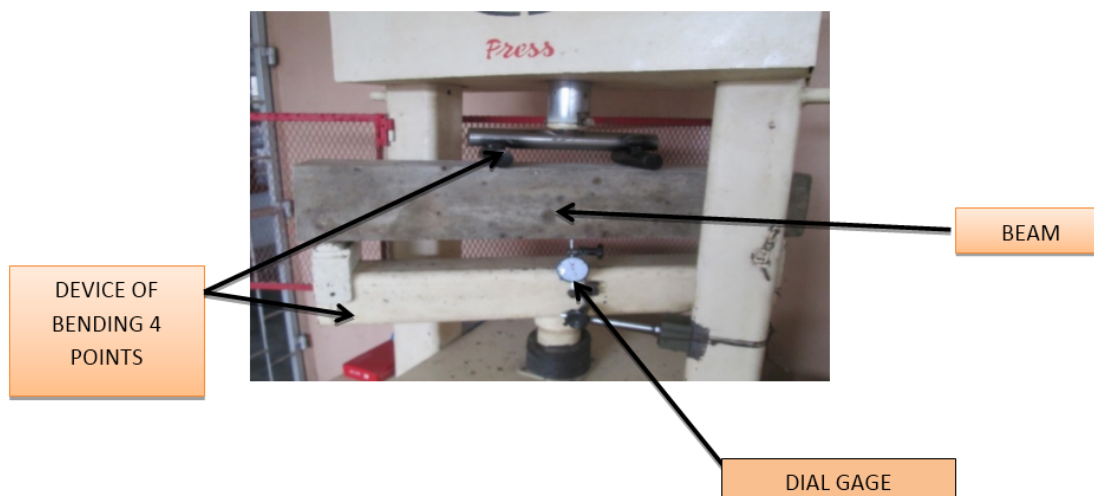


Figure 8 – Device of bending 4 points on the hydraulic press

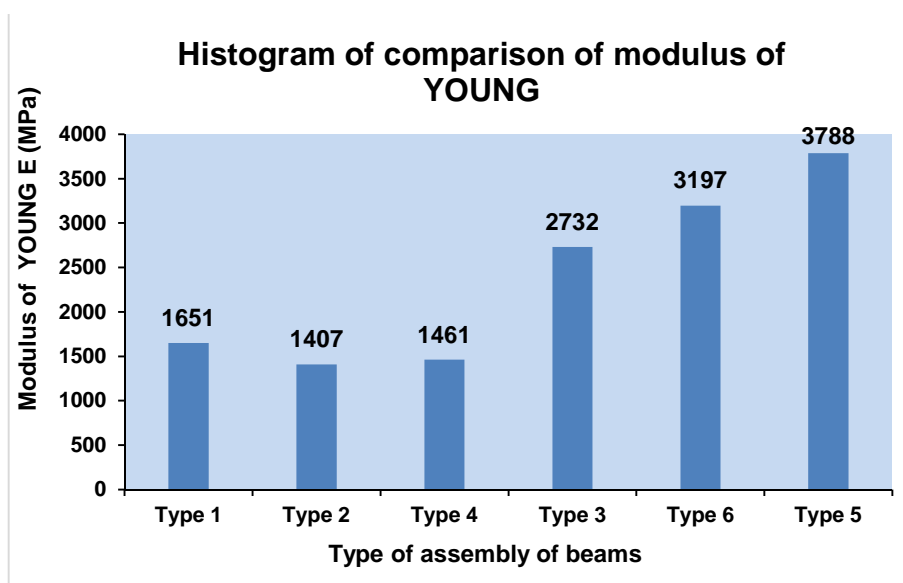


Figure 9 – Histogram of comparison of the modulus of YOUNG

The Table 16 above gives the values of the average breaking force of beams, of the average deflection and the modulus of YOUNG of beams made of reinforced concrete of 2B020 gauged at 350 Kg/m³ and 28 days old where are experimented the factors influencing the rigidity in the lapping zone. From this table, we note that the modulus of YOUNG of the beams reinforced with type 5 (3788 MPa) is superior to the modulus of all other types of beams reinforced with palm (Borasus). It proves that the increase of their rigidity depends on the system assembly of woodtrusses.

The observation made about the histogram of comparison of the modulus of Young (*Figure 3.3*), shows that the Type 1 (witness beam of 2Bo20 continuous) is compared to the other types of assembly. It shows that after the type 1 the histogram evolves in an increasing way until the type 5 that respects the aimed objective.

The comparison between the modulus of Young of continuous trusses (1651 MPa), of interrupted trusses (1407 MPa), of trusses assembled by wire (1461 MPa), of trusses assembled by nails

(2732 MPa), of trusses assembled by sticking with the iron galvanized tube in the blades shape (3197 MPa) and those assembled by sticking with the iron galvanized tube in the U shape (3788 MPa), shows that the presence of the iron galvanized tube by sticking on the area of contact of the palm in the lapping zone increases the modulus of Young. This increasing of modulus of the beam shows that the iron galvanized tube plays an important role in this lapping zone. We can deduce therefore that the rigidity improved and this because of the presence of iron galvanized tube.

The modulus of Young of the beams reinforced with palm trusses assembled by sticking with the iron galvanized tube in U shape or blades is superior to the one of the other beams reinforced with palm truss (by nails, continuous, by wire, and interrupted). It allows us to say that the beams reinforced with palm trusses assembled by the iron galvanized tube offer the best rigidity in lapping zone.

4. Conclusion

This work was about the mechanical characterization of the lapping zone of the palm trusses in the concrete and integrated in a general problematic of valorization and development of local materials. It had therefore for purpose to identify a type of bond of palm trusses having a better rigidity in the lapping zone.

At the end of a brief bibliographic synthesis pointing the possibility to use the palm as trusses in the construction up, we achieved six (06) different types of beams of dimension (15x15x91) cm³ made of reinforced concrete with palm especially as the aimed goal is to identify the type of bond that will give a maximal rigidity in the lapping zone. The technique adopted to manufacture the beams sums up in two essential points:

- To achieve the reinforcement of the aforesaid beams with six (06) different assemblies of palm trusses in the lapping zone (witness truss, interrupted truss, truss reinforced by nail, classic assembly by wire and two (02) assemblies by sticking with of iron galvanized tube in U shape and blades);

- To prepare three beams by type of assembly with a concrete formulated by the Dreux-Gorisse method.

In order to determine the mechanical properties of the beams obtained we have submitted these last tests of bending 4 points.

The mechanical characteristics (breaking forces and modulus of Young) recorded for the beams allow to deduce the beam of type 5 as being the most rigid. Thus, it follows that it is the lapping of palm trusses by sticking with the iron galvanized tube in U shape (Type 5) that offers the best rigidity in the lapping zone.

Although the studied aspects are numerous and various, this study is only an exploratory phase in the characterization and the complete mastery of lapping of palm trusses.

BIBLIOGRAPHY

1. Foudjet A., Fomo J., 1995. Une nouvelle méthode d'accroissement de l'adhérence entre une armature en matière végétale et le béton (effet de confinement) : cas de l'armature de rotin dans le béton de nodule latéritiques, *Journal of materials and structures*, Vol. 28 N°9, pp 554-557.

2. Blackburn D., 2006. Le développement d'un système constructif de plancher préfabriqué pour l'habitat urbain de Hanoi. Mémoire de maîtrise en sciences de l'architecture. Québec : Faculté d'aménagement, d'architecture et arts visuels, Université de Laval, p. 71.

3. Djoudi A., Khenfer M., Bali A., 2009. Etude d'un nouveau composite en plâtre renforcé avec les fibres végétales du palmier dattier. In *First International Conference on sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries*. Oran (Algérie).

4. Sohounhloue Y. J., 2014. Caractérisation des joints inter-faciaux des fibres végétales : cas du rotin du Cameroun, *Revue Scientifique et Technique Forêt & Environnement du Bassin du Congo*, Vol. 3, p. 32-38, Octobre 2014.

5. Cabennes Y., Chantry G., 1987. Le palm et le palmier à sucre : Production et mise en œuvre dans l'habitat. Edition GREF, France, 90p.

6. Giffard P. L., 1972. Le palmier palm, *Borassus Aethiopicum Mart « Bois et forêt des tropiques »* N°116, édition CTFT, Paris (France), p.12.

7. Houankoun D., S., E., 2004. Importance socio-économique du palm (*Borassus Aethiopum* Mart) : Différents usages et commercialisation de quelques sous-produits au Bénin. Mémoire de DEA, EDP/GEN-UAC, Cotonou, Bénin, 105p.
8. Gbaguidi V. S., Gbaguidi-Aissè G. L., Gibigaye M., Adjovi E., Sinsin B. A., Amadji T.A., 2010. Détermination expérimentale des principales caractéristiques physiques et mécaniques du bois du palm (*Borassus Aethiopum* Mart) d'origine béninoise. J. Rech.Sci. Univ. Lomé (Togo), Série E, 12(2), p. 1-9.
9. Gbaguidi V.S., Gbaguidi-Aissè G.L., Gibigaye M., Amadji T. A., Agossou Y.D., Soclo P., Sinsin B. A., 2011. Étude de la possibilité d'utilisation du palm comme armature végétale dans les éléments en béton : cas des poutres. Annales des Sciences Agronomiques, 15(1), p. 67-78.
10. Cimbeton, 2006. Les bétons : formulation, fabrication et mise en œuvre, tome2. Fiche technique. Paris : Amprincipe Paris.

G. Gbaguidi-Aïsse

High Civil Engineering School of Véréchaguine A.K., University of Abomey-Calavi (UAC), 02 BP 244 Cotonou, Republic of Benin

Laboratory of Materials and Structures (LAMS)

Ph. D., Prof.

E-mail: gbaguidi.gerard@yahoo.fr

M. Akowe Sare

High Civil Engineering School of Véréchaguine A.K., University of Abomey-Calavi (UAC), 02 BP 244 Cotonou, Republic of Benin

Laboratory of Materials and Structures (LAMS)

J. Sohounhloue

High Civil Engineering School of Véréchaguine A.K., University of Abomey-Calavi (UAC), 02 BP 244 Cotonou, Republic of Benin

Laboratory of Materials and Structures (LAMS)

R. Michozounnou

High Civil Engineering School of Véréchaguine A.K., University of Abomey-Calavi (UAC), 02 BP 244 Cotonou, Republic of Benin

Laboratory of Materials and Structures (LAMS)

A.E. Foudjet

University of Dschang, Dschang, Cameroon.

CRESA Forest-Woods. Faculty of Agronomy and Agricultural Sciences

ГБАГУИДИ АИССЕ Г., АКО САР М., СОХОУНЛО Д.,
МИКОЗОУННО Р., ФОУДЖЕТ А.Е.

**МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗОНЫ СТЫКА
АРМАТУРНЫХ КАРКАСОВ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ ПАЛЬМЫ В БЕТОНЕ**

Данная статья открывает новое направление в исследовании применения древесины пальмы в качестве арматуры в бетонных конструкциях и основана на изучении механических характеристик зоны стыка арматурных каркасов из древесины в бетоне. Целью исследования было установить конструктивные решения в зоне стыка, обеспечивающей наибольшую жесткость стыка. Были изучены имеющиеся работы по теме контактного взаимодействия материалов, среди которых были выделены наиболее адаптированные к теме нашего исследования, на основании чего предложено пять вариантов конструктивных решений для последующего экспериментального исследования контактной жесткости при чистом изгибе. На основании полученных в ходе исследования результатов установлено, что наибольшая контактная жесткость достигается при выполнении стыков с использованием U-образных профилей из оцинкованной стали.

Ключевые слова: *древесина пальмы, зона стыка, максимальная жесткость, чистый изгиб.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Foudjet A., Fomo J., 1995. Une nouvelle méthode d'accroissement de l'adhérence entre une armature en matière végétale et le béton (effet de confinement) : cas de l'armature de rotin dans le béton de nodule latéritiques, *Journal of materials and structures*, Vol. 28 N°9, pp 554-557.
2. Blackburn D., 2006. Le développement d'un système constructif de plancher préfabriqué pour l'habitat urbain de Hanoi. Mémoire de maîtrise en sciences de l'architecture. Québec : Faculté d'aménagement, d'architecture et arts visuels, Université de Laval, p. 71.
3. Djoudi A., Khenfer M., Bali A., 2009. Etude d'un nouveau composite en plâtre renforcé avec les fibres végétales du palmier dattier. In First International Conference on sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries.Oran (Algérie).
4. Sohounhloue Y. J., 2014. Caractérisation des joints inter-faciaux des fibres végétales : cas du rotin du Cameroun, *Revue Scientifique et Technique Forêt & Environnement du Bassin du Congo*, Vol. 3, p. 32-38, Octobre 2014.
5. Cabennes Y., Chantry G., 1987. Le palm et le palmier à sucre : Production et mise en œuvre dans l'habitat. Edition GREF, France, 90p.
6. Giffard P. L., 1972. Le palmier palm, *Borassus Aethiopum Mart* « Bois et forêt des tropiques » N°116, édition CTFT, Paris (France), p.12.
7. Houankoun D., S., E., 2004. Importance socio-économique du palm (*Borassus Aethiopum Mart*) : Différents usages et commercialisation de quelques sous-produits au Bénin. Mémoire de DEA, EDP/GEN-UAC, Cotonou, Bénin, 105p.
8. Gbaguidi V. S., Gbaguidi-Aissè G. L., Gibigaye M., Adjovi E., Sinsin B. A., Amadji T.A., 2010. Détermination expérimentale des principales caractéristiques physiques et mécaniques du bois du palm (*Borassus Aethiopum Mart*) d'origine béninoise. *J. Rech.Sci. Univ. Lomé (Togo), Série E*, 12(2), p. 1-9.
9. Gbaguidi V.S., Gbaguidi-Aissè G.L., Gibigaye M., Amadji T. A., Agossou Y.D., Soclo P., Sinsin B. A., 2011. Étude de la possibilité d'utilisation du palm comme armature végétale dans les éléments en béton : cas des poutres. *Annales des Sciences Agronomiques*, 15(1), p. 67-78.
10. Cimbeton, 2006. Les bétons : formulation, fabrication et mise en œuvre, tome2. Fiche technique. Paris : Amprincipe Paris.

Гбагуди Аиссе Г.

Высшая школа гражданского строительства имени Верещагина А.К., Университет Абомей-Калави, Котону, Республика Бенин
Лаборатория строительных материалов и конструкций
Д.т.н., профессор
E-mail: gbaguidi.gerard@yahoo.fr

Ако Сар М.

Высшая школа гражданского строительства имени Верещагина А.К., Университет Абомей-Калави, Котону, Республика Бенин
Лаборатория строительных материалов и конструкций

Сохоунло Д.

Высшая школа гражданского строительства имени Верещагина А.К., Университет Абомей-Калави, Котону, Республика Бенин
Лаборатория строительных материалов и конструкций

Микозоунно Р.

Высшая школа гражданского строительства имени Верещагина А.К., Университет Абомей-Калави, Котону, Республика Бенин
Лаборатория строительных материалов и конструкций

Фоджет А.Е.

Университет Дшанга, Дшанг, Камерун
Центр исследования леса и древесины, факультет агрономии и сельского хозяйства

КАЛАФАТОВ Д.А.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ МОДЕЛЕЙ ДВУХСЛОЙНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТНЫХ ФУНДАМЕНТОВ КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ НА ГРУНТОВОМ ОСНОВАНИИ

Представлены результаты экспериментальных исследований моделей двухслойных железобетонных плитных фундаментов каркасных зданий на грунтовом основании. Описаны этапы и проиллюстрированы схемы трещинообразования, характеры разрушения моделей под действием нагрузки, получены экспериментальные значения разрушающей продавливающей нагрузки и их отношения к контрольной, углов наклона боковых граней тел продавливания. Показана схема перемещений конструкции фундамента, выявлена ее зависимость от жесткости модели. Построен график зависимости усредненных значений величины исследуемого параметра от факторов варьирования.

Ключевые слова: плитный фундамент, нагрузка, разрушение, продавливание, анализ, трещина, прогиб, угол.

Постановка проблемы. Как известно, в железобетонных безбалочных фундаментных плитах в узлах сопряжения колонны и плиты передается большая сосредоточенная нагрузка и, соответственно, существует вероятность хрупкого разрушения плитного фундамента от продавливания по наклонному сечению. Возможность разрушения от продавливания доказана первой серией опытов с моделями ФПс1-N[1]. Существующие нормативные расчетные методики относятся к традиционным однослойным плитным конструкциям. Эти методики основаны на гипотезе о разрушении плит с образованием пирамиды продавливания, т.е. о разрушении по некоторым предельным поверхностям с прямолинейной образующей и регламентируемым углом (45°) этой образующей к серединной плоскости плиты.

Анализ достижений и публикаций. Как установлено многими исследованиями надфундаментных и фундаментных конструкций, реальная форма тела продавливания имеет сложную форму, формируется и видоизменяется в процессе работы конструкции под нагрузкой, зависит от прочностных и деформативных свойств бетона и арматуры, геометрических и жесткостных параметров и т.д. Необходимо отметить, что известные данные экспериментальных исследований относятся к однослойным конструкциям. Механизмы разрушения от продавливания конструкций двухслойных железобетонных плитных фундаментов ранее не изучались.

Исследовательская часть. Учитывая сложность решения таких задач, необходимо опираться на физические представления о сопротивлении железобетонных конструкций фундаментов на грунтовом основании, основанные на экспериментальных данных. С этой целью для исследования характера разрушения были проведены экспериментальные исследования для определения фактических значений разрушающих нагрузок, контролируемых параметров напряженно-деформированного состояния (НДС) моделей конструкций двухслойных железобетонных плитных фундаментов и грунтового основания.

Обоснование полученных результатов. С целью изучения механизмов разрушения гибких моделей двухслойных плитных фундаментов от продавливания по наклонному сечению колоннами, а также с целью получения данных для численных исследований третьей серии ФПс3-N предусмотрена вторая серия опытов ФПс2-N. Известно, что в стадии разрушения традиционные однослойные конструкции плитных железобетонных фундаментов каркасных зданий разделяются упругопластическими шарнирами на отдельные блоки – фундаменты под колонны. Продавливание относится к разрушениям от действия местной

нагрузки и происходит на участке, ограниченном телом продавливания, поэтому с целью оптимизации экспериментальных исследований опыты проводили с моделями, представляющими собой фрагмент $\frac{1}{4}$ модели серии ФПс1-N, т.е. фундамент под одну колонну. Геометрические характеристики: размеры в плане, высота плитной части, размеры колонн, подобраны таким образом, чтобы разрушение происходило от продавливания. [2]

Анализ результатов экспериментальных исследований плитных железобетонных фундаментов [3-9], результатов собственных исследований [1] позволил определить 4 основных фактора, влияющих на напряженно-деформированное состояние конструкций двухслойных плитных фундаментов:

a – вылет зоны 2, l_m ; b – класс бетона зоны 2; c – поперечное армирование контактного шва; d – форма зоны 2 (формы контактной поверхности)

Для второй серии экспериментов ФПс2-N было подготовлено 9 моделей двухслойных плитных фундаментов, представляющих собой фрагмент ($\frac{1}{4}$ часть) модели серии ФПс1-N, т.е. фундамент под одну колонну с размерами 0,7 м × 0,5 м × 0,15 м. Зона 1 моделей была выполнена из бетона класса В15, зона 2 – из бетона класса В20, В25, В30 в зависимости от значения фактора варьирования. Модели армировались нижней сеткой С2 из АЕ10 А500 с ячейкой 100 мм × 100 мм.

Сочетания варьируемых характеристик принято по комбинационному квадрату. [2]

Основная цель проведенных исследований моделей серии ФПс2-N – определение влияния параметров конструкции двухслойных железобетонных фундаментов на несущую способность при продавливании. Основное внимание уделено определению величины разрушающей нагрузки, изучению формы тела продавливания. Приводятся результаты качественного влияния параметров конструкций, в т.ч. особенностей контактных швов, на величину разрушающей нагрузки.

Контрольное значение нагрузки было определено по действующим нормам [10] для однослойной модели ФПс2-10 – 138 кН. Степень нагружения составляла 10% от контрольной нагрузки – 13,8 кН.

Обобщенные экспериментальные данные сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Экспериментальные значения продавливающей нагрузки и средние углы наклона боковых граней тел продавливания

Модель фундамента	$N_{разр}$, кН	$N_{разр}/N_{контр}$	Фактический угол наклона
ФПс2-1	155,4	1,13	54°
ФПс2-2	158,5	1,14	55°
ФПс2-3	198,9	1,44	51°
ФПс2-4	160,0	1,16	58°
ФПс2-5	175,5	1,27	52°
ФПс2-6	198,9	1,45	48°
ФПс2-7	199,5	1,46	49°
ФПс2-8	181,3	1,31	47°
ФПс2-9	171,5	1,24	62°
ФПс2-10	154,6	1,12	57°

Как и предполагалось, разрушение моделей серии ФПс2-N было связано с разрушением по наклонному сечению от продавливания в следующей последовательности:

- образование и развитие нормальных и наклонных трещин в растянутой зоне;
- откол плоских лещадок в угловых зонах стыка колонны и плиты, что является началом образования наклонных трещин в угловых участках сжатой зоны;
- отделение тела продавливания и изгиб арматурной сетки в наклонной трещине.

Анализ результатов экспериментальных данных показывает, что величина разрушающей нагрузки от продавливания превышает контрольное значение в 1,12-1,46 раза. При этом модели двухслойных фундаментов разрушились при большем уровне нагрузки в сравнении с однослойным. Известно, что непосредственно перед продавливанием (по наклонному сечению) нагрузка воспринимается только участком сжатой зоны бетона, в зоне стыка колонны и плиты. Этим, очевидно, и объясняется повышенная несущая способность двухслойных фундаментов.

Схемы трещинообразования для всех моделей данной серии представлены на рисунках 1, 2. Пунктиром на схемах показаны контуры нижнего и верхнего основания пирамиды продавливания по [10].

В ходе испытаний определено, что до образования тела продавливания происходит образование и раскрытие в растянутой зоне – по нижнему основанию, двух видов трещин:

- трещин, по очертаниям повторяющих контур колонн, проходящих на некотором расстоянии от проекции колонны.
- трещин, отходящих от проекции контура колонны к боковым граням плитной части.

Трещины первого вида – кольцевые, образовывали нижнее основание тела продавливания. Верхним основанием тела продавливания являлся контур колонны. Продавливание происходило по наклонным сечениям, образующим боковые грани тела продавливания.

Аналогичная схема разрушения при продавливании была зафиксирована при испытании моделей первой серии. [1]

Анализ схем выявил несоответствие фактического контура тела продавливания контрольному, как при испытании однослойной модели, так и двухслойных. Фактический контур нижнего основания тела продавливания имел сложные криволинейные очертания, по форме напоминал форму квадрата с усеченными углами. Границы контура не выходили за контрольный. Выявлено, что для модели однослойного фундамента ФПс2-10 и для моделей двухслойных фундаментов с малым вылетом зоны 2 – ФПс2-1, ФПс2-4, ФПс2-9, площадь нижнего основания тела продавливания была меньше на 25-40% площади контрольного контура, для остальных на – 10-20%.

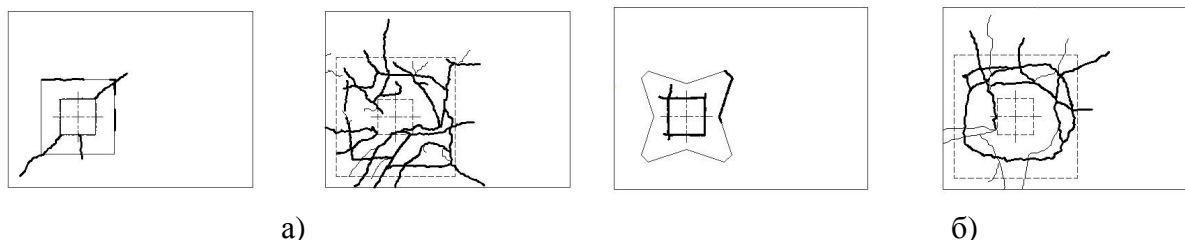


Рисунок 1 – Модели ФПс2-1 (а), ФПс2-2 (б) и соответствующие им схемы трещинообразования

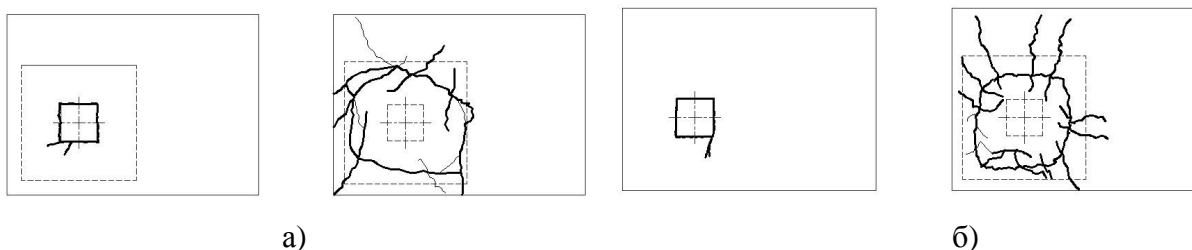


Рисунок 2 – Модели ФПс2-3 (а), ФПс2-10 (б) и соответствующие им схемы трещинообразования

Траектории развития наклонных трещин, образующих боковые поверхности тела продавливания, имели криволинейные очертания, что объясняется применением тяжелых бетонов разных классов [11].

Установлено, при нагрузке $0,6N_{\text{разр}} - 0,8N_{\text{разр}}$ на верхнем основании моделей ФПс2-1, ФПс2-2, ФПс2-4, ФПс2-7 по контуру зоны 2 образовались трещины, что объясняется концентрацией растягивающих напряжений в вертикальном шве на границе зон, малым масштабом модели. При значениях вылетов h_0 трещин по границе контакта слоев не обнаружено. При распиле моделей не обнаружено дефектов горизонтального шва между зонами 1 и 2, что свидетельствует о достаточном сцеплении по контактной поверхности (рисунок 3).



Рисунок 3 – Горизонтальный контактный шов

Экспериментально установлено, что характер развития относительных прогибов консольных участков с ростом нагрузки для всех моделей серии ФПс2-N идентичен. С ростом нагрузки увеличивалось значение приращения относительного прогиба. Анализ экспериментальных данных подтверждает, что на величину прогибов влияет жесткость конструкции. Так, например, при нагрузке $0,6N_{\text{разр}}$ по данным датчика ИЧ-7 максимальный прогиб модели ФПс2-10 составил 3,2 мм, моделей ФПс2-1, ФПс2-2, ФПс2-4, ФПс2-9 – 2,8-3,0 мм, ФПс2-6, ФПс2-5, ФПс2-7 – 2,5мм, ФПс2-3, ФПс2-8 – 2,4 мм.

Необходимо отметить, приращение прогибов на каждой ступени нагружения для моделей с вылетом зоны 2, $l_m = h_0$ было на 10-17% ниже, чем для других моделей данной серии.

Графически характер развития относительных прогибов консольных участков на примере модели ФПс2-4, представлен в виде пространственной схемы на рисунке 4 при уровне нагрузки $0,3N_{\text{разр}}$, $0,6N_{\text{разр}}$, $0,9N_{\text{разр}}$.

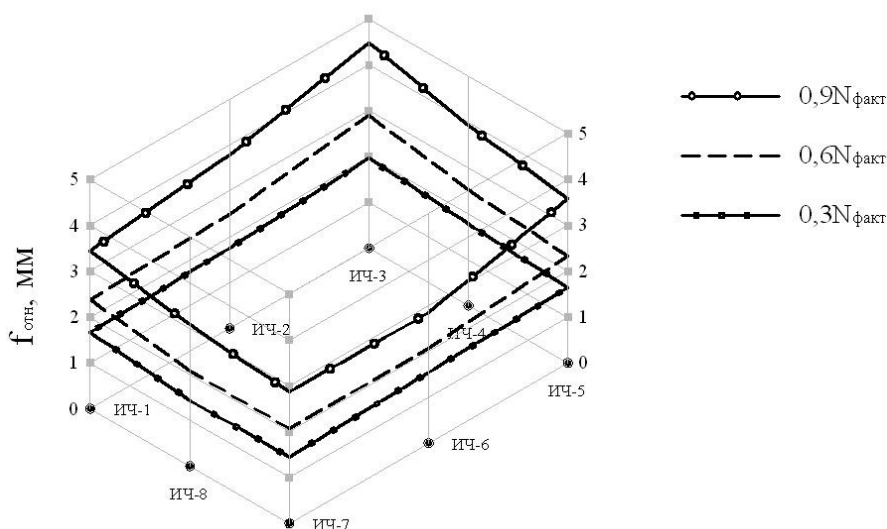


Рисунок 4 – Схема прогибов консольных участков модели ФПс2-4

Для оценки влияния на несущую способность на продавливание по наклонным сечениям двухслойных железобетонных плитных фундаментов варьируемых параметров конструкции: длины вылета зоны 2, прочности бетона зоны 2, поперечного армирования кон-

тактного шва, формы контактной поверхности, была применена известная методика обработки экспериментальных данных [12]. Применение данного метода позволит установить качественную зависимость исследуемого параметра от каждого из варьируемых факторов путем нейтрализации влияния прочих факторов. Основываясь на полученные данные спланирована третья серия экспериментальных исследований ФПс3-N.

Результаты измерения величины продавливающей нагрузки при различных комбинациях факторов сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Сводные экспериментальные данные

Модель	Исследуемый параметр – Разрушающая нагрузка, кН	Вариант фактора			
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
ФПс2-1	155.4	1	1	1	1
ФПс2-2	158.6	1	2	3	2
ФПс2-3	198.9	3	1	3	3
ФПс2-4	160	1	3	2	3
ФПс2-5	175.5	2	1	2	2
ФПс2-6	198.9	3	2	2	1
ФПс2-7	199.5	2	3	3	1
ФПс2-8	181.3	3	3	1	2
ФПс2-9	171.5	2	2	1	3

Произведем выборку значений исследуемого параметра для каждого варианта фактора и выполним усреднение выбранных значений. Таким образом, получим ряд среднеарифметических значений исследуемого параметра для каждого варианта фактора. Наносим полученные средние значения величин на график (рисунок 5).

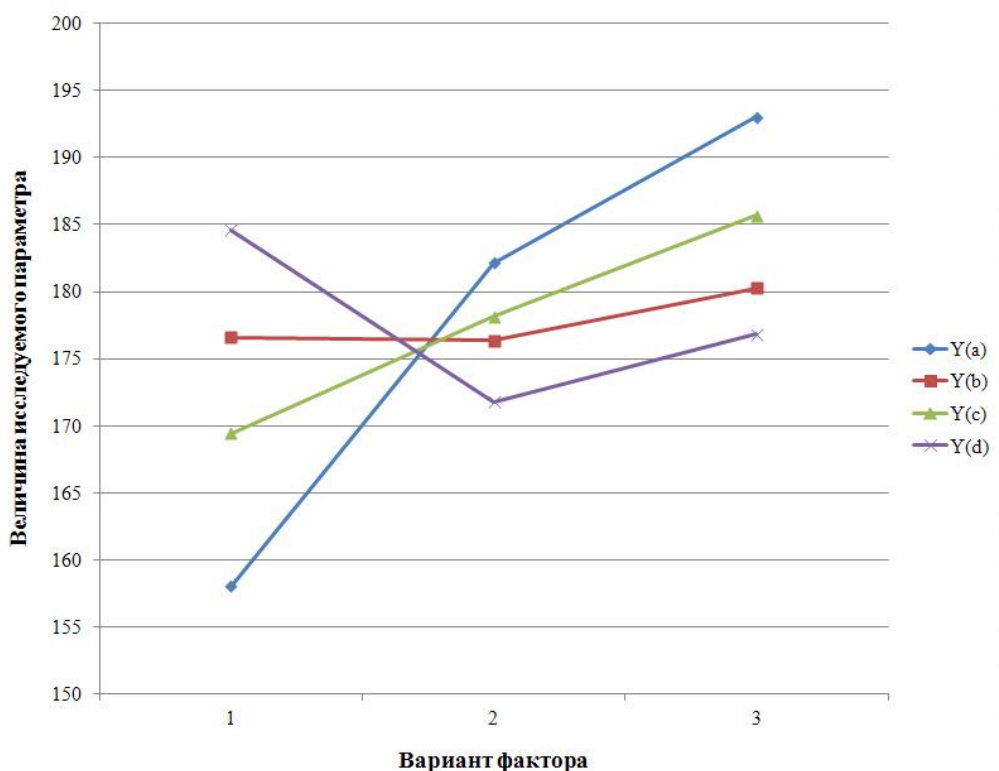


Рисунок 5 – Зависимость усредненных значений величины исследуемого параметра от факторов: *a*, *b*, *c*, *d*

Не зная вида функций зависимости исследуемого параметра от каждого из факторов, соединим полученные точки отрезками. Степень качественного влияния фактора на исследуемый параметр оценивается величиной угла наклона графика к оси абсцисс. Таким образом, наиболее сильно на величину продавливающей нагрузки влияет фактор a - вылет зоны 2 (зоны, выполненной из бетона более высокого класса по прочности на сжатие): при увеличении значения фактора a наблюдается увеличение значения исследуемого параметра. Вторым по значимости является фактор c – поперечное армирование контактного шва. Степень качественной зависимости исследуемого параметра от двух других факторов: b и d , не прослеживается. Однако, экспериментально доказано, что угловые зоны являются зонами концентрации напряжений и начала трещинообразования, поэтому наиболее рациональной является форма зоны 2, развитая в диагональных направлениях.

Выводы. Экспериментальной практикой в лабораторных условиях проведены испытания 12-и моделей конструкций однослойных и двухслойных железобетонных плитных фундаментов на песчаном основании, в результате которых определены величины разрушающих нагрузок, значения контролируемых параметров НДС конструкций фундаментов и грунтового основания, установлена зависимость усредненных значений величины исследуемого параметра от варьируемых факторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калафатов Д.А. Напряженно-деформированное состояние конструкции двухслойного железобетонного плитного фундамента каркасного здания / Д. А. Калафатов // Строительство в прибрежных курортных регионах: Материалы IX междунар. науч.-практ. конф., 23-27 мая 2016г./ под науч. ред. проф. К.Н. Макарова. – Сочи: РИЦ ФГБОУ ВО «СГУ», 2016. – С. 65 – 70.
2. Калафатов Д.А. Планирование экспериментальных исследований работы двухслойных железобетонных плитных фундаментов / Д. А. Калафатов // Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. трудов. — Симферополь : НАПКС, 2014. — Вып. 50. — С. 60—66.
3. Жуков С. П. Силовое взаимодействие столбчатых фундаментов при фиксированном на подошве положении трещин с песчаным основанием: дис. ... канд. техн. наук : 05.23.02 / Сергей Петрович Жуков. – Днепрпетровск, 1987. – 230 с.
4. Политов С. И. Работа железобетонных фундаментных плит на грунтовом основании: дис. ... канд. техн. наук : 05.23.02 / С. И. – М., 1983. – 178 с.
5. Тетиор А. Н. Особенности работы фундаментных плит при хрупком разрушении / А. Н. Тетиор // Энергетическое строительство. – 1977. – №5. – С. 75 – 78.
6. Тетиор А. Н. Прочность фундаментов: учебное пособие / А. Н. Тетиор. – К. : ИСИО, 1993. – 144 с.
7. Тетиор А. Н. Расчет на продавливание отдельно стоящих фундаментов колонн / А. Н. Тетиор, И. М. Дьяков // Бетон и железобетон. – 1989. – №3. – С. 11–13.
8. Мурзенко Ю. Н. Экспериментально–теоретические исследования силового взаимодействия фундаментов и песчаного основания : дис. ... доктора техн. наук : 05.23.02 / Ю. Н. Мурзенко. – Новочеркасск, 1971. – 574 с.
9. Родин С. В. Особенности силового взаимодействия железобетонных столбчатых фундаментов с песчаным основанием: дис. ... канд. техн. наук : 05.23.02 / С. В. Родин. – Днепрпетровск, 1983. – 212 с.
10. Бетонные и железобетонные конструкции. Актуализированная редакция СНиП 52–01–2003 : СП 63.13330.2012 – Введ. 2013–01–01. – М. : Минрегион России, 2013. – 156 с. – (Свод правил).
11. Харламов С. Л. Трещиностойкость, деформативность и несущая способность двухслойных железобетонных изгибаемых элементов с верхним слоем из тяжелого бетона: дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 / С. Л. Харламов. – Москва, 1999. – 119 с.
12. Протодяконов М. М. Методика рационального планирования экспериментов / М. М. Протодяконов, Р. И. Тедер. – М. : Наука, 1970. – 76 с.

Калафатов Джафер Амитьевич

Академия строительства и архитектуры, ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», г. Симферополь
аспирант кафедры строительных конструкций
E-mail: jafer90@mail.ru

D. KALAFATOV

RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES MODELS OF BILAYER CONCRETE SLAB FOUNDATION FRAME BUILDING ON GRADE

The results of experimental studies of models of two-layer reinforced concrete slab foundation frame buildings on grade. Stages and illustrated cracking schemes characters fracture models under load, obtained experimental values destructive punching load and their relation to the control, a tilt angle of the side faces of the body punching. Diagram showing construction of foundation displacements detected its dependence on the rigidity of the model. The schedule of dependence of the averaged values of the magnitude of the test parameter of varying factors.

Keywords: slab foundation, load, destruction, punching, analysis, crack, deflection, angle.

BIBLIOGRAPHY

1. Kalafatov D.A. Napryazhenno-deformirovannoye sostoyaniye konstruksii dvukhsloynogo zhelezobetonnogo plitnogo fundamenta karkasnogo zdaniya / D. A. Kalafatov // Stroitel'stvo v pribrezhnykh kurortnykh regionakh: IX mezhdunar Materialy. nauch.-prakt. konf., 23-27 maya 2016g. / pod nauch. red. prof. K.N. Makarova. - Sochi: RITS FGBOU VO «SGU», 2016. - S. 65 - 70.
2. Kalafatov D.A. Planirovaniye eksperimental'nykh issledovaniy raboty dvukhsloynnykh zhelezobetonnykh plitnykh fundamentov / D. A. Kalafatov // Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'. Sb. nauch. trudov. - Simferopol': NAPKS, 2014. - Vyp. 50. - S. 60-66.
3. Zhukov S. P. Silovoye vzaimodeystviye stolbchatykh fundamentov pri fiksirovannom na podoshve polozeniyem treshchin s peschanyim osnovaniyem: dis. ... Kand. tekhn. nauk: 05.23.02 / Sergey Petrovich Zhukov. - Dnepropetrovsk, 1987. - 230 s.
4. Politov S. I. Rabota zhelezobetonnykh fundamentnykh plit na gruntovom osnovanii: dis. ... Kand. tekhn. nauk: 05.23.02 / S. I. - M., 1983. - 178 s.
5. Tetior A. KH. Osobennosti raboty fundamentnykh plit pri khrupkom razrushenii / A. N. Tetior // Energeticheskoye stroitel'stvo. - 1977. - №5. - S. 75 - 78.
6. Tetior A. N. Prochnost' fundamentov: uchebnoye posobiye / A. N. Tetior. - K. : ISIO, 1993. - 144 s.
7. Tetior A. N. Raschet na prodavlivaniye otdel'no stoyashchikh fundamentov kolonn / A. N. Tetior, I. M. D'yakov // Beton i zhelezobeton. - 1989. - №3. - S. 11-13.
8. Murzenko YU. N. Eksperimental'no-teoreticheskiye issledovaniya silovogo vzaimodeystviya fundamentov i peschanogo osnovaniya: dis. ... Doktora tekhn. nauk: 05.23.02 / YU. N. Murzenko. - Novocherkassk, 1971. - 574 s.
9. Rodin S. V. Osobennosti silovogo vzaimodeystviya zhelezobetonnykh stolbchatykh fundamentov s peschanyim osnovaniyem: dis. ... Kand. tekhn. nauk: 05.23.02 / S. V. Rodin. - Dnepropetrovsk, 1983. - 212 s.
10. Betonnyye i zhelezobetonnyye konstruksii. Aktualizirovannaya REDAKTSIYA SNiP 52-01-2003: 63.13330.2012 SP - Vved. 2013-01-01. - M. : Minregion Rossii, 2013. - 156 s. - (Svod pravil).
11. Kharlamov S. L. Treshchinostoykost', deformativnost' i nesushchaya sposobnost' dvukhsloynnykh zhelezobetonnykh izgibayemykh elementov s verkhnim sloyem iz tyazhelogo betona: dis. ... Kand. tekhn. nauk: 05.23.01 / S. L. Kharlamov. - Moskva, 1999. - 119 s.
12. Protod'yakonov M. M. Metodika ratsional'nogo planirovaniya eksperimentov / M. M. Protod'yakonov, R. I. Teder. - M. : Nauka, 1970. - 76 s.

D. Kalafatov

Academy of Construction and Architecture of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «V.I.Vernadsky Crimean Federal University», Simferopol
Postgraduate student of the department of building structures
E-mail: jafer90@mail.ru

МАЛИНИН В.Г., МУССАУИ Ю.Ю., ЛУФЕРОВА А.В.

ПОСТРОЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ ПРОБНОГО ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ ФОРМЫ (ЭПФ) В СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ ПРИ ДВУХЗВЕННЫХ ТРАЕКТОРИЯХ ИХ ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Рассматриваются возможности практического применения материалов с эффектом памяти формы (ЭПФ) в металлических и железобетонных строительных конструкциях и изделиях. Обоснована значимость изучения механического поведения материала с ЭПФ в составе строительных конструкций и изделий при двухзвенных траекториях деформирования с ортогональным изломом.

Исследовано влияние сложных траекторий деформирования материалов с эффектом памяти формы на их механические характеристики. Приведены результаты экспериментального изучения мартенситной неупругости сплава Ti-50%Ni при деформировании по двухзвенным траекториям с ортогональным изломом. На основании методов структурно-аналитической мезомеханики сформулирована математическая модель и выполнен расчёт мартенситной неупругости для изучаемого класса траекторий деформирования.

Ключевые слова: двухзвенные траектории деформирования; эффект памяти формы; структурно-аналитическая мезомеханика; мартенситная неупругость; экспериментальные исследования; математическая модель; практическое применение в строительстве.

1. Введение

В настоящее время материалы, обладающие эффектом памяти формы, широкого применения в строительной отрасли, а соответственно и при выполнении инженерных расчётов строительных конструкций пока не получили. Однако, перспектива использования подобных сплавов в строительном проектировании в будущем не вызывает сомнений. Уже сейчас зарегистрированы патенты по использованию сплавов с памятью формы в качестве предварительно напрягаемой арматуры в железобетонных изделиях (патент №2020233); для строительства быстровозводимых и демонтируемых зданий и сооружений (патент №2047706). Тонкостенные муфты из таких интеллектуальных сплавов могут использоваться для стыков арматурных стержней в железобетонных конструкциях и т.д. Тонкостенные и толстостенные трубки из материалов с ЭПФ могут быть применены для выполнения усиления трубчатых металлических конструкций при возникновении в них трещин. Принципиальным преимуществом такой схемы усиления является полное отсутствие сварных швов, формирующих локальные зоны концентрации напряжений в металлических конструкциях и их узлах.

Основные уравнения, заложенные в подавляющее большинство строительных норм проектирования, основаны на предположении о пропорциональном возрастании нагрузки. Однако, на практике условия простого нагружения могут не выполняться. Особенно часто механизм сложного нагружения проявляется непосредственно перед и в процессе потери устойчивости, а также в закритической стадии деформирования конструкций, в частности в сооружениях, выполненных из ЛСТК. В таком случае, особый интерес представляют двухзвенные траектории нагружения с ортогональным изломом (см. рисунок 1). Особенностью подобных траекторий является качественное изменение вида напряжённого состояния в точке излома (с сжатия на изгиб, с изгиба на кручение, с растяжения на кручение и т.д.). При решении задач, связанных с расчётами потери устойчивости за пределами упругости строительных конструкций и их узлов, выполненных из материалов с ЭПФ, двухзвенные траектории занимают особое место. Изменение напряжённого состояния при потере устойчивости конструкций характерно для изгибаемых и сжатых элементов (балки и колонны). Так в пер-

вом случае, кроме изгиба, в момент потери устойчивости, появляется кручение; во втором случае – кроме сжатия появляется изгиб. Построение математической модели деформирования строительных конструкций, очевидно правильнее начинать с выбора наиболее адекватных уравнений состояния и особенно это важно при сложном нагружении.

В связи с этим, в настоящей статье рассматриваются вопросы изучения механического поведения материалов с ЭПФ при изотермическом деформировании по траекториям с ортогональным изломом.

Материалы с эффектом памяти формы при изотермическом деформировании ниже температуры конца мартенситной реакции (M_k) обладают способностью к обратимым мартенситным превращениям путём сложных переориентаций кристаллической решётки через промежуточное аустенитное состояние. Образующийся в ходе такой реакции под действием внешних полей напряжений механоаустенит либо немедленно, либо на поздних стадиях при больших нагрузках оказывается неустойчивым и трансформируется в мартенсит, но отличной от исходного кристаллографической ориентации [1].

Экспериментальное и теоретическое изучение, описанных выше явлений с участием виртуального аустенита, выполнялось преимущественно для пропорциональных траекторий деформирования [1]: чистым растяжением, чистым кручением и их комбинациями. Значительный вклад в разработку аналитических методов расчёта явлений структурных и фазовых превращений сплавов с памятью формы выполнен под руководством И.Н. Андропова [2, 4], С.С. Гаврюшина [3, 4], А.А. Мовчана [5, 6] и др.

Среди огромного количества программ по сложным траекториям нагружения и деформирования особое место занимают плоские траектории постоянной кривизны, в виде спирали Архимеда, а также двухзвенные траектории с ортогональным изломом. Перечисленному классу траекторий, но для материалов с дислокационным механизмом превращения посвящены фундаментальные исследования школы В.Г. Зубчанинова [7].

Следует отметить, что некоторые экспериментальные результаты и расчёт мартенситной неупругости сплавов с памятью формы при траекториях деформирования постоянной кривизны приведены в работах [8, 9]. Подробный анализ деформаций мартенситной неупругости при сложных знакопеременных траекториях изотермического нагружения в материалах с эффектом памяти формы приведены в [10].

2. Экспериментальные и теоретические исследования

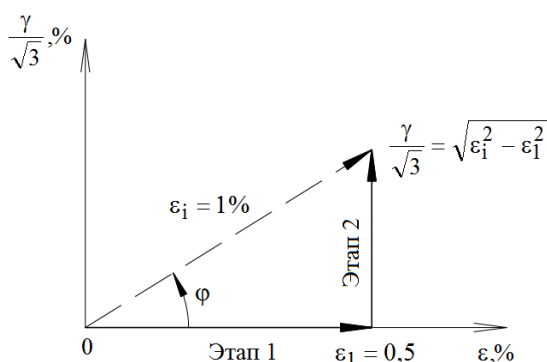


Рисунок 1 – Схема испытаний тонкостенного образца при двухзвенных траекториях деформирования

Учитывая важность исследования траекторий деформаций с ортогональным изломом для проблемы расчёта потери устойчивости элементов конструкций из материалов с ЭПФ, в настоящей статье рассматриваются результаты экспериментальных и теоретических исследований материалов с эффектом памяти формы при двухзвенных траекториях деформирования с ортогональным изломом.

Ниже приводятся результаты экспериментального и теоретического изучения мартенситной неупругости, выполненных на тонкостенных цилиндрических оболочках из эквиатомного никелида титана при изотермических траекториях деформирования с ортогональным изломом. Программа экспериментальных исследований состоит из двух этапов, которые включают чистое растяжение до заданного значения ($\epsilon_1 = 0,5\%$), а затем при фиксированном значении ϵ_1 изменение траекто-

рии деформирования на 90° и увеличение интенсивности деформаций за счёт изменения угловой компоненты таким образом, чтобы $e_i = \sqrt{e_1^2 + (1/3) \times g^2} = 1\%$, где e_i – интенсивность деформаций, g – угловая деформация. Схема программы испытаний в координатах $e = f(g/\sqrt{3})$ представлена на рисунке 1, где g – угловая деформация; e – линейная деформация. Опыты проводились при комнатной температуре ($T_D = 20^\circ\text{C}$), когда материал находится полностью в мартенситном состоянии. На основании полученных данных выполнено построение экспериментальных точек в координатах $s_i = f(e_i)$, $s_{11} = f(g/\sqrt{3})$, $\sqrt{3} \times s_{12} = f(g/\sqrt{3})$, где s_{11} – нормальные напряжения, s_{12} – касательные напряжения. Заметим, что в ходе выполнения экспериментальных исследований контролировалась исходная изотропность материала. На рисунках 2 – 4 представлены результаты построения экспериментальных точек (Δ) и теоретических кривых (сплошная линия).

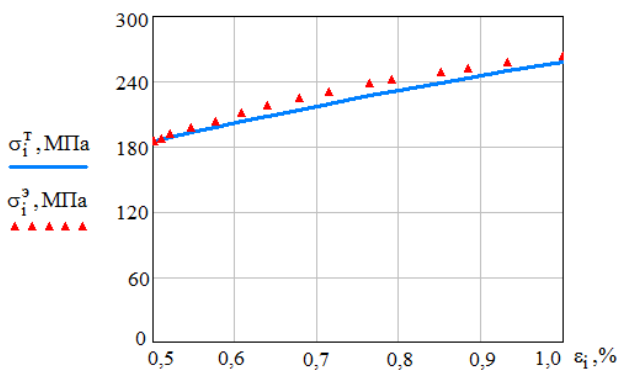


Рисунок 2 – Экспериментальные и теоретические зависимости $s_i = f(e_i)$

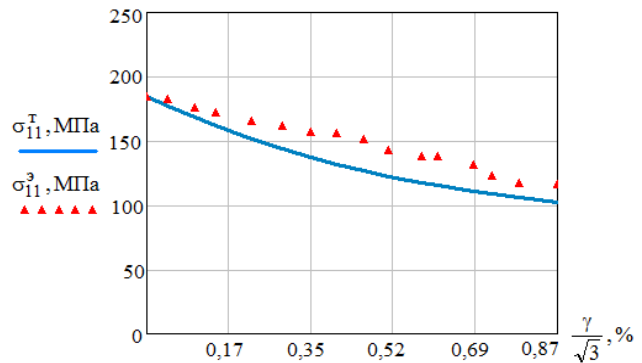


Рисунок 3 – Экспериментальные и теоретические зависимости $s_{11} = f(g/\sqrt{3})$

Основываясь на методике, изложенной в [1, 8], предполагается, что поликристаллическое тело макроскопически изотропно и подвергается траекториям деформирования с ортогональным изломом (рисунок 1) и, что имеет место мартенситная реакция только первого рода.

Уравнение Клаузиуса-Клапейрона записывается в виде:

$$\begin{aligned} \dot{\mathcal{R}} &= \frac{\partial \mathcal{A}}{\partial e} \times D_i \frac{\ddot{\mathcal{R}}}{\partial} = k \times \mathcal{R}, \\ \dot{\mathcal{R}} &= \dot{\mathcal{R}} + \frac{\partial \mathcal{A}}{\partial e} \times D_i \frac{\ddot{\mathcal{R}}}{\partial}; \end{aligned} \quad (1)$$

где T_0 – температура термодинамического равновесия; q_0 – тепловой эффект реакции; D_i – дисторсия превращения; \mathcal{R} – скорость изменения интенсивности напряжений.

Здесь и далее точка над символом означает производную по времени.

Рассмотрим основные этапы моделирования процесса деформирования в условиях мартенситных превращений.

После ориентационного усреднения (по методике, изложенной в [1]) компонент тензора деформаций, возникающих на мезомасштабном уровне в результате процессов струк-

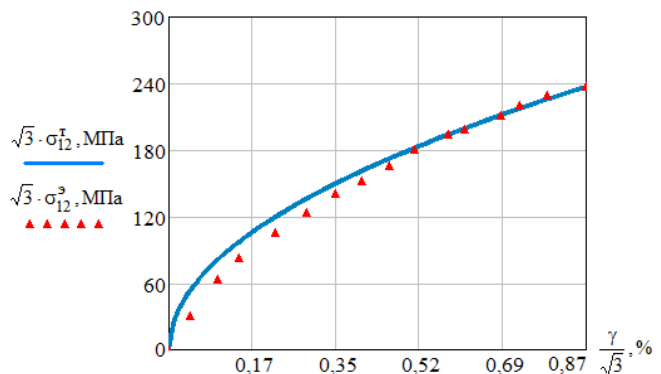


Рисунок 4 – Экспериментальные и теоретические зависимости $\sqrt{3} \times s_{12} = f(g/\sqrt{3})$

турных превращений: мартенсит охлаждения → виртуальный аустенит напряжений → мартенсит напряжений, на макроскопическом уровне получим дифференциальное уравнение для расчёта деформации мартенситной неупругости при изотермическом нагружении в интервале температур ниже температуры конца мартенситной реакции в виде:

$$\dot{\mathbf{s}}_{ik} = 2 \times B_{\phi} \times \dot{\Phi} \times Dev(\mathbf{s}_{ik}) \times H(-T^*), \quad (2)$$

где $\dot{\mathbf{s}}_{ik}$ – тензор скоростей деформаций; B_{ϕ} – коэффициент структурно-механической податливости; $\dot{\Phi}$ – скорость изменения фазового состава; $Dev(\mathbf{s}_{ik})$ – девиатор напряжений; $H(-T^*)$ – функция Хевисайда.

Кинетика образования и исчезновения мартенсита представляется уравнением:

$$\dot{\Phi} = -T^* \times \left(H(T^* - M_{\kappa}) \times H(-T^*) \times H(M_n - \Phi(M_n - M_{\kappa}) - T^*) \times (M_n - M_{\kappa})^{-1} + \right. \\ \left. + H(\Phi) \times H(T^*) \times H(T^* + \Phi(A_{\kappa} - A_n) - A_{\kappa}) \times (A_{\kappa} - A_n)^{-1} \right), \quad (3)$$

где T^* – скорость изменения эффективной температуры [1]; $M_n, M_{\kappa}, A_n, A_{\kappa}$ – температуры соответственно начала и конца прямой и обратной мартенситной реакции.

После выполнения математических преобразований с учётом равенств (1) – (3), получаем систему дифференциальных уравнений, решениями которых являются функции нормальных и касательных напряжений для плоских траекторий деформирования произвольной кривизны:

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{s}}_i \times \mathbf{s}_{11} = A \times \dot{\mathbf{g}}(t) \\ \dot{\mathbf{s}}_i \times \sqrt{3} \times \mathbf{s}_{12} = A \times \dot{\mathbf{g}}^*(t), \end{cases} \quad (4)$$

где $A = (M_n - M_{\kappa}) / (B_{\phi 1}^* \times \kappa)$; $B_{\phi 1}^* = 2 \times \frac{2}{3} \times B_{\phi 1}$; $\mathbf{g}^* = \frac{\mathbf{g}}{\sqrt{3}}$.

Решениями дифференциальных уравнений (4) являются функции нормальных и касательных напряжений:

$$\mathbf{s}_i = \sqrt{2 \times \mathbf{e}_1 \times \dot{A}_1 \times \frac{\sin j}{\cos^2 j} dj} + C_1; \quad (5)$$

$$\sqrt{3} \times \mathbf{s}_{12} = \sqrt{2 \times \mathbf{e}_1 \times \dot{A}_1 \times \frac{dj}{\cos^2 j} + C_2}; \quad (6)$$

$$\mathbf{s}_{11} = \sqrt{2 \times \mathbf{e}_1 \times \dot{A}_1 \times \frac{(-1 + \sin j)}{\cos^2 j} dj} + (C_1 - C_2), \quad (7)$$

где C – константа интегрирования, которая определяется из начальных условий.

Вариант моделирования при $B_{\phi} = \text{const}$. После интегрирования и определения константы C , получаем выражения для расчёта нормальных и касательных напряжений при деформировании по двухзвенным траекториям с ортогональным изломом при температуре ниже M_{κ} :

$$\mathbf{s}_{11} = \sqrt{2 \times A_1 \times \mathbf{e}_1 \times \frac{\dot{\Phi} - \sin j - \cos j}{\cos j} \frac{\ddot{\Phi}}{\dot{\Phi}} + \mathbf{s}_{11,el}^2}; \quad (8)$$

$$\sqrt{3} \times \mathbf{s}_{12} = \sqrt{2 \times A_1 \times \mathbf{e}_1 \times \dot{\Phi} g j};$$

$$\mathbf{s}_i = \sqrt{2 \times A_1 \times \mathbf{e}_1 \times \frac{\dot{\Phi} - 1}{\cos j} - 1 \frac{\ddot{\Phi}}{\dot{\Phi}} + \mathbf{s}_{11,el}^2},$$

где $\mathbf{s}_{11,el}^2$ определяется следующим выражением:

$$s_{11,el}^2 = 2 \times A_0 \times (e_1 - e_{i,nu}) + s_{i,nu}^2,$$

где $e_{i,nu}$ – интенсивность деформаций, соответствующая напряжению равному пределу пропорциональности; $s_{i,nu}$ – интенсивность напряжений на пределе пропорциональности. Константы A_1 и A_0 определяются в соответствии с формулой (4), при этом, индекс «1» означает, что при вычислении константы A используется значение коэффициента структурно-механической податливости $B_{\phi 1}$, вычисленное для вертикального участка траектории (этап 2 по рисунку 1); индекс «0» – используется значение коэффициента $B_{\phi 0}$, вычисленное для горизонтального участка траектории (этап 1 по рисунку 1) деформирования.

На рисунках 2 – 4 соответственно в координатах $s_i = f(e_i)$, $s_{11} = f(g/\sqrt{3})$, $\sqrt{3} \times s_{12} = f(g/\sqrt{3})$ приведено сопоставление результатов экспериментальных исследований в виде точек (Δ) и аналитических расчётов (сплошная линия) при следующих характеристиках материала: $M_n = 333K$, $M_k = 311K$, $A_n = 353K$; $A_k = 375K$; $T_0 = 293K$, $s_{i,nu} = 116MPa$, $e_{i,nu} = 0,168\%$, $e_1 = 0,5\%$; $k = 5,172 \times 10^{-7} K \times Дж^{-1} \times м^3$, $j_0 = 0$, $B_{\phi 1} = 1,059 \times 10^{-11} Па^{-1}$; $B_{\phi 0} = 1,02 \times 10^{-11} Па^{-1}$. Среднее значение отклонения теоретических кривых от экспериментальных соответственно для интенсивности напряжений, нормальных и касательных напряжений составляет 2,95%, 10,83% и 10,16%. Для лучшего соответствия результатов теоретических расчётов экспериментальным данным достаточно B_{ϕ}^* представить в виде функции от параметра j .

Вариант моделирования при $B_{\phi} = B_{\phi}(\varphi)$. Заметим, что в излагаемом варианте теории структурно-механическая податливость B_{ϕ} рассматривается как функция параметра вида деформированного состояния φ . Очевидно, что основной сложностью является подбор универсальной функции $B_{\phi}(\varphi)$, которая являлась бы физической характеристикой материала.

После выполнения некоторых математических преобразований, а также решения уравнений (1) – (3), получим следующие выражения для расчёта компонент тензора напряжений при двухзвенных траекториях с ортогональным изломом:

$$s_{11} = \sqrt{2 \times A_0 \times e_1 \times (R(j) - R(0)) + s_{11,el}^2}; \tag{9}$$

$$\sqrt{3} \times s_{12} = \sqrt{2 \times A_0 \times e_1 \times (h(j) - h(0))}; \tag{10}$$

$$s_i = \sqrt{2 \times A_0 \times e_1 \times (g(j) - g(0)) + s_{i,el}^2}, \tag{11}$$

где

$$R(j) - R(0) = \int_0^j \frac{-1 + \sin j}{f(j) \times \cos^2 j} dj; \quad h(j) - h(0) = \int_0^j \frac{dj}{f(j) \times \cos^2 j}; \tag{12}$$

$$g(j) - g(0) = \int_0^j \frac{\sin j}{f(j) \times \cos^2 j} dj,$$

где $f(j)$ – искомая функция, характеризующая изменение структурно-механической податливости материала в процессе деформирования.

Важно отметить, что из результатов экспериментальных данных находится именно функция $h(\varphi) - h(0)$, а затем дифференцируя полученную функцию в соответствии со вторым уравнение (12), получаем искомую функцию $f(\varphi)$. Таким образом, получаем функцию $h(\varphi) - h(0)$ в следующем виде:

$$h(j) - h(0) = a \times j^4 + b \times j^3 + c \times j^2 + d \times j,$$

где a, b, c, d – коэффициенты, определяемые из уравнений:

$$s_{12j}^m(j_j) = s_{12j}^p(j_j),$$

где $j = 1, 2, 3, 4$.

На рисунках 5 – 7 в координатах $s_i = f(e_i)$, $s_{11} = f(g/\sqrt{3})$, $\sqrt{3} \times s_{12} = f(g/\sqrt{3})$ представлены теоретические и экспериментальные результаты соответственно для интенсивности напряжений, нормальных и касательных напряжений на втором этапе траектории деформирования (см. рисунок 1).

Среднее значение отклонения теоретических расчётов от экспериментальных данных составляет соответственно для интенсивности напряжений, нормальных и касательных напряжений 1,92%, 3,91% и 3,75%.

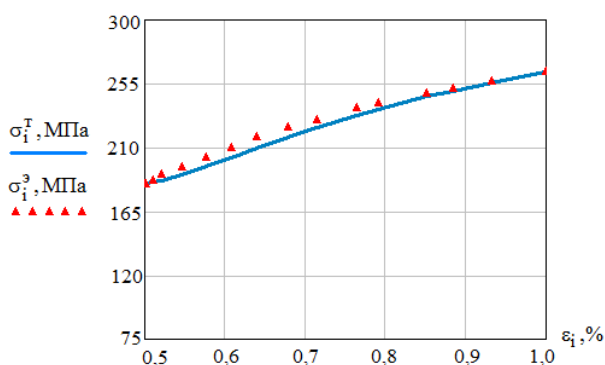


Рисунок 5 – Экспериментальные и теоретические зависимости $s_i = f(e_i)$

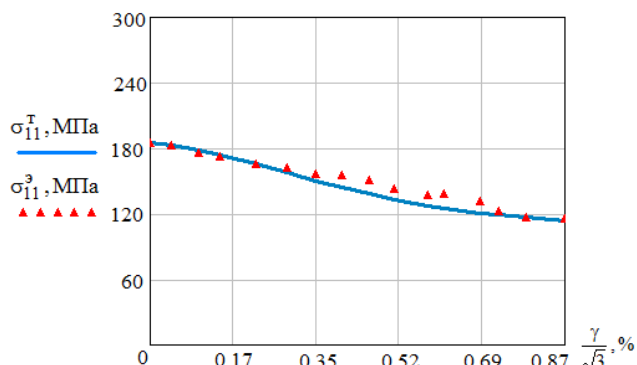


Рисунок 6 – Экспериментальные и теоретические зависимости $s_{11} = f(g/\sqrt{3})$

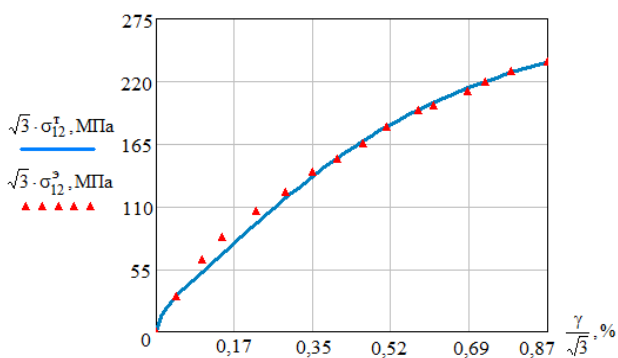


Рисунок 7 – Экспериментальные и теоретические зависимости $\sqrt{3} \times s_{12} = f(g/\sqrt{3})$

3. Заключение

Таким образом, выполнено экспериментальное и теоретическое изучение механического поведения материалов с ЭПФ при двухзвенных траекториях изотермического деформирования с ортогональным изломом. Как отмечалось выше, подобные траектории носят фундаментальный характер в вопросах исследования потери устойчивости строительных конструкций и их узлов, изготавливаемых из материалов с ЭПФ за пределами закона Гука.

Таким образом, методы структурно-аналитической мезомеханики позволяют рассчитать сложное поведение материалов с памятью формы при структурных превращениях для плоских траекторий деформирования с ортогональным изломом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лихачёв, В. А. Структурно-аналитическая теория прочности[Текст] / В. А. Лихачёв, В. Г. Малинин. – СПб.: Наука, 1993. – 471 с.
2. Андронов, И.Н. Механические свойства материалов с эффектом памяти формы при сложном температурно-силовом воздействии и ортогональном нагружении[Текст] / И.Н. Андронов. – Ухта.: УГТУ, 2010. – 190 с.
3. Ганыш, С.М. Простейшая математическая модель пространственного стержня, выполненного из сплава с эффектом памяти формы[Текст] / С.М. Ганыш, С.С. Гаврюшин // Инженерный вестник. ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Н.Э. Баумана». – 2014. – С. 69.
4. Ганыш, С.М. Экспериментальное определение параметров диаграммы фазовых переходов для сплава с эффектом памяти формы[Текст] / С.М. Ганыш, С.С. Гаврюшин, И.Н. Андронов // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Н.Э. Баумана». – 2012. С.79 – 83.
5. Мовчан, А.А. Материалы с памятью формы как объект механики деформируемого твердого тела: экспериментальные исследования, определяющие соотношения, решение краевых задач[Текст] / А.А. Мовчан, С.А. Казарина // Физическая мезомеханика. – 2012. – С. 105.
6. Мовчан, А.А. Сплавы с памятью формы: микро- и макромеханика, определяющие соотношения, краевые задачи, устойчивость[Текст] / А.А. Мовчан // VI сессия научного совета РАН по механике. ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова». – 2012. – С. 43-45.
7. Зубчанинов, В.Г. Экспериментальная пластичность. Монография. Книга 1. Процессы сложного деформирования[Текст] / В.Г. Зубчанинов, Н.Л. Охлопков, В.В. Гараников. – Тверь: ТГТУ, 2003. – 172 с.
8. Малинин, В.Г. Экспериментальное и теоретическое исследование влияния процессов сложного деформирования на эффекты мартенситной неупругости[Текст] / В.Г. Малинин, Ю.Ю. Муссауи, Д.В. Ефремов // Проблемы прочности, пластичности и устойчивости в механике деформируемого твердого тела. Тверской государственный технический университет. – 2015. – С. 54-58.
9. Малинин, В.Г. Экспериментальные исследования и моделирование изотермических траекторий деформирования постоянной кривизны при мартенситных превращениях сплава Ti-50%Ni методами структурно-аналитической мезомеханики[Текст] / В.Г. Малинин, Ю.Ю. Муссауи, Д.В. Ефремов // Национальная ассоциация учёных (НАУ). – 2015. – №9 (14). – С. 103.
10. Малинин, Г.В. Деформация мартенситной неупругости при сложных траекториях изотермического нагружения в материалах с эффектом памяти формы[Текст] / Г.В. Малинин. – Орёл: «Строительство и реконструкция». ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 2012. – С. 88 – 96.

Малинин Владислав Георгиевич

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел

Доктор физико-математических наук, профессор, зав. кафедрой «Динамика и прочность машин»

E-mail: malinin.mvg@yandex.ru

Муссауи Юсеф Юсефович

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел

Аспирант

E-mail: yusmus@yandex.ru

Луферова А.В.

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел

Инженер

V. MALININ, Yu. MOUSSAOUI, A. LUFEROVA

THE COMPUTATIONAL MODEL OF TEST APPLICATION OF MATERIALS WITH SHAPE MEMORY EFFECT (SME) IN BUILDING CONSTRUCTIONS WITH THE TWO-TIER TRAJECTORIES OF DEFORMATION

Possibilities of practical applications of materials with shape memory effect (SME) in metal and reinforced concrete building constructions are analyzed. The significance of mechanical behavior analysis of materials with SME as a part of building structures while deforming by two-link trajectories with orthogonal fracture is substantiated.

The influence of complex deformation trajectories of materials with shape memory effect on its mechanical characteristics is studied. The results of experimental research of martensitic inelasticity of alloy Ti-50%Ni while deforming by two-link trajectories are presented. Based on methods of structural-analytical mesomechanics, mathematical model was formulated, calculation of martensitic inelasticity of studied class of trajectories were made.

Keywords: two-link deformation trajectories; shape memory effect; structural-analytical mesomechanics; martensitic inelasticity; experimental research; mathematical model; practical application in construction.

BIBLIOGRAPHY

1. Likhachov, V. A. Strukturno-analiticheskaya teoriya prochnosti [Tekst] / V. A. Likhachov, V. G. Malinin. – SPb.: Nauka, 1993. – 471 s.
2. Andronov, I.N. Mekhanicheskiye svoystva materialov s efektom pamyati formy pri slozhnom temperaturno-silovom vozdeystvii i ortogonal'nom nagruzhении [Tekst] / I.N. Andronov. – Ukhta.: UGTU, 2010. – 190 s.
3. Ganysh, S.M. Prosteyschaya matematicheskaya model' prostranstvennogo sterzhnya, vypolnennogo iz splava s efektom pamyati formy [Tekst] / S.M. Ganysh, S.S. Gavryushin // Inzhenernyy vestnik. FGBOU VPO «MGTU im. N.E. Bauman». – 2014. – S. 69.
4. Ganysh, S.M. Eksperimental'noye opredeleniye parametrov diagrammy fazovykh perekhodov dlya splava s efektom pamyati formy [Tekst] / S.M. Ganysh, S.S. Gavryushin, I.N. Andronov // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroyeniye. FGBOU VPO «MGTU im. N.E. Bauman». – 2012. S.79 – 83.
5. Movchan, A.A. Materialy s pamyat'yu formy kak ob'yekt mekhaniki deformiruyemogo tverdogo tela: eksperimental'nyye issledovaniya, opredelyayushchiye sootnosheniya, resheniye krayevykh zadach [Tekst] / A.A. Movchan, S.A. Kazarina // Fizicheskaya mezomekhanika. – 2012. – S. 105.
6. Movchan, A.A. Splavy s pamyat'yu formy: mikro- i makro- mekhanika, opredelyayushchiye sootnosheniya, krayevyye zadachi, ustoychivost' [Tekst] / A.A. Movchan // VI sessiya nauchnogo soveta RAN po mekhanike. FGBOU VPO «Altayskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet im. I.I. Polzunova». – 2012. – S. 43-45.
7. Zubchaninov, V.G. Eksperimental'naya plastichnost'. Monografiya. Kniga 1. Protsessy slozhnogo deformirovaniya [Tekst] / V.G. Zubchaninov, N.L. Okhlopov, V.V. Garanikov. – Tver': TGTU, 2003. – 172 s.
8. Malinin, V.G. Eksperimental'noye i teoreticheskoye issledovaniye vliyaniya protsessov slozhnogo deformirovaniya na efekty martensitnoy neuprugosti [Tekst] / V.G. Malinin, YU.YU. Mussaui, D.V. Yefremov // Problemy prochnosti, plastichnosti i ustoychivosti v mekhanike deformiruyemogo tverdogo tela. Tverskoy gos-udarstvennyy tekhnicheskii universitet. – 2015. – S. 54-58.
9. Malinin, V.G. Eksperimental'nyye issledovaniya i modelirovaniye izotermicheskikh trayektoriy deformirovaniya postoyannoy krivizny pri martensitnykh prevrashcheniyakh splava Ti-50%Ni metodami strukturno-analiticheskoy mezomekhaniki [Tekst] / V.G. Malinin, YU.YU. Mussaui, D.V. Yefremov // Natsional'naya assotsiatsiya uchonykh (NAU). – 2015. – №9 (14). – S. 103.
10. Malinin, G.V. Deformatsiya martensitnoy neuprugosti pri slozhnykh trayektoriyakh izotermicheskogo nagruzheniya v materialakh s efektom pamyati formy [Tekst] / G.V. Malinin. – Orol: «Stroitel'stvo i rekon-struktsiya». FGBOU VPO «Gosuniversitet – UNPK», 2012. – S. 88 – 96.

Vladislav Malinin

Orel state university named after I.S. Turgenev, Orel

Doctor of physico-mathematical sciences, head of the dep. “Dynamics and strength of machines”

E-mail: malinin.mvg@yandex.ru

Yusef Moussaoui

Orel state university named after I.S. Turgenev, Orel

Postgraduate student

E-mail: yusmus@yandex.ru

A. Luférova

Orel state university named after I.S. Turgenev, Orel

Engineer

ТРАВУШ В.И., КОНИН Д.В., РОЖКОВА Л.С., КРЫЛОВ А.С.

ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ И ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОТЫ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ВНЕЦЕНТРЕННОЕ СЖАТИЕ

В настоящей работе описаны виды исследованных сталежелезобетонных конструкций, работающих на центральное и внецентренное сжатие, материалы и конструктивные особенности испытанных моделей. Представлены основные результаты исследований. Приведены основные расчетные формулы, примененные для описания работы сталежелезобетонных конструкций, начиная с первой половины XX века. Проведен анализ и сравнение отечественной и зарубежной нормативной документации. Оценены расчетные методики, положенные в основу современных отечественных нормативных документов в области сталежелезобетона.

Ключевые слова: бетон, фибробетон, сталежелезобетонная конструкция, жесткая арматура, гибкая арматура.

1. Введение

В 2015 году под руководством академика РААСН В.И. Травуша сотрудниками ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко и НИИЖБ им. А.А. Гвоздева (АО «НИЦ «Строительство»), ООО «Техсофт», ООО «ЦНИИПСК им. Мельникова» разработан СТО АРСС «Сталежелезобетонные конструкции. Правила проектирования» [1], который положен в основу нового одноименного свода правил для расчета сталежелезобетонных конструкций промышленных и гражданских зданий и сооружений. В данных документах, в том числе, представлена методика расчета сталежелезобетонных конструкций с жестким армированием, работающих на внецентренное сжатие. Несмотря на отсутствие действующих нормативно-технических документов на расчет подобных конструкций, их работа подробно изучалась отечественными и зарубежными учеными с начала XX века. В настоящей работе описаны виды исследованных конструкций, материалы, представлены основные результаты исследований.

В процессе изучения работы сталежелезобетонных элементов с жесткой арматурой в начале и первой половине XX века были экспериментально исследованы различные типы поперечных сечений, некоторые из которых приведены на рисунке 1.

В современной практике проектирования и строительства применяются, в том числе, и другие варианты исполнения жесткой арматуры, некоторые из них приведены на рисунке 2.

2. Исследования иностранных ученых

Испытания на центральное сжатие колонн было проведено рядом иностранных лабораторий [2]: Австрийским комитетом по железобетону (профессоры Эмпергер и Залигер), Германским комитетом по железобетону (Дрезденская лаборатория, профессор Гелер), Иллинойским университетом (профессор Тальбот), Национальным бюро стандартов США и др. Жесткая арматура выполнялась в основном с использованием стали по прочностным характеристикам близкой к стали марки Ст.3. Кубиковая прочность бетона к моменту испытания в основном не превышала 300 кг/см².

Была исследована работа колонн различного сечения. Профессор Эмпергер в 1907 г. провел экспериментальные исследования колонн прямоугольного сечения с жесткой арматурой, выполненной из двутавра и уголков на центральное сжатие. Испытания колонн, имевших спиральную арматуру, дали хорошие результаты совместной работы бетона и жесткой арматуры. Профессор Р. Залигер провел экспериментальные исследования железобетонных колонн с жесткой арматурой из 2-х швеллеров и с поперечной в виде спирали. К. Меммлер

при участии Г. Биретта и Г. Грюнинга в 1934-35-х годах провел опыты над стальными колоннами из двух швеллеров №14, пространство между швеллерами заполнялось бетоном марки 250. Профессор Гелер проводил экспериментальные исследования на центральное сжатие 36 железобетонных колонн в жесткой арматурой в виде двух двутавров или двух швеллеров, дававших от 3.6% до 8.14% армирования, и с дополнительной гибкой арматурой из 4-х стержней Ø16 мм со спиральной обмоткой Ø12 мм и с шагом 4 см. Стивенс испытывал железобетонные колонны с жесткой арматурой в виде двутавров как на центральное, так и внецентренное сжатие в количестве 58 образцов. М. Лереди и Ж. Бард в 1960-е провели испытания железобетонных колонн сечением 52x22 см с жесткой арматурой из 2-х широкополочных двутавров.

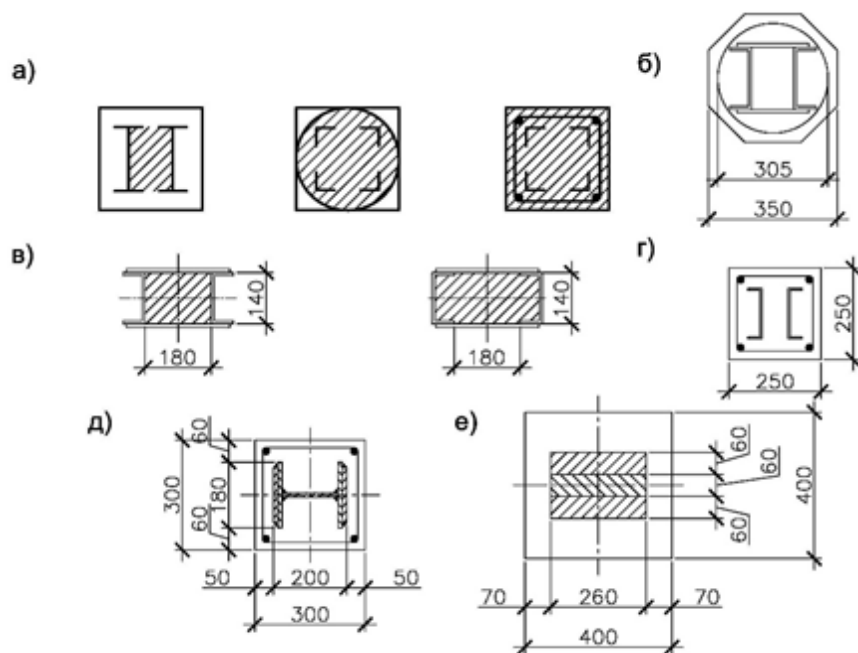


Рисунок 1 – Примеры поперечных сечений сталежелезобетонных колонн с жесткой арматурой, которые были использованы в исследованиях ученых: а) проф. Эмпергер; б) проф. Залигер, в) проф. Мемлер; г) проф. Гелер и проф. А.П. Васильев; д) к.т.н. Э.А. Житницкая; е) к.т.н. А.Н. Егоров

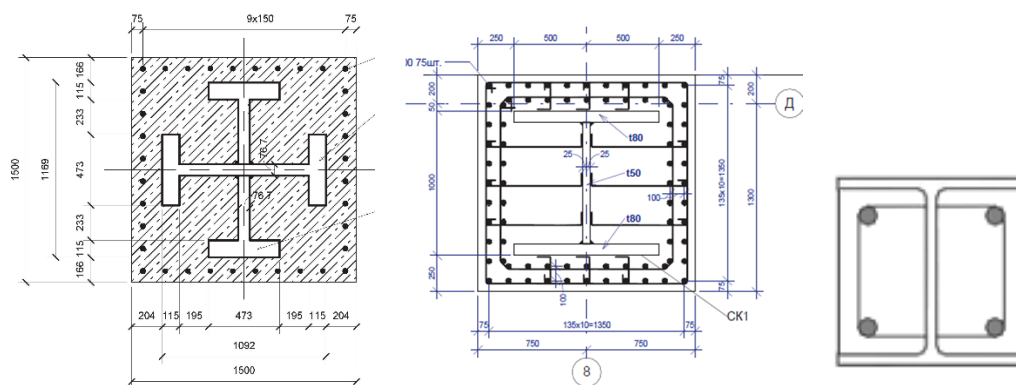


Рисунок 2 – Примеры поперечных сечений колонн с жесткой арматурой, применяемых при современном проектировании и строительстве

Вышеперечисленные исследования, а также работы других исследователей показали [2], что в железобетонных колоннах с жесткой арматурой при наличии хомутов и спирали может быть обеспечена совместность работы бетона и металла. К моменту разрушения бетона от сжатия, в силу его значительных пластических деформаций, жесткая арматура достигает предела текучести. Таким образом, в основу расчета сжатых элементов было положено сложение прочностей металла и бетона, предложенное впервые профессором Эмпергером. Правильность этого метода расчета подтвердилась всеми исследованиями при достаточно широких диапазонах процентов армирования (от 3 до 20), типов армирования, марок бетона и марок стали.

Проведенная в 1940-х гг. в ЦНИПС обработка иностранных опытов [2] показала, что при сложении прочностей для подсчета разрушающей нагрузки следует применять призматическую прочность бетона, определяя ее по нормам проектирования железобетонных конструкций. Подсчитанные, исходя из этих соображений, разрушающие нагрузки давали близкое совпадение с опытными величинами. Таким образом, расчет центрально сжатых колонн с жесткой арматурой при обычных хомутах может проводиться аналогично расчету железобетонных колонн с гибкой арматурой. Для колонн с круглой спиральной обмоткой в приведенных выше исследованиях Эмпрегера, Залигера и Гелера формулы, определяющие разрушающую нагрузку, были построены также на основе сложения прочностей металла и бетона и имели следующий вид:

$$N_{пр} = R_b (A_b - A_a) + R_{yn} A_a + \gamma R_{yn} A_c, \quad (1)$$

где R_b – прочность бетона,

R_{yn} – предел текучести стали,

A_b, A_a, A_c – площади сечения соответственно бетона, арматуры, сердечника спирали,

A_c – приведенная площади сечения спирали.

Значения R_b, A_b, γ принимались различными исследователями по-разному.

В 2014-2015 г. СТБУН (Council on Tall Buildings and Urban Habitat - Совет по высотным зданиям и городской среде) при участии МКА (Magnusson Klemencic Associates) and the CABR (Chinese Academy of Building Research) провел испытания моделей колонн для проектируемой высотной башни высотой более 300 метров в Нанкине (Китай) [3]. Модели колонн запроектированы в масштабе 1:4 и 1:6 от натуральной величины (планируемое сечение колонн в здании до 2х2 м). Стальные сердечники горячекатаные двутаврового сечения с полками толщиной до 100 мм были изготовлены в Люксембурге ArcelorMittal и отправлены в Пекин для бетонирования и испытаний. В январе 2015 г. модели колонн были испытаны на сжатие с максимальным усилием 1800 т. Разрушение колонн на сжатие наступило при нагрузке на 10% больше, чем проектной. Исследования по данной работе на настоящий момент не завершены, окончание исследований планируется на конец 2016 г., также предполагается провести испытания колонн на вертикальные и горизонтальные усилия, имитирующие динамические нагрузки при землетрясениях.

3. Исследования отечественных ученых

Исследования проф. А.П. Васильева [2]

В 1930-х советский ученый А.П. Васильев по руководством А.А. Гвоздева в ЦНИПСе проводил испытания на внецентренное сжатие 34 колонн с жесткой арматурой сечением 250х250 мм и длиной 2,2 м, кубиковая прочность бетона которых составляла от 85 до 270 кг/см².

Основным типом армирования были приняты два швеллера №16 со стенками, расположенными внутрь сечения и соединенными между собой металлическими планками на сварке, гибкая арматура состояла из 4-х стержней Ø6 мм, соединенными хомутами Ø6 мм с шагом 100 мм.

Армирование основной серии составляло 8%. Кроме того, были изготовлены колонны с тонкостенными швеллерами из полосового железа $d = 5$ мм (армирование 4,5%) и с обычными швеллерами, усиленными дополнительной приваркой к полкам полос 63x11 мм (армирование 12,5%). Эксцентриситет приложения нагрузки колебался в пределах от 25 до 250 мм. Часть колонн была изготовлена с предварительным, до бетонирования, загрузением жесткой арматуры в пружинной раме.

Основные выводы А.П. Васильева следующие:

- При принятых в опытных колоннах процентах армирования, при наличии поперечного армирования и кубиковой прочности бетона не ниже 100 кг/см^2 , обеспечивается совместная работа бетона и арматуры.
- Предварительное загрузение жесткой арматуры, предварительное загрузение колонн в процессе схватывания и в раннем возрасте не оказали заметного влияния на величину разрушающей нагрузки.
- Опытная разрушающая нагрузка для колонн с большими эксцентриситетами (случай I) близка к теоретической, подсчитанной по формулам (2) и (3), в основу которых положены прямоугольные эпюры напряжений в жесткой арматуре и бетоне, т.е. предполагается, что во всем сжатом бетоне достигнуто временное сопротивление бетона сжатию при изгибе, а в арматуре достигнут предел текучести как в сжатой, так и в растянутой зоне.

$$N_{\text{пр}} = bxR_{u,b} + 2\delta \left(x - \frac{h}{2} \right) (R_{yn,M} - R_{u,b}); \quad (2)$$

$$N_{\text{пр}}e_0 = bxR_{u,b} \left(\frac{h-x}{2} \right) + \left[W_{pl} - \delta \left(x - \frac{h}{2} \right) + (A_s + A'_s) \left(\frac{h}{2} - a_z \right) \right] (R_{yn,M} - R_{u,b}), \quad (3)$$

где b и h – габариты сечения,

x – высота сжатой зоны сечения,

$R_{u,b}$ – временное сопротивление бетона,

W_{pl} – пластический момент сопротивление швеллеров,

δ – толщина стенок швеллеров,

A_s, A'_s – площадь сечения гибкой растянутой и сжатой арматуры.

- Разрушающая нагрузка для опытных колонн с малыми эксцентриситетами (случай II) может быть подсчитана по следующей формуле:

$$N_{\text{пр}}e_0 = 0,4bh_1^2R_{u,b} + [A_M r_1 + A'_s (h_1 - a_z)] (R_{yn,M} - R_{u,b}), \quad (4)$$

где e_1 – эксцентриситет приложения нагрузки относительно оси, проходящей через центр тяжести более удаленной полки швеллера,

r_1 – расстояние от центра тяжести швеллера до центра тяжести его полки.

Исследования Э.Л. Житницкой [4]

Э.Л. Житницкая в 1949-1951 годах в институте строительной техники Академии строительства и Архитектуры СССР под руководством К.К. Антонова провела экспериментальные исследования центрально и внецентренно сжатых железобетонных колонн с жесткой арматурой в виде двутавров [4]. Всего было испытано 20 образцов железобетонных колонн сечение 31x31 см, длиной 200 см при двух типах армирования. Образцы армировались 4-мя стержнями $\varnothing 20$ мм гибкой арматуры и двутаврами №12 (образцы 1 типа) и сварными двутаврами из трех полос 160x25 мм (образцы второго типа). Хомуты $\varnothing 6,5$ мм с шагом 200 мм. Предел текучести жесткой арматуры по результатам испытаний не превышал 2460 кг/см^2 , кубиковая прочность бетона колебалась от 260 до 390 кг/см^2 .

Основной целью работы была проверка влияния на разрушающую нагрузку процента армирования и эксцентриситетов приложения нагрузки.

На внецентренное сжатие колонны испытывались с малым эксцентриситетом от 2,5 до 7 см, как по оси «х-х», так и по оси «у-у».

В результате испытаний были предложены формулы для определения положения нейтральной оси и разрушающей нагрузки в зависимости от положения нейтральной оси относительно сечения жесткой арматуры.

Были добавлены коэффициенты условия работы бетона, жесткой и гибкой арматуры. Сопротивление бетона принималось расчетным сопротивлением бетона сжатию при внецентренном сжатии и изгибе.

Исследования Н.А. Словинского [5]

Н.А. Словинский в институте стройматериалов и сооружений Академии наук Армянской ССР в 1949 г. Провел испытания десяти колонн на центральное сжатие с предварительным напряжением в жесткой арматуре от 350 до 2000 кг/см².

Образцы размером 25х25х112 см были армированы металлическими каркасами из четырех уголков 50х50х5 мм (процент армирования 3,2%), соединенных решеткой треугольной системы из полосовой стали. Предел текучести угловой стали колебался от 2460 до 2800 кг/см². Кубиковая прочность бетона составляла от 135 до 175 кг/см².

Испытания показали, что при соблюдении нормативных требований в отношении постановки необходимого количества хомутов, предварительное нагружение жесткой арматуры не снижает несущей способности железобетонного элемента.

Исследования С.К. Микадзе [5]

С.К. Микадзе в 1964 г. в лаборатории железобетонных конструкций Тбилисского ЗНИИЭП под руководством Э.А. Сехниашвили провел экспериментальные исследования железобетонных колонн из бетона на легких заполнителях, армированных жесткими прокатными профилями. Всего было испытано восемь серий образцов, состоящих из 38 колонн. Испытания проводились на центральное и внецентренное (с малым эксцентриситетом) сжатие при кратковременном и длительном нагружении. Часть образцов испытывалась с предварительным нагружением жесткой арматуры. Колонны имели длину 120 см и сечение 15х15 см. Жесткая арматура была принята двух типов: четыре уголка 32х32х4 мм, соединенных между собой металлическими планками (процент армирования 4,32%); и двутавр №10 с четырьмя стержнями продольной гибкой арматуры Ø8 мм, с хомутами Ø6 мм при шаге 75 мм (процент армирования 7,2). Заполнителями из легкого бетона являлись литоидная пемза, тензамит и керамзит, кубиковая прочность в возрасте 28 дней колебалась от 150 до 370 кг/см². Предел текучести жесткой арматуры до 2870 кг/см².

Основные выводы по результатам испытаний следующие:

- при прочности легкого бетона в пределах 150-400 кг/см² обеспечивается совместная работа бетона и жесткой арматуры в колонне;
- при расчете разрушающей нагрузки сжатых элементов из легкого бетона можно пользоваться формулами ЦНИПСа, разработанными для элементов с жесткой арматурой, выполненных из тяжелого бетона (исследования А.П. Васильева);
- длительное напряженное состояние легкожелезобетонных колонн с жесткой арматурой (в рамках линейной ползучести) существенно не влияет на несущую способность этих элементов;
- предварительное нагружение жесткой арматуры не сказалось на прочности колонн;
- длительное нагружение уменьшает напряжение в бетоне железобетонных образцов и увеличивает напряжение в арматуре.

Исследования Н.А. Егорова [5]

Актуальность исследований [5] была обусловлена тем, что до 1970-х годов процент армирования свыше 15 не рассматривался ввиду активной экономии стали для строительных конструкций.

Было выполнено испытание 22 моделей колонн. 12 образцов (серии 1) сечением 400х400 мм были исполнены с жесткой арматурой «сердечником» в виде пакета стали из листов толщиной 600 мм. Процент армирования составлял 22% и 32%, гибкая арматура выполнена из 4-х стержней Ø36 мм, длина колонн варьировалась от 330 до 600 см. 10 колонн (серии 2 и 3) выполнены сечением 300х300 мм с жесткой арматурой из широкополочных двутавров, 4-х стержней гибкой арматуры Ø14 и процентом армирования 6,7% и 12,9% армирования. Сталь сердечников 10Г2С1, предел текучести стали жесткой арматуры из двутавров от 3620 до 3700 кг/см², из пакета стали – до 3260 кг/см². Бетон применялся марки М300, с призмной прочностью от 360 до 500 кг/см².

Модели колонн серии 1 испытывались на центральное сжатие и внецентренное с эксцентриситетами до 4 см, серии 2 и 3 – на центральное сжатие и внецентренное с эксцентриситетами от 4 до 46 см. Испытания колонн проводились в институте ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. Колонны серии 1 испытывались на горизонтальной машине мощностью на сжатие 3000 тонн (разрушающая нагрузка на центральное сжатие для колонны с процентом армирования 32% составила 2040 т), колонны серий 2 и 3 испытывались на 1000-тонном вертикальном прессе и 500-тонном прессе фирмы «МАН».

При расчете сталежелезобетонных колонн Н.А. Егоров пользовался методикой, вошедшей в «Руководство по проектированию железобетонных конструкций с жесткой арматурой», опубликованной в 1978 г. [6]. По этой методике проверка прочности нормальных сечений сжатых железобетонных элементов с жесткой арматурой производится из условия (5):

$$Ne \leq R_{пр} S_b - \sum \sigma_{ai} F_{ai} y_{ai}, \quad (5)$$

где e – расстояние от точки приложения продольной силы до оси, проходящей через центр тяжести наиболее растянутого (наиболее сжатого) стержня гибкой арматуры параллельно прямой, ограничивающей сжатую зону;

S_b – статический момент площади сечения бетона сжатой зоны относительно той же оси;

σ_{ai} – напряжение в каждом сжатом участке жесткой арматуры и в каждом сжатом стержне гибкой арматуры;

F_{ai} – площадь участков жесткой арматуры и стержней гибкой арматуры, расположенных на различных расстояниях от указанной выше оси;

y_{ai} – расстояние от центра тяжести сечения участка жесткой арматуры и сечения гибкого стержня до рассматриваемой оси.

Положение прямой, ограничивающей сжатую зону поперечного сечения от растянутой, определяется из условия (6):

$$N = R_b F_b - \sum \sigma_{ai} F_{ai}. \quad (6)$$

В своей работе Н.А. Егоров сделал следующие выводы:

- у колонн с жесткой арматурой типа «сердечник» и двутаврового сечения, выполненных из низколегированной стали класса С46/33 марки 10Г2С1 при процентах армирования, соответственно 22, 32 и 6,7, 12,9 при принятом поперечном армировании и прочностях бетона до 600 кг/см² обеспечивается совместная работа бетона и жесткой арматуры;
- на всех этапах нагружения колонн, вплоть до их разрушения, наблюдается линейность деформаций бетона, жесткой и гибкой арматуры;
- величина фактической сжатой зоны бетона (x_{on}) при малых эксцентриситетах остается величиной постоянной, которая получилась при загрузении, до 0,4-0,6 разрушающей нагрузки, а затем уменьшается. При больших эксцентриситетах ($e_0=20$ см и больше)

x_{on} остается постоянной до 0,6-0,8 разрушающей нагрузки и затем незначительно уменьшается с увеличением разрушающей нагрузки;

- расчет сжатых железобетонных колонн с жесткой арматурой может производиться в соответствии с методикой расчета, изложенной в [6];
- в связи с тем, что в колоннах с жесткой арматурой типа «сердечник» металл сосредоточен в середине сечения и малые изменения эксцентриситета приложения нагрузки вызывает большие изменения в разрушающих нагрузках, то такой тип армирования необходимо использовать в колоннах, работающих только с малыми эксцентриситетами;
- при гибкостях колонн с жесткой арматурой как типа «сердечник», так и двутаврового сечения, от 19,0 до 36,0 коэффициент η , определяемый по формуле (7) весьма точно оценивает увеличение начального эксцентриситета e_0 .

$$\eta = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr}}}. \quad (7)$$

При гибкостях колонн от 45 до 62 использование коэффициента η завышает величину эксцентриситета.

Руководство по проектированию железобетонных конструкций с жесткой арматурой [6]

На основании проведенных исследований в НИИЖБ им. А.А. Гвоздева (д.т.н, проф. А.П. Васильев, к.т.н. Н.И. Катин, к.т.н. Н.А. Егоров) совместно с ЦНИИПромзданий (инженеры Б.Ф. Васильев, К. Никитин, Л.Л. Лемыш, А.Г. Королькова) было разработано Руководство [6].

Руководство содержит рекомендации по проектированию железобетонных конструкций с жесткой арматурой из профилей и листовой стали классов С38/23 с С44/29 (предел текучести до 2900 кг/см², что соответствует стали С275 по ГОСТ 27772) при проектных марках бетона по прочности на сжатие М200-500 (призменная прочность до 280 кг/см², что соответствует бетону не выше В40).

В руководстве приведены основные положения по проектированию, применяемые марки бетона и стали, современные на тот момент, методы расчета по прочности изгибаемых и сжатых элементов, конструктивные требования, рекомендации для расчета по деформациям и раскрытию трещин.

В основе методики расчета сжатых сталежелезобетонных элементов лежит условие (5). В руководстве [6] даны графики для расчета сжатых элементов с жесткой арматурой и примеры расчета, охватывающие наиболее типичные случаи, встречающиеся в практике проектирования в 70-х годах XX века.

Также в руководстве приведено условие (8) для учета косоуго изгиба по аналогии с формулой, представленной в [7]:

$$N \leq \frac{1}{\frac{1}{N_x} + \frac{1}{N_y} - \frac{1}{N_{пр}}}, \quad (8)$$

где N_x – предельная продольная сила, действующая в плоскости оси x , которая может быть воспринята сечением при заданном эксцентриситете в одной плоскости;

N_y – предельная продольная сила, действующая в плоскости оси y , которая может быть воспринята сечением при заданном эксцентриситете в одной плоскости.

Серии РС 2270-84 «Стальные сердечники колонн сечение 400x400» [8], РС 2273-85 «Сборные железобетонные колонны с плоскими стальными торцами и стальными сердечниками» [9].

В 1984-85 гг в МОСПРОЕКТ-1 разработаны альбомы чертежей сборных сталежелезобетонных колонн сечением 400x400 мм для одноэтажных и двухэтажных зданий с высотой этажей 3,0, 3,3, 3,6, 4,2, 4,8 м: альбомы стадии «КМ» [8] и чертежи армирования и бетонирования [9]. В альбоме [8] содержались типовые чертежи сердечников, которые были прямоугольного сечения 260x90 мм выполнены из пакета листовой стали 260x30(60) мм, сталь марок 10Г2С1-6, 14Г2-6, 15ХСНД-6 и других. Сечение армировалось 4 стержнями арматуры Ø40 АIII, бетон марки М500 [9]. Расчет несущей способности проводился по [6], несущая способность колонн составляла от 1075 до 1900 т.

Исследования ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко в 2014-2015 гг.

В 2014-2015 гг. сотрудниками ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко под руководством академика РААСН В.И. Травуша было проведено исследование работы моделей колонн на центральное и внецентренное сжатие для двух проектируемых высотных зданий. Результаты испытаний и расчетов моделей колонн представлены [10]. Проведены испытания бетонных и фибробетонных призм на центральное сжатие (всего 6 шт), а также сталежелезобетонных и сталефибробетонных моделей колонн на центральное и внецентренное сжатие размерами 150x150x600 мм (44 шт.), 400x400x1600 мм (16 шт.). Для группы моделей №1 эксцентриситет составил 1/5.333 и 1/26,666 размера поперечного сечения; для группы моделей №2 – с эксцентриситетами, равными от 1/5 до 1/3 размера поперечного сечения. Для моделирования жесткой арматуры в виде двугавров использован фасонный и листовой прокат из сталей С255, С345. Исследованы модели из бетона класса прочности на сжатие В25, В80, фибробетона с расчетным сопротивлением на сжатие до 90 МПа [11].

Полученные по результатам испытаний картины разрушения моделей колонн и трещинообразования не противоречат известным предпосылкам теории железобетона [12, 13], а также ранее проведенным известным опытам (например, представленным в [2, 4, 5]). В целом, анализируя полученные данные установлено, что использование соотношения (5) для определения теоретической несущей способности центрально и внецентренно сжатых моделей колонн дает запас по несущей способности.

По результатам комплекса расчетов, выполненных в рамках [10], можно заключить следующее:

- а. для центрально сжатых моделей из бетона В80 разница (в среднем) между теоретической и фактической несущей способностями при расчете по нормативным характеристикам материалов для $\mu_a=10\%$ составляет: по Руководству [6] – 23,3%, по СТО АРСС [1] – 47,0% (то есть теоретические вычисления дают запас); для $\mu_a=17,5\%$ составляет: по Руководству [6] – 11,4%, по СТО АРСС [1] – 36,9% (то есть теоретические вычисления дают запас);
- б. для внецентренно сжатых моделей из бетона В80 с эксцентриситетами 3 и 5 см (1/5 и 1/3 размера поперечного сечения) и разным направлении приложения момента разница (в среднем) между теоретической и фактической несущей способностями при расчете по нормативным характеристикам материалов для $\mu_a=10\%$ составляет: по Руководству [6] – 1,6%, по СТО АРСС [1] – 22% (то есть теоретические вычисления дают запас); для $\mu_a=17,5\%$ составляет: по Руководству [6] – 2,1%, по СТО АРСС [1] – 22,2% (то есть теоретические вычисления дают запас);
- с. средние отклонения фактической несущей способности всех моделей от теоретической разрушающей нагрузки при расчете по фактическим характеристикам материалов не превышают: для центрального сжатия по Руководству [6] – 13,0%, по СТО АРСС [1] – 8,7%; для внецентренного сжатия по Руководству [6] – 13,4%, по СТО АРСС [1] – 5,7%;

- d. для фибробетонных моделей группы №2 и бетонных моделей группы №1 результаты аналогичны приведенным в подпунктах а...с.

4. Современные зарубежные нормы Еврокод EN 1994-1-1 (далее Еврокод) [14]

Раздел 6.7 Еврокода посвящен сталежелезобетонным колоннам и сталежелезобетонным сжатым элементам.

Согласно 6.7.1(2) Область применения Еврокода EN 1994-1-1: для сталей классов от S235 до S460 (отечественные аналоги С235 и С440) и обычного тяжелого бетона классов прочности от С20/25 до С50/60 (что соответствует отечественному бетону от В25 до В60).

Согласно п. 6.7.1(3) «Данный раздел применяют для проектирования как отдельных колонн, так и колонн и других сталежелезобетонных сжатых элементов в составе каркаса сооружений, в которых остальные элементы являются либо сталежелезобетонными, либо стальными». То есть на применение данных норм на колонны в «бетонном» каркасе не распространяется.

Еврокодом предусмотрено два метода расчета: общий – 6.7.2 и упрощенный – 6.7.3.

Согласно 6.7.2(3) «Внутренние усилия следует определять с помощью упруго-пластического расчета». В [15] разъясняется, что так как три материала в сталежелезобетонном сечении подчиняются различным нелинейным соотношениям, прямой расчет поперечного сечения невозможен. Сначала необходимо принять во внимание размеры и материалы элемента, а затем определить осевую силу N и изгибающий момента M_c в поперечном сечении на основании предполагаемого значения осевой деформации и кривизны φ с использованием основных свойств материалов. Соотношение M - N - φ для каждого сечения можно найти во многих подобных расчетах. Но это сложно сделать, если имеет место кривой изгиб. Интегрирование по длине колонны приводит к нелинейной матрице жесткости элементов, которая позволяет определить осевую силу и концевые моменты, осевое изменение длины и углы поворота концевых сечений элемента.

Согласно 6.7.2(6) «Эффекты усадки и ползучести следует учитывать, если они могут существенно снизить устойчивость конструкций».

Согласно 6.7.2(7) «В целях упрощения расчета, эффекты ползучести и усадки можно не учитывать, если увеличение изгибающих моментов, обусловленное деформациями ползучести и продольными силами от постоянных нагрузок не превышает 10%.»

Согласно 6.7.2(9) «В целях упрощения расчета, остаточные напряжения и геометрические несовершенства могут быть заменены эквивалентными начальными изгибными отклонениями (несовершенствами элементов) в соответствии с таблицей 6.5.». Но таблица 6.5. не содержит условий для учета размера сечений, фигурирует только длина элемента, в отличие от СП 63.13330-2012 [16], где, согласно п. 7.1.7. случайный эксцентриситет принимается не менее $1/30$ высоты сечения, $1/600$ длины элемента и 10 мм.

Упрощенный метод согласно 6.7.3.1(1) распространяется только на сечения с двумя осями симметрии (см. рисунок 3 из [14]), также он не применим для стальных элементов, состоящих из двух или более несвязных сечений. Условная гибкость $\bar{\lambda}$, определяемая по формуле (6.39) [14] должна быть не более двух. Кроме того, согласно 6.7.3.1(3) продольное армирование, которое может быть принято в расчете, не должно превышать 6% площади бетона.

Согласно 6.7.3.2(1) «сопротивление сталежелезобетонного поперечного сечения сжатию в пластической стадии следует определять суммированием в пластической стадии его компонентов». Сопротивление находят, используя прямоугольные эпюры напряжений. Для простоты их продлевают до нейтральной оси (см. рисунок 2.4). Как разъяснено в комментариях к статье 3.1(1), это упрощение является неконсервативным по сравнению с кривыми зависимости деформаций от напряжения в бетоне и правил EN 1992-1-1. Для компенсации этого положения в статье 6.7.3.6(1) пластический момент сопротивления для сечения колонны

снижен с помощью коэффициента α_m (коэффициент, относящийся к изгибу сталежелезобетонной колонны, принимаемый равным 0,8 для сталей классов от S235 до S355 и 0,9 – для сталей классов от S420 до S460).

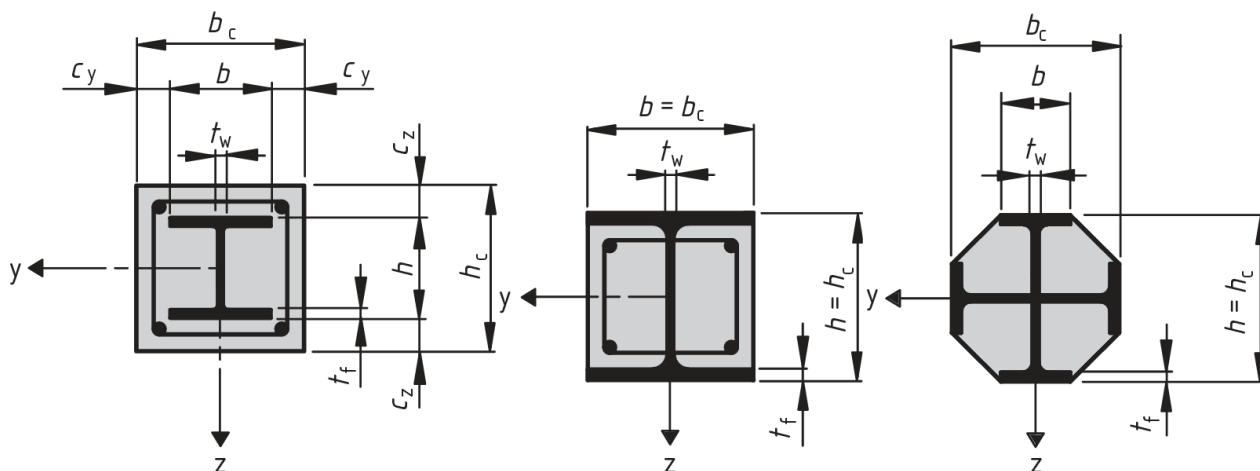


Рисунок 3 – Типичные поперечные сечения сталежелезобетонных колонн, для расчета по упрощенному методу Еврокода EN 1994-1-1 (из [14])

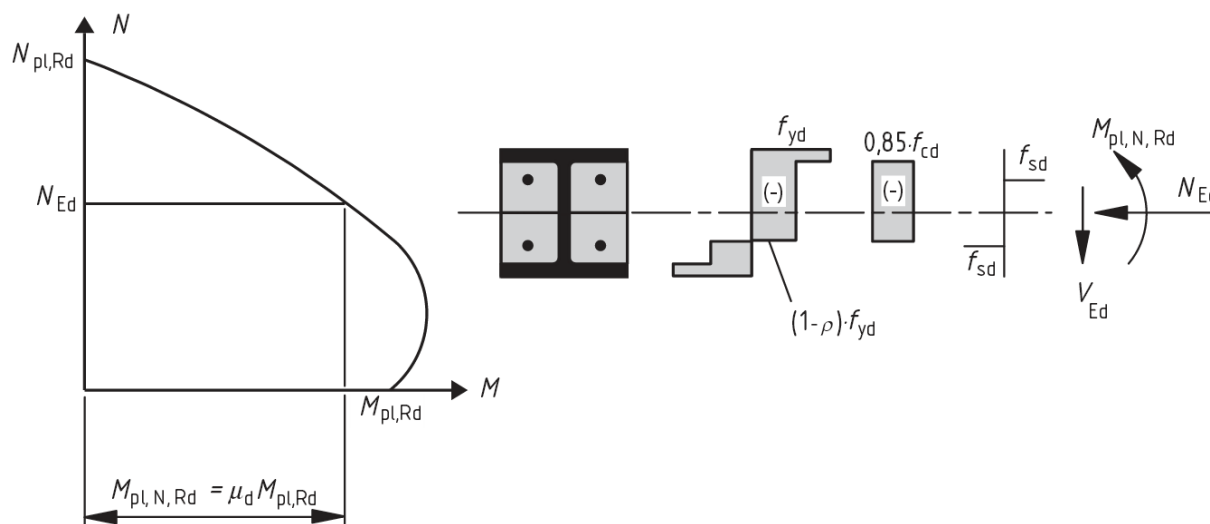


Рисунок 4 – Кривая взаимодействия при совместном действии сжатия и плоского изгиба по упрощенному методу Еврокода EN 1994-1-1 (из [14])

В статьях 6.7.3.2(3) и (4) описано влияние поперечного сдвига на кривую взаимодействия. Согласно Еврокоду для колонн в составе рам некоторые характеристики длины каждой колонны необходимо определить до или во время общего расчета рамы: коэффициент участия стали (статья 6.7.3.3(1), гибкость λ (статья 6.7.3.3(2), расчетную жесткость при изгибе (статья 6.7.3.3(3) и 6.7.3.4.(2)), коэффициент ползучести и расчетный модуль для бетона (статья 6.7.3.3(4)).

В статье 6.7.3.7 приведен расчет для упрощенного метода при действии сжатия и косоуго изгиба:

$$\frac{M_{y,Ed}}{\mu_{dy} M_{pl,y,Rd}} \leq \alpha_{M,y}, \quad \frac{M_{z,Ed}}{\mu_{dz} M_{pl,z,Rd}} \leq \alpha_{M,z};$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{\mu_{dy}M_{pl,y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{\mu_{dz}M_{pl,z,Rd}} \leq 1,$$

где $M_{pl,y,Rd}$ и $M_{pl,z,Rd}$ – сопротивление изгибу в пластической стадии для рассматриваемой плоскости изгиба;

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$ – расчетные изгибающие моменты, определенные с учетом эффектов второго порядка и несовершенств в соответствии с 6.7.3.4;

μ_{dy} , μ_{dz} – приведены в 6.7.3.6;

$\alpha_M = \alpha_{M,y}$ и $\alpha_M = \alpha_{M,z}$ – приведены в 6.7.3.6.

В статье 6.7.4 рассмотрены соединения, работающие на сдвиг, и приложение нагрузки. В том числе рассмотрены гибкие упоры. Заметим, что Приложение Я действующего СП [17] для расчета мостовых конструкций устанавливает правила расчета разнообразных гибких и жестких упоров для изгибаемых пролетных строений мостов в соответствии с положениями раздела 9 [17].

К значимым выводам анализа Еврокода [14] в работе [15] стоит отнести следующие:

- специальные требования к сталежелезобетонным конструкциям, касающиеся прочности, устойчивости, выносливости, долговечности, в принципе, совпадают;
- анализ взаимосвязи положения Еврокода и ссылочных документов с ГОСТ 27751-88(2003) «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету» и Федеральным законом «384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» показал совпадение по фундаментальным требованиям и расхождение в методиках реализации.

5. Выводы

1. Российскими и зарубежными учеными достаточно хорошо изучена работа сталежелезобетонных конструкций с жесткой арматурой, работающих на сжатие, а также на совместное действие сжатия и изгиба (в том числе косоугольного изгиба).

2. Применение отечественных подходов, представленных в [6], является наиболее универсальным и сравнительно простым в применении. Как отечественными разработками, так и европейскими нормами в основу расчета прочности поперечного сечения сталежелезобетонных сжато-изогнутых элементов положена эпюра нормальных напряжений с прямоугольными очертаниями. Данные подходы реализованы при создании современных нормативных документов [1, 18], регламентирующих расчет конструкций с жесткой арматурой при работе на внецентренное сжатие.

3. На основании исследований [10] сталежелезобетонных конструкций с жесткой арматурой обосновано применение методик [1, 18] для расчета конструкций, в том числе с применением современных сталей, высокопрочных бетонов и фибробетона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СТО АРСС 11251254.001-2015 Сталежелезобетонные конструкции. Правила проектирования. – Ассоциация «Объединение участников бизнеса по развитию стального строительства. – М.: 2015. – 68 с.
2. Васильев, А.П. Железобетон с жесткой арматурой. Государственное издательство строительной литературы – М., 1941. – 123 с.
3. Council on tall building and urban habitat [Электронный ресурс] – URL: <http://www.ctbuh.org/>
4. Житницкая, Э.Л. Исследование внецентренно-сжатых железобетонных колонн с несущей профильной арматурой при малых эксцентриситетах [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Эдда Лазаревна Житницкая. – М., 1957.
5. Егоров, Н.А. Исследование прочности и деформативности железобетонных колонн с жесткой арматурой из низколегированной стали [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Николай Александрович Егоров – М., 1975.

6. Руководство по проектированию железобетонных конструкций с жесткой арматурой. – М.: Стройиздат, 1978. – 55 с.
7. Сахновский, К.В. Железобетонные конструкции [Текст]. / К.В. Сахновский. – М.: Стройиздат, 1961. – 840 с.
8. Серия РС 2270-84 «Стальные сердечники колонн сечение 400х400», Альбом чертежей. МОСПРОЕКТ-1, 1984.
9. Серия РС 2273-85 «Сборные железобетонные колонны с плоскими стальными торцами и стальными сердечниками», Альбом чертежей. МОСПРОЕКТ-1, 1985.
10. Научно-технический отчет по теме: «Проведение испытаний моделей сталежелезобетонных колонн, анализ полученных результатов и разработка методики расчета сталежелезобетонных колонн для проектирования и строительства многофункционального комплекса «Лахта центр» по адресу: г. Санкт-Петербург, Лахтинский пр., д. 2, корп. 3, литера А». Книга 1. Результаты испытаний. Разработан ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко (институт АО «НИЦ «Строительство») – М.: 2015.
11. ГОСТ 10180-90 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».
12. Бондаренко, В.М. Железобетонные и каменные конструкции [Текст]. / В.М. Бондаренко. – М.: Высшая школа. – 2002. – 876 с.
13. Ханджи, В.В. Расчет многоэтажных зданий со связевым каркасом [Текст]. / В.В. Ханджи. – М.: Стройиздат, 1977. – 189 с.
14. Техническое редактирование текста Еврокода EN 1994-1-1:2005. Еврокод 4: Проектирование сталежелезобетонных конструкций. Часть 1-1. Общие правила для зданий и сооружений./ Институт научно-технического общества строителей – М.: 2011 – 123 с.
15. Руководство для проектировщиков к Еврокоду 4: Проектирование сталежелезобетонных конструкций. EN 1994-1-1 / Р.П. Джонсон; Министерство образования и науки РФ, ФГБОУ ВПО МГСУ; науч. ред. пер. В.О. Алмазов, А.Н. Томилин. 2-е изд. – М.: МГСУ. – 2013. – 414 с. (Серия «Издано в МГСУ: Еврокоды». Науч. ред. серии В.О. Алмазов).
16. СП 63.13330-2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003.
17. СП 35.13330.2011. «Мосты и трубы» Актуализированная редакция СНиП 2.06.03 84* (ОАО ЦНИИС).
18. СП XX.13330.20 XX «Сталежелезобетонные конструкции. Правила проектирования». Проект (вторая редакция).
19. СП 16.13330-2011. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*.
20. Composite design of steel framed buildings. SCI, Ascot UK, 2011

Травуш Владимир Ильич

ЗАО «ГОРПРОЕКТ», г. Москва

Доктор технических наук, профессор. Главный конструктор, заместитель генерального директора по научной работе. Вице-президент РААСН

E-mail: travush@mail.ru

Конин Денис Владимирович

АО "НИЦ "Строительство", ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, г. Москва

Кандидат технических наук, заведующий сектором ВЗиС

E-mail: konden@inbox.ru

Рожкова Лидия Сергеевна

АО "НИЦ "Строительство", ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, г. Москва

Старший научный сотрудник

E-mail: soshnikova_lidia@mail.ru

Крылов Алексей Сергеевич

АО "НИЦ "Строительство", ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, г. Москва

Научный сотрудник

E-mail: kryl07@mail.ru

V. TRAVUSH, D. KONIN, L. ROZHKOVA, A. KRYLOV

DOMESTIC AND FOREIGN EXPERIENCE IN RESEARCH OF COMPOSITE STRUCTURES FOR ECCENTRIC COMPRESSION

The present paper describes the types of the investigated steel-concrete composite structures operating at the Central and eccentric compression, materials and design features of the tested models. The main results of the research. The basic design equations used to describe the operation of composite structures, starting with the first half of the twentieth century. The analysis and comparison of domestic and foreign normative documentation. Estimated computational techniques that underlie modern national regulatory documents in the field of steel-concrete.

Keywords: concrete, fiber concrete, concrete and steel structure, rigid fittings with flexible fittings.

BIBLIOGRAPHY

1. STO ARSS 11251254.001-2015 Stalezhelezobetonnyye konstruksii. Pravila proyektirovaniya. – Assotsiatsiya «Ob'yedineniye uchastnikov biznesa po razvitiyu stal'nogo stroitel'stva. – M.: 2015. – 68 s.
2. Vasil'yev, A.P. Zhelezobeton s zhestkoy armaturoy. Gosudarstvennoye izdatel'stvo stroitel'noy literatury – M.:, 1941. – 123 s.
3. Council on tall building and urban habitat [Elektronnyy resurs] – URL: <http://www.ctbuh.org/>
4. Zhitnitskaya, E.L. Issledovaniye vnetsentrenno-szhatykh zhelezobetonnykh kolonn s nesushchey profil'noy armaturoy pri malykh eksentrisitetakh [Tekst]: dis. ... kand. tekhn. nauk / Edda Lazarevna Zhitnitskaya. – M., 1957.
5. Yegorov, N.A. Issledovaniye prochnosti i deformativnosti zhelezobetonnykh kolonn s zhestkoy armaturoy iz nizkolegirovannoy stali [Tekst]: dis. ... kand. tekhn. nauk / Nikolay Aleksandrovich Yegorov – M., 1975.
6. Rukovodstvo po proyektirovaniyu zhelezobetonnykh konstruksiy s zhestkoy armaturoy. – M.: Stroyizdat, 1978. – 55 s.
7. Sakhnovskiy, K.V. Zhelezobetonnyye konstruksii [Tekst]. / K.V. Sakhnovskiy. – M.: Stroyizdat, 1961. – 840 s.
8. Seriya RS 2270-84 «Stal'nyye serdechniki kolonn secheniye 400kh400», Al'bom chertezhey. MOS-PROYEKT-1, 1984.
9. Seriya RS 2273-85 «Sbornyye zhelezobetonnyye kolonnymi s ploskimi stal'nymi tortsami i stal'nymi serdechnikami», Al'bom chertezhey. MOSPROYEKT-1, 1985.
10. Nauchno-tekhnicheskii otchet po teme: «Provedeniye ispytaniy modeley stalezhelezobetonnykh kolonn, analiz poluchennykh rezul'tatov i razrabotka metodiki rascheta stalezhelezobetonnykh kolonn dlya proyektirovaniya i stroitel'stva mnogofunktional'nogo kompleksa «Lakhta tsentr» po adresu: g. Sankt-Peterburg, Lakhtinskiy pr., d. 2, korp. 3, litera A». Kniga 1. Rezul'taty ispytaniy. Razrabotan TSNIISK im. V.A. Kucherenko (institut AO «NITS «Stroitel'stvo») – M.: 2015.
11. GOST 10180-90 «Betony. Metody opredeleniya prochnosti po kontrol'nyim obraztsam».
12. Bondarenko, V.M. Zhelezobetonnyye i kamennyye konstruksii [Tekst]. / V.M. Bondarenko. – M.: Vysshaya shkola. – 2002. – 876 s.
13. Khandzhi, V.V. Raschet mnogoetazhnykh zdaniy so svyazevym karkasom [Tekst]. / V.V. Khandzhi. – M.: Stroyizdat, 1977. – 189 s.
14. Tekhnicheskoye redaktirovaniye teksta Yevrokoda EN 1994-1-1:2005. Yevrokod 4: Proyektirovaniye stalezhelezobetonnykh konstruksiy. Chast' 1-1. Obshchiye pravila dlya zdaniy i sooruzheniy./ Institut nauchno-tekhnicheskogo obshchestva stroiteley – M.: 2011 – 123 s.
15. Rukovodstvo dlya proyektirovshchikov k Yevrokodu 4: Proyektirovaniye stalezhelezobetonnykh konstruksiy. EN 1994-1-1 / R.P. Dzhonson; Ministerstvo obrazovaniya i nauki RF, FGBOU VPO MGSU; nauch. red. per. V.O. Almazov, A.N. Tomilin. 2-ye izd. – M.: MGSU. – 2013. – 414 s. (Seriya «Izdano v MGSU: Yevrokody». Nauch. red. serii V.O. Almazov).
16. SP 63.13330-2012. Betonnyye i zhelezobetonnyye konstruksii. Osnovnyye polozheniya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 52-01-2003.
17. SP 35.13330.2011. «Mosty i trubyy» Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.06.03 84* (OAO TSNIIS).
18. SP KHKH.13330.20 KHKH «Stalezhelezobetonnyye konstruksii. Pravila proyektirovaniya». Projekt (vtoraya redaktsiya).
19. SP 16.13330-2011. Stal'nyye konstruksii. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP II-23-81*.
20. Composite design of steel framed buildings. SCI, Ascot UK, 2011

V. Travush

GORPROJECT, Moscow

Doctor of technical Sciences, Professor. Chief designer, Deputy General Director on scientific work. Vice-President of Russian Academy of architecture and construction Sciences

E-mail: travush@mail.ru

D. Konin

Research Center of Construction TSNIISK named after V.A. Koucherenko, Moscow

Candidate of technical Sciences, Chief manager of Sector HRB&C

E-mail: konden@inbox.ru

L. Rozhkova

Research Center of Construction TSNIISK named after V.A. Koucherenko, Moscow

Senior researcher

E-mail: soshnikova_lidia@mail.ru

A. Krylov

Research Center of Construction TSNIISK named after V.A. Koucherenko, Moscow

Researcher

E-mail: kryl07@mail.ru

ТУРКОВ А.В., КАРПОВА Е.В., АБАШИНА Н.С.

ПРОГИБЫ И ЧАСТОТЫ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ СОСТАВНЫХ РОМБИЧЕСКИХ ИЗОТРОПНЫХ ПЛАСТИН, ШАРНИРНО ОПЕРТЫХ ПО КОНТУРУ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ЖЕСТКОСТИ СВЯЗЕЙ СДВИГА

В статье рассматривается двухслойная изотропная составная пластина на податливых связях. Вычисляется круговая частота основного тона ω и максимальный прогиб W_0 . Разработана конечно-элементная расчётная схема составной двухслойной пластины. Построены графики изменения максимальных прогибов и частот собственных колебаний пластин, графики изменения коэффициента K в зависимости от угла основания и количества установленных связей сдвига при шарнирном закреплении. Коэффициенты K , полученные в ходе численного расчёта, отличаются от аналитических значений не более чем на 6,5%.

Ключевые слова: составная пластина, связи сдвига, поперечные связи, частота собственных колебаний, максимальный прогиб.

В качестве исходной расчётной конструкции рассматривается ромбическая пластина со стороной $a \times b = 1000 \times 1000$ мм и углом между смежными сторонами 90° , состоящая из двух слоев древесно-стружечной плиты постоянного сечения толщиной $\delta = 10$ мм. Затем рассматриваются аналогичные пластины с углом между смежными сторонами: 100° , 110° , 120° , 130° , 140° и 150° (Рисунок 1).

Оба слоя пластины разбивались на 800 конечных элементов (Рисунок 2). Поперечные связи и связи сдвига вводились в узлы конструкции [1-4, 7-10], пластина рассчитывалась с количеством связей: 0, 1, 5, 9, 13, 25, 41, 81, 145, 800 (Рисунок 4). Было рассмотрено шарнирное опирание пластин по контуру. (Рисунок 3). Опоры по контуру плиты располагались в узлах конечных элементов конструкции, при этом граничные условия слоёв были одинаковыми. Жесткость поперечных связей постоянна и составляет $EA_c = 644$ кН. Все характеристики слоёв взяты из паспорта изделия: толщина $\delta = 10$ мм, средняя плотность $\rho = 720$ кг/м³, модуль упругости при изгибе $E = 2600$ МПа. Для динамического расчета массы в узлах собирались в соответствии с объемным весом и грузовой площадью узла. При статическом расчёте к верхнему слою прикладывалась равномерно распределённая нагрузка $q = 1$ кН/м². Исследования проводились методом конечных элементов. Расстояние между слоями принималось равным расстоянию между центрами тяжести слоёв.

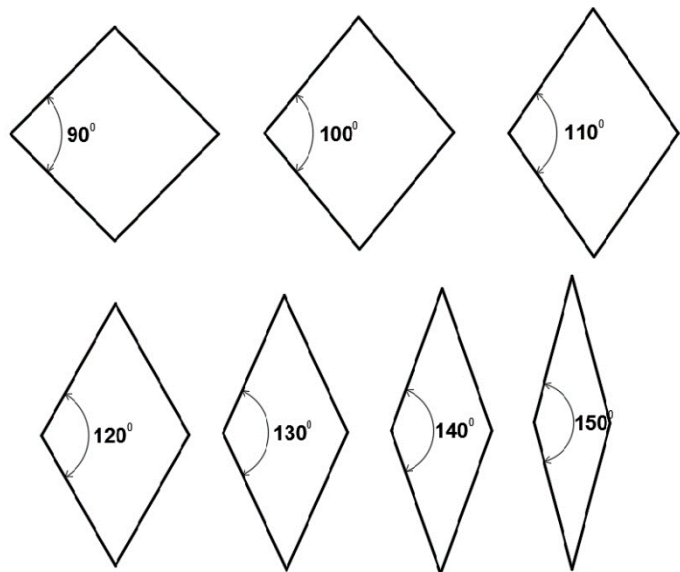


Рисунок 1 – Рассчитываемые пластины

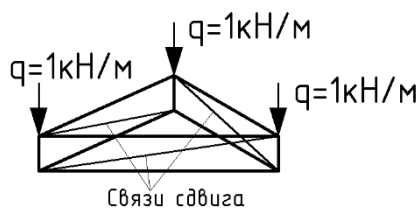


Рисунок 2 – Конечный элемент пластины

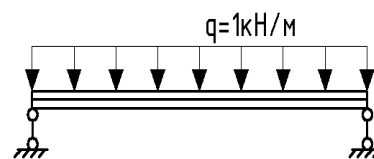


Рисунок 3 – Условия закрепления пластины: шарнирно опертая пластина

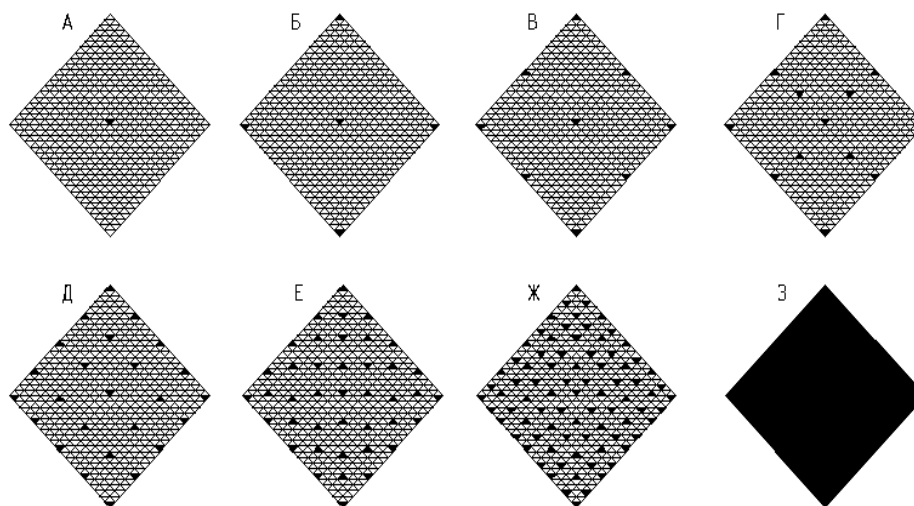


Рисунок 4 – Схема разбивки пластины на конечные элементы с установкой различного количества связей сдвига: А – 1 связь; Б – 5 связей; В – 9 связей; Г – 13 связей; Д – 25 связей; Е – 41 связь; Ж – 81 связь; З – 800 связей

Численные исследования были проведены с помощью программы «SCAD». В ходе расчета были определены максимальный прогиб W_0 и частота основного тона поперечных колебаний ω . Результаты расчета шарнирно опертых пластин – в Таблице 1. По данным таблицы 1 построены графики изменения прогибов и частот колебаний (Рисунок 5) и коэффициента $K = W_0 > W > t/q$ в зависимости от количества связей сдвига $N_{св}$ (Рисунок 6).

Таблица 1 - Результаты расчета шарнирно опертых пластин

№ п/п	$N_{св}/N_{кэ}$	ω	w_0 , мм	K	K (табл)	Откл, %
90°						
1	0	109,6309	9,147	1,5830956	1,582	0,1
2	0,00125	109,659	9,137	1,5821756	1,582	0,0
3	0,00625	109,7625	9,12	1,5822143	1,582	0,0
4	0,01125	117,5008	7,993	1,58911	1,582	0,4
5	0,01625	121,6613	7,413	1,5800157	1,582	-0,1
6	0,03125	132,7621	6,256	1,5878426	1,582	0,4
7	0,05125	144,9463	5,224	1,580447	1,582	-0,1
8	0,10125	170,2555	3,7794	1,5775664	1,582	-0,3
9	0,18125	192,5964	2,945	1,5730558	1,582	-0,6
10	1	256,3905	1,663	1,5739974	1,582	-0,5
100°						
11	0	131,7083	6,324265	1,5797881	1,586	-0,4
12	0,00125	131,8964	6,317772	1,5826771	1,586	-0,2
13	0,00625	132,1906	6,290131	1,5827901	1,586	-0,2
14	0,01125	141,907	5,485832	1,5907892	1,586	0,3
15	0,01625	147,3486	5,060195	1,5820557	1,586	-0,2
150°						
61	0	639,4659	0,27042	1,5923381	1,624	-2,4
62	0,00125	639,6749	0,270031	1,5910911	1,624	-2,4
63	0,00625	662,3544	0,250535	1,5827448	1,624	-3,0
64	0,01125	668,125	0,246354	1,5835723	1,624	-2,9
65	0,01625	685,4858	0,235392	1,5927622	1,624	-2,3
66	0,03125	758,987	0,191541	1,5888825	1,624	-2,6
67	0,05125	822,7323	0,162151	1,5805201	1,624	-3,1
68	0,10125	983,2855	0,111617	1,5540053	1,624	-4,9
69	0,18125	1114,093	0,085653	1,530904	1,624	-6,5
70	1	1545,003	0,044765	1,5387205	1,624	-5,9

Коэффициент K , полученный в результате расчетов отличается от аналитических значений [5, 6, 7] для углов:

- 100° в пределах от -0,6 до -0,3%;
- 110° в пределах от -0,9 до 0,2%;
- 120° в пределах от -1,5 до 0,0%;
- 130° в пределах от -2,8 до -0,9%;
- 140° в пределах от -4,2 до -1,8%.

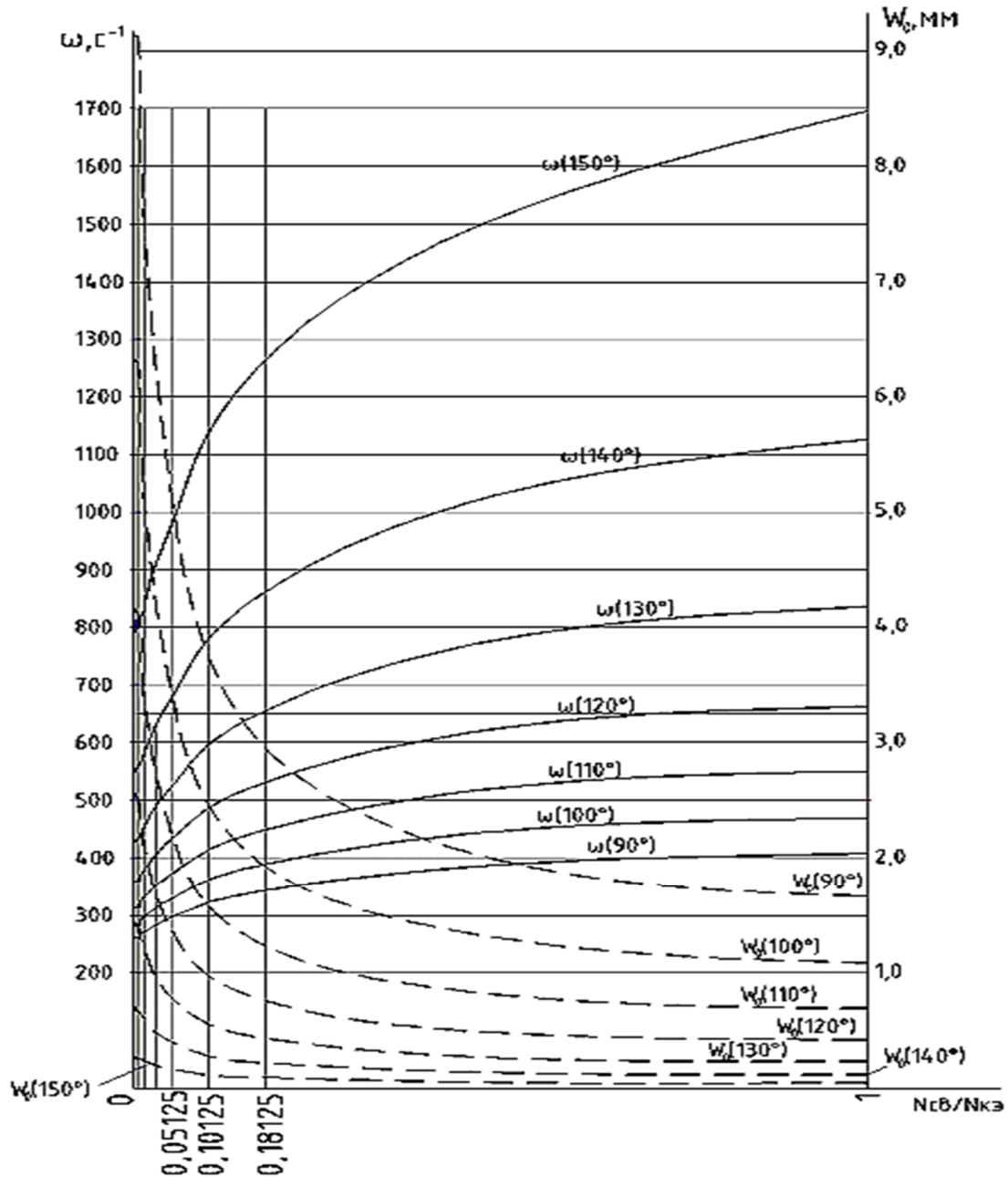


Рисунок 5 – Графики изменения максимальных прогибов и частот собственных колебаний пластин в зависимости от угла основания и количества установленных связей сдвига в шарнирно опертых пластинах

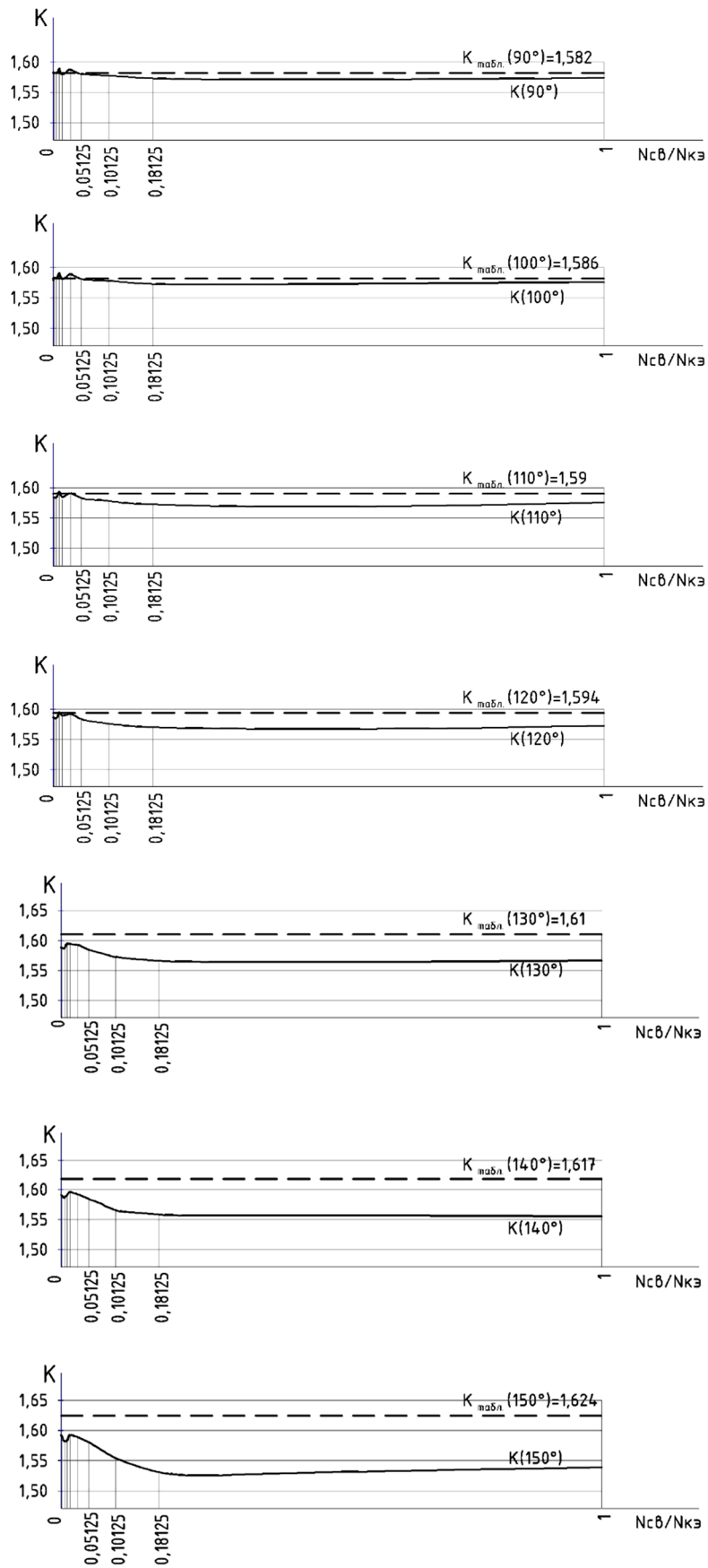


Рисунок 6 – Графики изменения коэффициента K в зависимости от угла основания и количества установленных связей сдвига в шарнирно опертых пластинах

Заключение

В результате численного исследования определено, что коэффициенты K , определенные по показателям расчета отличаются в основном от аналитических значений с расхождением не более 5% (в некоторых случаях – 5,7 -5,9% и в единичном случае – 6,5%).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абашина, Н.С. Прогибы и частоты собственных колебаний составных ромбических изотропных пластин жестко защемленных по контуру при изменении жесткости связей сдвига [Текст] / Е.В. Карпова, Н.С. Абашина // Сборник трудов VII международной научно-технической конференции «Строительная наука XXI век» . -2016.– С. 102-107.
2. Карпова Е. В. Численные исследования составных пластин треугольного очертания, жестко защемленных и шарнирно опертых по контуру [Текст] / Е.В. Карпова // Наука и образование –№6(13). -2015.– С. 4-10.
3. Карпова Е. В. Численные исследования составных пластин треугольного очертания при различных условиях опирания [Текст] / А.В. Турков, Е.В. Карпова // Сборник трудов международной научно-технической конференции «Строительная наука XXI век» . -2015.– С. 378-391.
4. Турков, А.В. Исследование коэффициента жёсткости шва составных треугольных изотропных пластин в зависимости от количества симметрично расположенных связей сдвига [Текст] / А.В. Турков, Е.В. Карпова //Сборник трудов Восемнадцатой Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. -2015.– С. 238-242.
5. Коробко, В.И. Об одной "замечательной" закономерности в теории упругих пластинок [Текст] / В. И. Коробко. // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1989. – № 11. – С. 32-36.
6. Линьков, Н.В. Расчет деревянных балок составного сечения на соединениях с применением композиционного материала по теории составных стержней А. Р. Ржаницына [Текст] / Н.В. Линьков // Промышленное и гражданское строительство. – М.: 2013. – №4. – С. 23–24.
7. Ржаницын, А.Р. Составные стержни и пластинки [Текст] / А.Р. Ржаницын. – М.: Стройиздат, 1986. – 316 с.
8. Турков, А.В. Исследование коэффициента жёсткости шва для треугольной составной изотропной пластины в зависимости от её основной частоты колебаний при разной жёсткости связей сдвига [Текст] / А.В. Турков, Е.В. Карпова//Строительная механика и расчет сооружений.– М.:2015. – №2. – С. 66-69.
9. Марфин, К.В. Исследование прогибов и частот собственных колебаний составных круглых трансформированных пластин [Текст] / А.В. Турков, К.В. Марфин //Известия высших учебных заведений. Лесной журнал.– Архангельск, 2013. – №4. – С. 66-71
10. Марфин, К.В. Определение коэффициента жесткости шва круглой составной изотропной пластины по её основной частоте колебаний [Текст] / А.В. Турков, К.В. Марфин //Строительная механика и расчет сооружений.– М.:2013. – №4. – С. 58-62.

Турков Андрей Викторович

ФГБОУ ВО ОГУ им. И. С. Тургенева, г. Орел.

Доктор технических наук, зав. каф. «Городское строительство и хозяйство»

E-mail: aturkov@bk.ru

Карпова Екатерина Вячеславовна

ФГБОУ ВО ОГУ им. И. С. Тургенева, г. Орел.

Аспирант, кафедра «Городское строительство и хозяйство».

Абашина Наталия Сергеевна

ФГБОУ ВО ОГУ им. И. С. Тургенева, г. Орел.

Магистрант, кафедра «Городское строительство и хозяйство».

A. TURKOV, E. KARPOVA, N. ABASHINA

DEFLECTION AND NATURAL FREQUENCY COMPOUND ORTHORHOMBIC ISOTROPIC PLATE SIMPLY SUPPORTED ALONG THE CONTOUR CHANGES IN HARDNESS RELATIONS WITH SHEAR

The article discusses the isotropic two-layer composite plate on compliant connections. Calculate the angular frequency ω of the pitch and the maximum deflection of W_0 . A finite element design scheme of two-layer composite plate. The graphs change of maximum deflection and natural frequencies of plates, graphics, change the coefficient K depending on the angle of the base and the number of established connections with shear hinge pinching. K coefficients obtained during the numerical calculation, different from the analytical value of deposits is not more than 6.5%.

Keywords: a composite plate shear connection, the angular frequency of the fundamental tone, the maximum deflection.

BIBLIOGRAPHY

1. Abashina, N.S. Progiby i chastoty sobstvennykh kolebaniy sostavnykh rombicheskikh izotropnykh plastin zhestko zashchemlennykh po konturu pri izmenenii zhestkosti svyazey sdviga [Tekst] / Ye.V. Karpova, N.S. Abashina // Sbornik trudov VII mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Stroitel'naya nauka XXI vek» . -2016.– S. 102-107.
2. Karpova Ye. V. Chislennyye issledovaniya sostavnykh plastin treugol'nogo ochertaniya, zhestko zashchemlennykh i sharnirno opertykh po konturu [Tekst] / Ye.V. Karpova // Nauka i obrazovaniye –№6(13). -2015.– S. 4-10.
3. Karpova Ye. V. Chislennyye issledovaniya sostavnykh plastin treugol'nogo ochertaniya pri razlichnykh usloviyakh opiraniya [Tekst] / A.V. Turkov, Ye.V. Karpova // Sbornik trudov mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Stroitel'naya nauka XXI vek» . -2015.– S. 378-391.
4. Turkov, A.V. Issledovaniye koeffitsiyenta zhostkosti shva sostavnykh treugol'nykh izotropnykh plastin v zavisimosti ot kolichestva simmetrichno raspolozhennykh svyazey sdviga [Tekst] / A.V. Turkov, Ye.V. Karpova //Sbornik trudov Vosemnadtsatoy Mezhdunarodnoy mezhvuzovskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh. -2015.– S. 238-242.
5. Korobko, V.I. Ob odnoy "zamechatel'noy" zakonomernosti v teorii uprugikh plastinok [Tekst] / V. I. Korobko. // Izv. vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura. – 1989. – № 11. – S. 32-36.
6. Lin'kov, N.V. Raschet derevyannykh balok sostavnogo secheniya na soyedineniyakh s primeneniym kompozitsionnogo materiala po teorii sostavnykh sterzhney A. R. Rzhaniysyna [Tekst] / N.V. Lin'kov // Promysh-lennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo. – M.: 2013. – №4. – S. 23–24.
7. Rzhaniysyn, A.R. Sostavnyye sterzhni i plastinki [Tekst] / A.R. Rzhaniysyn. – M.: Stroyizdat, 1986. – 316 s.
8. Turkov, A.V. Issledovaniye koeffitsiyenta zhostkosti shva dlya treugol'noy sostavnoy izotropnoy plastiny v zavisimosti ot yeyo osnovnoy chastoty kolebaniy pri raznoy zhostkosti svyazey sdviga [Tekst] / A.V. Turkov, Ye.V. Karpova//Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy.– M.:2015. – №2. – S. 66-69.
9. Marfin, K.V. Issledovaniye progibov i chastot sobstvennykh kolebaniy sostavnykh kruglykh tran-stroynykh plastin [Tekst] / A.V. Turkov, K.V. Marfin //Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal.– Arkhangel'sk, 2013. – №4. – S. 66-71
10. Marfin, K.V. Opredeleniye koeffitsiyenta zhostkosti shva krugloy sostavnoy izotropnoy plasti-ny po yeyo osnovnoy chaste kolebaniy [Tekst] / A.V. Turkov, K.V. Marfin //Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy.– M.:2013. – №4. – S. 58-62.

A. Turkov

Orel State University named after. I. S. Turgenev, Architectural Engineering Institute, Orel
Doctor of Technical Sciences, Head of the department of "Urban Construction and Management"
E-mail: aturkov@bk.ru

E. Karpova

Orel State University named after. I. S. Turgenev, Architectural Engineering Institute, Orel
graduate, senior lecturer of the department " Urban Construction and Management".

N. Abashina

Orel State University named after. I. S. Turgenev, Architectural Engineering Institute, Orel
undergraduate of the department of "Urban Construction and Management".

УДК 614.8.086.5

БАКАЕВА Н.В., КАЛАЙДО А.В.

МЕХАНИЗМЫ ПОСТУПЛЕНИЯ РАДОНА В ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

В настоящее время более 80% годовой индивидуальной дозы человек получает от естественных источников радиоактивного облучения: космического излучения, излучения почв и радиоактивного газа радона внутри зданий. При этом облучение радоном и его дочерними продуктами распада (ДПР) в зданиях и сооружениях является не только самым интенсивным, но и самым переменным из всех природных источников радиации. По современным представлениям, радон и его ДПР формируют от 50 до 90% годовой индивидуальной дозы человека, а вопросам радоновой безопасности сооружений посвящено значительное число работ. Однако единой точки зрения относительно механизмов поступления радона в здания нет, причина в большом количестве параметров и процессов, участвующих в выделении радона и его дальнейшем распространении. В данной статье представлен экспериментальный материал, посвященный проблеме определения доминирующего механизма поступления радона в здания.

Ключевые слова: радон, дочерние продукты распада, эквивалентная равновесная объемная активность (ЭРОА), конвекция, диффузия, залповый механизм

Среда жизнедеятельности современного человека представляет собой совокупность внутриквартирной внутренней среды, а также внешней искусственной и естественной природной сред. Каждая из них может быть как безопасной и комфортной, так и неблагоприятной. Обеспечение экологической безопасности среды состоит в максимально возможном снижении рисков по максимально возможному перечню факторов потенциальной опасности [1]. Для человека, проводящего более 7000 часов в год в зданиях, главным из факторов потенциальной опасности во внутриквартирной среде является радиоактивное облучение радоном и его ДПР.

Облучение радоном при определенных условиях может активировать обменные процессы, улучшая деятельность желез и усиливая регенерацию клеток (радонотерапия). Но этот факт не относится к облучению в закрытых помещениях, где радон и его ДПР являются второй по частоте причиной возникновения рака легкого после курения. Практически в каждой стране существуют группы населения, получающие очень высокие дозы от естественных источников ионизирующего излучения в бытовых условиях [2].

Радон ^{222}Rn – благородный радиоактивный газ с периодом полураспада 3,8 суток, не имеющий стабильных изотопов. В структуре облучения населения Российской Федерации его вклад составляет порядка 50 – 70% годовой эффективной дозы от всех источников ионизирующего излучения, а на радоноопасных территориях может превышать 90% [3].

Геологическое пространство под зданием и эманирование из строительных материалов являются основными источниками, обеспечивающими поступление радона внутрь помещений. На данный момент условие обеспечения защиты населения от облучения источниками ионизирующего излучения имеет вид

$$X_i \leq X_i^{\text{дон}}, \quad (1)$$

где X_i – величина i -го контролируемого радиационного параметра; $X_i^{\text{дон}}$ – предельная допустимая величина данного параметра.

В настоящее время в РФ при обеспечении радиационной безопасности объектов строительства используются следующие контрольные параметры [4]:

- удельная активность строительных материалов $A_{\text{эфф}}$, Бк/м³ – для зданий с постоянным пребыванием людей не должна превышать 370 Бк/кг;

- плотность потока радона (ППР) с поверхности грунта – для территории застройки не должна превышать 80 мБк/(м²·с) для жилых зданий и 250 мБк/(м²·с) для производственных, в противном случае территория классифицируется как потенциально радоноопасная;

- МЭД гамма-излучения стройматериалов – не должна превышать 0,6 мкЗв/час;

- ЭРОА радона в воздухе помещений – не должна превышать 100 Бк/м³ для возводимых зданий и 200 Бк/м³ для эксплуатируемых.

Обеспечение радиационной безопасности в форме (1) оправдано только для удельной активности стройматериалов и МЭД от излучения ограждающих конструкций (тем более, что они взаимосвязаны), в случае с ЭРОА наличие границы безопасного облучения противоречит принятой на данный момент линейной беспороговой концепции действия радиации. Величина ППР с поверхности почвы в качестве контрольного параметра вообще не используется более ни в одной стране мира, основные ее недостатки – непредставительность (определяется не на глубине закладки фундамента), неинформативность (не определяет характера необходимых противорадных мероприятий) и значительные пространственные и временные колебания [5-7].

Оптимизация радиационной защиты населения может быть реализована путем введения референтного уровня (РУ), который только определяет недопустимо высокий уровень риска, не устанавливая границы безопасного облучения [8]. А в качестве критерия радоноопасности территории при инженерно-экологических изысканиях может использоваться радоновый потенциал грунта, который не испытывающий указанных колебаний [9]

$$P_{Rn} = C_{Ra} \times \rho_{gp} \times k_{эм},$$

где C_{Ra} – удельная активность радия в почве, Бк/кг;

ρ_{gp} – плотность, кг/м³;

$k_{эм}$ – коэффициент эманирования радона.

Понимание механизмов переноса радона из почвы в здания и сооружения имеет первостепенное значение для правильной интерпретации результатов краткосрочных измерений радона в помещениях и эффективной разработки систем снижения уровней радона. На данный момент считается установленным, что поступление радона в здания и сооружения обусловлено комбинацией конвективного и диффузионного механизмов:

$$S_{Rn}(t) = S_D + S_A(t, DP),$$

где S_D – диффузионное поступление радона;

$S_A(t, DP)$ – конвективное поступление радона.

Диффузионное поступление обусловлено градиентом объемной активности (концентрации) радона по глубине коренных пород, которая изменяется от сотен кБк/м³ на глубине нескольких метров до 10 – 20 Бк/м³ в приземном слое атмосферы [10]

$$S_D = P_{ст} A_{нг} + P_{фунд} A_{внут},$$

где $P_{ст}$ и $P_{фунд}$ – площадь стен и основания фундамента соответственно, м²;

$A_{нг}$ и $A_{внут}$ – объемная активность радона в почвенном воздухе и на внутренней стороне плиты основания фундамента, м².

Конвективное поступление радона вызвано наличием разности давлений между внутренним объемом здания и внешней атмосферой. Если температура воздуха в помещении выше, чем снаружи, возникает подъемная сила, приводящая к движению воздуха в верхнюю часть здания. Направление и сила ветра, геометрия зданий и плотность застройки, создающие локальные потоки радона, играют второстепенную роль [11; 12]

$$S_A(t, DP) = A_{нг} \times (Q_s(DP) + q(t)),$$

где $Q_s(DP)$ – поток радона в здание, вызванный стационарной разностью давлений, Бк/(м³·ч);

$q(t)$ – поток радона в здание, вызванный перепадами атмосферного давления.

При конвективном механизме отмечается рост скорости поступления радона с увеличением разности температур ΔT внутри и снаружи здания, а при диффузионном механизме данные величины не коррелируют между собой.

Учеными ИПЭ УрО РАН Жуковским М.В. и др. предложена методика определения доминирующего типа поступления радона в многоэтажные здания, основанная на изучении зависимости скорости поступления радона от разности температур воздуха внутри и снаружи здания [13; 14]:

$$A_r = \frac{A_\infty S_{\text{нат}} \frac{\Delta T}{T_1} \frac{\dot{u}''}{\dot{u}} + S_D}{S_{\text{нат}}^{\text{эф}} \frac{\Delta T}{T_1} \frac{\dot{u}''}{\dot{u}} + Y_W \frac{\dot{u}''}{\dot{u}}} + A_{\text{атм}}, \quad (2)$$

где ΔT – разность температур внутри и снаружи помещения, К;

$S_{\text{нат}}$ – площадь натекания, м²;

A_∞ – объемная активность радона у основания здания, Бк/м³;

$A_{\text{атм}}$ – объемная активность радона в атмосферном воздухе, Бк/м³;

n – кратность воздухообмена в помещении, ч⁻¹;

X_s , Y_s и Y_w – коэффициенты, характеризующие конструктивные особенности здания.

При доминирующем конвективном механизме поступления радона в помещения первое слагаемое в числителе уравнения (2) намного больше S_D , тогда при увеличении ΔT числитель растет быстрее, чем знаменатель, поэтому ЭРОА радона в здании для зимнего сезона должна быть выше, чем для летнего. Напротив, при доминировании диффузионного механизма числитель не имеет ярко выраженной температурной зависимости, сезонное увеличение ΔT в зимний период приведет к заметному увеличению знаменателя дроби (т.е. к увеличению скорости воздухообмена в здании за счет стек-эффекта) и ЭРОА радона в здании для зимнего сезона будет меньше, чем для летнего.

Жуковским М.В. и др. экспериментально установлено преобладание диффузионного механизма поступления радона в современные многоэтажные здания, построенные по энергосберегающим технологиям [15]. Более высокие уровни радона в них по сравнению со зданиями, построенными ранее, являются следствием снижения кратности воздухообмена и лучшей герметизации помещений.

В работах Гулабянца Л.А. и др. [16-18] также показана доминирующая роль диффузионного механизма распространения радона в почве с формированием потока радона в «активном» слое глубиной до 3,5 м. В предположении, что поступление радона происходит через пол, граничащий с грунтом, а поступления от стен и потолка невелики и постоянны, авторы определяют предельную плотность потока радона от пола, при которой не будет превышен установленный уровень ЭРОА

$$Q_{n,\text{дон}} = \frac{\text{ЭРОА} \times V \times (\lambda_{Rn} + n) - Q_{\text{ст}} \times S_{\text{ст}} \times F}{S_{\text{пол}} \times F}.$$

где V – объем помещения, м³;

F – коэффициент сдвига радиоактивного равновесия между радоном и его ДПР;

$Q_{\text{ст}}$ – поток радона с внутренних поверхностей помещения, Бк/м²;

$S_{\text{ст}}$ – площадь внутренних поверхностей, м²;

$\lambda_{Rn} = 0,00755$ ч⁻¹ – постоянная распада радона.

В работах Цапалова А.А. и др. [19; 20] для описания диффузионного механизма поступления радона в помещения используется нестационарное уравнение баланса объемной активности (ОА) радона в закрытом помещении

$$\frac{dA(t)}{dt} = j + n \times A_{\text{атм}} - n \times A(t) - \lambda_{Rn} \times A(t), \quad (3)$$

где $A(t)$ – объемная активность радона в момент времени t , Бк/м³;

j – суммарная скорость поступления радона от всех (кроме наружного воздуха) источников, Бк/(м³·ч).

Решение (3) авторы представляют в виде

$$A = \frac{j}{n} + A_{атм}.$$

Поскольку кратность воздухообмена является промежуточным фактором, то непосредственная связь между среднегодовой ОА и разностью температур внутреннего и наружного воздуха ΔT авторы выражают соотношением

$$A_{ср} = \frac{A_{изм}}{f_{OA}(x) + 1},$$

в котором параметр x определяется по формуле

$$x = \frac{T_{внут} - T_{наруж}}{T_{ср\ внут} - T_{ср\ наруж}} - 1,$$

а сама функция $f_{OA}(x)$ построена по результатам многолетних исследований.

При конвективном механизме переноса радон поступает в верхние этажи здания из подвальных помещений. Скорость конвективного поступления радона в помещения может быть найдена по формуле

$$S_C = \frac{A_C \cdot \Delta P}{R_C \cdot V},$$

где A_C – концентрация радона в конвективном потоке воздуха, Бк/м³;

ΔP – разность давлений, которой обусловлен конвективный поток, Па;

R_C – общее сопротивление конструкции здания поступлению конвективного потока воздуха, Па·ч/м³.

Модель конвективного поступления радона [21], используемая в Финском Центре радиационной и ядерной безопасности для изучения сезонных вариаций уровней радона, связывает разность давлений и разность температур воздуха внутри и снаружи помещения

$$\Delta P = \rho_0 g H \frac{T_{внут} - T_{нар}}{T_{внут}},$$

где ρ_0 – плотность воздуха при нормальном давлении, кг/м³;

$g = 9,82$ м/с² – ускорение свободного падения;

H – высота нейтрального уровня, на которой достигается равенство давлений внутри и снаружи здания, м.

В работе [22] скорость конвективного поступления радона, вызванного стек-эффектом, описывается формулой

$$S_C = \frac{A_C S_{нат}^{Rn} n_0}{V} \times \frac{g}{e} \frac{T_{внут} - T_{нар}}{T_{внут}} \times \frac{gh}{P_0} \frac{\delta^{n_r}}{\delta},$$

где h – высота здания, м;

v_0 – скорость инфильтрации воздуха, м/с;

$S_{нат}^{Rn}$ – площадь натекания радона, м²;

n_r – характеристика мест инфильтрации и эксфильтрации воздуха в здании.

Существенное влияние на интенсивность поступления радона в здания и сооружения оказывают климатические условия. В [23] экспериментально определено, что изменение влажности почвы влияет на сезонные колебания концентрации радона не только в почвенном воздухе, но и в воздухе внутри зданий и сооружений. Повышенная влажность почвы осенью и весной (после таяния снега) увеличивает концентрацию почвенного радона на 10 – 20%.

Промерзание почвы и снежный покров также препятствуют выходу радона из почвы в атмосферу, приводя к накоплению его в основании здания. В [24] увеличение ОА почвенного радона в зимнее время авторы объясняют установлением непроницаемого экрана на дневной поверх-

ности, а в [25] отмечено снижение в 1,5 – 2 раза значений ППР с поверхности почвы в зимний период по сравнению с летним.

В работе Климшина А.В. и др. предложена математическая модель для оценки влияния промерзания на значения ОА и ППР, использующая уравнение диффузии радона в пористой среде [26]

$$h \frac{\partial A(z,t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial D(z,t)}{\partial z} \right) \frac{\partial A(z,t)}{\partial z} - \lambda_{Rn} h A(z,t) + Q,$$

В основе модели лежит предположение не о непроницаемом экране, а о частичном уменьшении коэффициента диффузии радона $D(z, t)$ в промерзающем слое грунтов

$$D(z,t) = D_1 - (D_2 - D_1) \chi(z - h(t)),$$

где D_1 и D_2 – коэффициенты диффузии радона в грунте до и после промерзания, m^2/c ;

$\chi(z)$ – функция Хевисайда;

Глубина промерзания грунта $h(t)$ при этом аппроксимируется соотношением

$$h(t) = \frac{h_{max} \sqrt{t}}{T} (c(t) - c(t - T)) + h_{max} c(t - T),$$

где T – время установления максимальной глубины промерзания.

Залповый механизм поступления радона в искусственные сооружения, при котором в достаточно короткий промежуток времени происходит значительное увеличение активности внутреннего радона, отмечен в работе А.И. Андреева и др. [27, 28]. Причиной подобного поступления радона авторы посчитали сейсмическую активность Дальневосточного региона на момент проведения исследований.

В данной работе изучение динамики поступления радона проводилось в Луганском государственном университете имени Тараса Шевченко и включало 4 цикла ежечасных измерений ЭРОА на протяжении семи суток в период положительных (июль и октябрь) и отрицательных (ноябрь) температур, а также в период резкого похолодания (декабрь) с выпадением снежного покрова толщины 40 см. Измерения выполнялись в «закрытой» лаборатории цокольного этажа и в служебном помещении пятого этажа (переход из активного режима в стационарный) учебного корпуса радиометром ДПР радона «АТЛЕШ-1м», предназначенным для экспрессных, квазиинтегральных и интегральных измерений ЭРОА радона аспирационным методом.

Для нижнего этажа чаще всего наблюдался ярко выраженный максимум ЭРОА (один за сутки) и чередование выступов и провалов меньшей величины (рис. 1, а), что считаем возможным трактовать как залповый механизм поступления. Максимумы регистрировались в произвольное время суток, то есть изменения ЭРОА не повторяли циклических изменений разности температур внутри и снаружи здания. В то же время, на верхнем этаже отмечен процесс с выходом на насыщение (рис. 1, б). то есть диффузионный характер поступления радона.

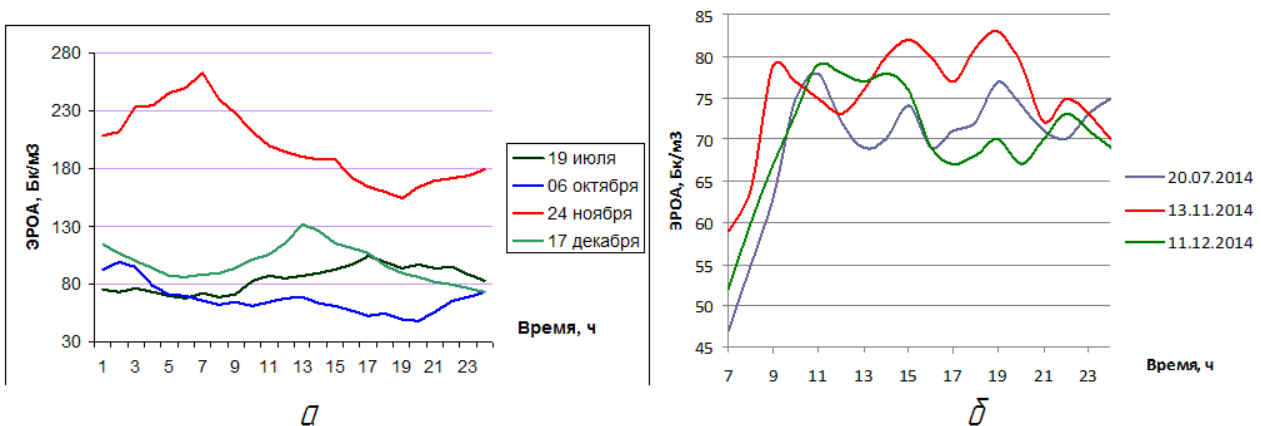


Рисунок 1 – Вариации уровней радона в помещениях: а – цокольный этаж; б – верхний этаж

В результате статистической обработки экспериментальных данных по всем циклам измерений коэффициент парной корреляции между ЭРОА радона и разностью температур воздуха внутри и снаружи здания составил

$$r_{ЭРОА-T} = -0,875.$$

Однако аналогичные коэффициенты, рассчитанные отдельно по каждому из четырех циклов измерений были существенно ниже (-0,15...-0,25), вследствие чего можно предположить, что более высокие концентрации радона в зданиях в зимнее время не обязательно обусловлены доминированием конвективного механизма поступления радона.

Резкое падение уровней радона было отмечено при исследованиях динамики поступления в учебном корпусе обособленного подразделения университета, расположенном в другом районе города (рис. 2, а). Измерения проводились в «закрытом» помещении цокольного этажа в с 10 по 17 марта 2015 г. с периодичностью в два часа. На рис. 2, б показано изменение среднесуточной температуры в Луганске, на протяжении более двух месяцев температура находилась в отрицательной области, а после 22.02.2015 г. в отрицательную область температура более не опускалась. Сопоставление рисунков 2, а и 2, б показывает, что промерзание грунта играет достаточно важную роль в формировании уровней радона в зданиях и сооружениях.

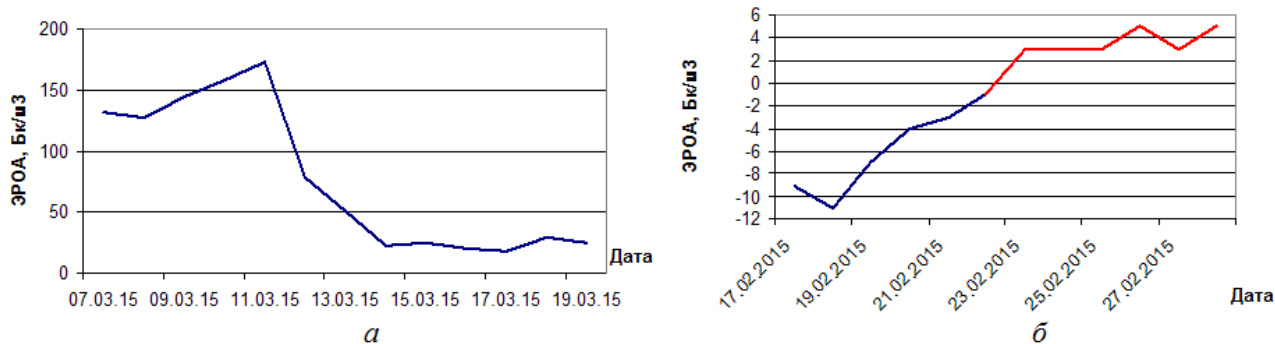


Рисунок 2 – Вариации уровней радона в помещениях: а – цокольный этаж; б – верхний этаж

Можно предположить, что при переходе в область отрицательных атмосферных температур и промерзании грунта частично перекрываются пути выхода радона из почвы в атмосферу, то есть существенно снижается ее радонопроницаемость. В то же время глубина промерзания грунта, непосредственно контактирующего с фундаментом здания, существенно меньше. Как следствие, увеличивается радоновая нагрузка на подземные ограждающие конструкции здания, а значит – интенсивность поступления радона внутрь сооружений. Сама интенсивность поступления может определяться конструкцией и состоянием фундамента здания, типом и влажностью почвы на момент наступления отрицательных климатических температур и т.д.

Проведенные исследования показали, что в формировании уровней радона в зданиях и сооружениях одновременно принимают участие все три механизма поступления:

- «залповый» механизм – характерен только для этажей, непосредственно контактирующих с грунтовым основанием зданий, в его основе процессы, протекающие в геологическом пространстве под зданием;
- диффузионный механизм – имеет место на всех этажах зданий и сооружений, также обеспечивает поступление радона из грунтового основания в помещения нижних этажей;
- конвективный механизм – обеспечивает распространение радона по всему зданию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теличенко, В.И. Управление экологической безопасностью строительства. Системный подход [Текст] // Управление и экспертирование недвижимости. Международный научно-технический журнал. – № 1. – 2011. – С. 23 – 27.
2. Гулябянц, Л.А. Роль радона в сфере жизнедеятельности человека [Текст] // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – № 4. – 2013. – С. 78 – 82.
3. Калайдо, А.В. Облучение радоном в эксплуатируемых многоэтажных зданиях [Текст] // Строительство и реконструкция. – № 5 (61). – 2015. – С. 56 – 62.
4. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99): Гигиенические нормативы СП 2.6.1.758-99. – М.: Центр санитарно-эпидемиологического нормирования гигиенической сертификации и экспертизы Минздрава России, 1999. – 116 с.
5. Заболотский, Б.Ю. Исследование радоноопасности грунтовых оснований зданий и территории застройки. Автореф. канд. дис. – М. НИИСФ, 2005. – 25 с.
6. Микляев, П.С. Проблемы определения радоноопасности территории Москвы [Текст] / П.С. Микляев, Ю.А. Баннов, Т.Б. Петрова, А.В. Томашев // Материалы конф. «Сергеевские чтения». – М.: ГЕОС. 2006. С. 187 – 190.
7. Дорожко, А.Л. Природный радон: проблемы и решения [Текст] // Разведка и охрана недр. – 2010. – № 8. С. 50 – 56.
8. Ярмошенко, И.В. Проблемы оптимизации защиты от радона и введения референтного уровня в Российской Федерации [Текст] / И.В. Ярмошенко, А.Д. Онищенко, М.В. Жуковский // Радиационная гигиена. 2014. – Т.7. № 4. С. 67 – 71.
9. Кулиева, Г.А. Некоторые сложности радиационного контроля в строительном деле [Текст] / Г.А. Кулиева, В.В. Глебов // Вестник МГСУ, 2013. - № 8. – С. 104-109.
10. Гулябянц, Л.А. Определение радоновой нагрузки на подземные ограждающие конструкции здания [Текст] / Л.А. Гулябянц, М.И. Лившиц, С.В. Медведев // Academia. Архитектура и строительство. – 2016. – № 1. С. 122 – 128.
11. Кургуз, С.А. Влияние физических свойств радона на его распределение внутри зданий и помещений [Текст] // Радиоэкология XXI века: материалы междунар. науч.-практ. Конф., Красноярск, 14 – 16 мая 2012. – Красноярск: СФУ, 2012. – С.145-150.
12. Sherman M.H. Single-Zone Stack Dominated Infiltration Modelling. Lawrence Berkeley National Laboratory, 1998. LBL-30147.
13. Жуковский, М.В., Васильев, А.В. Способ определения доминирующего механизма поступления радона в помещение [Текст] / Заявка: 2011142707/28, 21.10.2011. RU 2508526 С2.
14. Васильев, А.В. Проблема облучения радоном в современных многоэтажных зданиях [Текст] // Строительство и реконструкция, 2014. – № 4 (54). – С. 37-44.
15. Vasilyev A.V., Yarmoshenko I.V., Zhukovsky M.V. Low air exchange rate causes high indoor radon concentration in energy-efficient buildings. Radiat Prot Dosimetry, 2015. – № 164 (4). – Pp. 601-605.
16. Гулябянц, Л.А. Новый подход к решению проблемы защиты зданий от радона [Текст] // Вестник МГСУ, 2011. Т. 2, № 3. – С. 3-8.
17. Гулябянц, Л.А. Принцип построения новых норм проектирования противорадоновой защиты зданий [Текст] / Л.А. Гулябянц // Благоприятная среда жизнедеятельности человека. Строительные науки. – 2009. – № 5. С. 461 – 467.
18. Гулябянц, Л.А. Мощность «активного» слоя грунта при диффузионном переносе в грунтовом основании здания / Л.А. Гулябянц, Б.Ю. Заболотский // АНРИ. – 2001. – №4. – С. 38-40.
19. Цапалов, А.А. Зависимость объемной активности радона в помещениях от разности внутренней и наружной температур воздуха [Текст] / А.А. Цапалов, С.И. Кувшинников // АНРИ. – 2008. – № 2(53). – С. 37-43.
20. Цапалов, А.А. Оценка среднегодового уровня ЭРОА радона в помещениях на основе результатов краткосрочных измерений радиометром «АльфаАЭРО» [Текст] // АНРИ. – 2008. – № 3(54). С. 49 – 58.
21. Бондаренко, В.М. Перенос радона в горном массиве под воздействием временных вариаций температуры и давления приземного слоя атмосферы [Текст] / В.М. Бондаренко, Н.В. Демин // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка, 2014. – № 3. – С. 52-56.
22. Sherman M.H. Simplified Modeling for Infiltration and Radon Entry. Lawrence Berkeley National Laboratory, 1998 г. LBL-31305.
23. Arvela H., Holmgren O., Hänninen P. Effect of soil moisture on seasonal variation in indoor radon concentration: modelling and measurements in 326 Finnish houses. Radiat Prot Dosimetry, 2016. – № 168 (2). Pp. 277-290.
24. Микляев, П.С. Механизмы формирования потока радона с поверхности почв и подходы к оценке радоноопасности селитебных территорий / П.С. Микляев, Т.Б. Петрова // АНРИ. 2007. – № 2. С. 2-16.
25. Гулябянц, Л.А. Сезонная вариация потока радона из грунта и оценка радоноопасности площади застройки / Л.А. Гулябянц, Б.Ю. Заболотский // АНРИ, 2004. – № 4. – С. 46-50.
26. Климшин, А.В. Влияние промерзания поверхностного слоя грунтов на перенос радона / А.В. Климшин, И.А. Козлова, Е.Н. Рыбаков, М.Ю. Луковской // Вестник КРАУНЦ. Науки о земле. 2010. № 2. выпуск № 16. С. 146-151.
27. Андреев, А.И. Радон как индикатор сейсмогеодинамической активности [Текст] / А.И. Андреев, А.А. Коковкин, М.Б. Медведева // Безопасность в техносфере, 2011. – № 5. – С. 8-13.
28. Андреев, А.И. Экспериментальные исследования динамики поступления радона в служебные помещения [Текст] / А.И. Андреев, М.Б. Медведева // Вестник ТОГУ. Физико-математические науки. – 2011. – № 3 (22). С. 37-45.

Бакаева Наталья Владимировна

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск
Доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой экспертизы и управления недвижимостью,
горного дела
E-mail: natbak@mail.ru

Калайдо Александр Витальевич

ГОУ ВПО «Луганский государственный университет имени Тараса Шевченко», г. Луганск
Старший преподаватель кафедры БЖД, охраны труда и гражданской защиты
E-mail: kalaydo18@mail.ru

N. BAKAEVA, A. KALAYDO

ABOUT THE RADON TRANSPORT MECHANISMS INTO THE BUILDINGS

At the present time natural radiation sources represents about 80 % of the total annual dose from all sources. The three most important components of natural radiation exposure are cosmic radiation, terrestrial radioactivity and indoor radon. Indoor radon exposure being the most variable and also the largest contributor to dose for most people. Radon and its progeny create from 50 to 90% of the annual individual dose of an, and so many science works dedicated to radon safety. The great number of involved parameters and processes affecting the emanation of radon from the soil grains and its transport in buildings is the main problem. The experimental material about radon transport mechanisms presents in this article.

Keywords: radon, progeny, equivalent equilibrium radon concentration (EERC), convection, diffusion, volley mechanism

BIBLIOGRAPHY

1. Telichenko, V.I. Upravleniye ekologicheskoy bezopasnost'yu stroitel'stva. Sistemnyy podkhod [Tekst] // Upravleniye i ekspertirovaniye nedvizhimosti. Mezhdunarodnyy nauchno-tekhnicheskiy zhurnal. - № 1. - 2011. - S. 23 - 27.
2. Gulabyants, L.A. Rol' radona v sfere zhiznedeyatel'nosti cheloveka [Tekst] // Biosfernaya sovместimost': chelovek, region, tekhnologii. - № 4. - 2013. - S. 78 - 82.
3. Kalaydo, A.V. Oblucheniye radonom v ekspluatiruyemykh mnogoetazhnykh zdaniyakh [Tekst] //
4. Normy radiatsionnoy bezopasnosti (NRB-99): Gigiyenicheskiye normativy SP 2.6.1.758-99. - M.: Tsentr sanitarno-epidemiologicheskogo normirovaniya i gigiyenicheskoy sertifikatsii EKSPERTIZY minzdrava Rossii, 1999. - 116 s.
5. Zabolotskiy, B.YU. Issledovaniye radonopasnosti gruntovykh osnovaniy zdaniy i territorii zastroyki. Avtoref. kand. dis. - M. NIISF, 2005. - 25 s.
6. Miklyayev, P.S. Problemy opredeleniya radonopasnosti territorii Moskvy [Tekst] / P.S. Miklyayev, YU.A. Bannov, T.B. Petrova, A.V. Tomashev // Materialy konf. «Sergeyevskiyechteniya». - M.: GEOS. 2006. S. 187 - 190.
7. Dorozhko, A.L. Prirodnyy radon: problemy i resheniya [Tekst] // Razvedka i okhrana nedr. - 2010. - № 8. S. 50 - 56.
8. Yarmoshenko, I.V. Problemy optimizatsii zashchity ot radona i vvedeniya referentnogo urovnya v Rossiyskoy Federatsii [Tekst] / I.V. Yarmoshenko, A.D. Onishchenko, M.V. // Zhukovskiy Radiatsionnaya gigiyena. 2014 g. - T.7. № 4. S. 67 - 71.
9. Kuliyeva, G.A. Nekotoryye slozhnosti radiatsionnogo kontrolya v stroitel'nom dele [Tekst] / G.A. Kuliyeva, V.V. Glebov // Vestnik MGSU, 2013. - № 8. - S. 104-109.
10. Gulabyants, L.A. Opredeleniye radonovoy nagruzki na podzemnyye ograzhdayushchiye konstruksii zdaniya [Tekst] / L.A. Gulabyants, M.I. Livshits, S.V. // Academia Medvedev. Arkhitektura i stroitel'stvo. - 2016. - № 1. S. 122 - 128.
11. Kurguz, S.A. Vliyaniye fizicheskikh svoystv radona na yego raspredeleniye vntri zdaniy i pomeshcheniy [Tekst] // Radioekologiya XXI veka: materialy mezhdunar. nauch.-prakt. Konf, Krasnoyarsk, 14 - 16 maya 2012 goda - Krasnoyarsk.: SFU, 2012. - S.145-150.
12. Sherman M.H. Odnozonal'nykh Stek Dominiruyut infil'tratsii Modelirovaniye. Natsional'naya laboratoriya Lourensa v Berkli, 1998. LBL-30147.
13. Zhukovskiy, M.V., Vasil'yev, A.V. Sposob opredeleniya dominiruyushchego mekhanizma postupleniya radona v pomeshcheniye [Tekst] / Zayavka: 2011142707/28, 21.10.2011. RU 2508526 S2.

14. Vasil'yev, A.V. Problema oblucheniya radonom v sovremennykh mnogoetazhnykh zdaniyakh [Tekst] // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya 2014 g. - № 4 (54). - S. 37-44.
15. Vasil'yev A.V, Yarmoshenko KHV, Zhukovskiy M.V. Nizkaya skorost' obmena vozdukha v pomeshchenii privodit k vysokoy kontsentratsii radona v energoeffektivnykh zdaniyakh. Radiat Prot dozimetrii, 2015. - № 164 (4). - Rr. 601-605.
16. Gulabyants, L.A. Novyy podkhod k resheniyu problemy zashchity zdaniy ot radona [Tekst] // Vestnik MGSU, 2011. T. 2, № 3. - S. 3-8.
17. Gulabyants, L.A. Printsip postroyeniya novykh norm proyektirovaniya protivoradonovoy zashchity zdaniy [Tekst] / L.A. Gulabyants // Blagopriyatnaya sreda zhiznedeyatel'nosti cheloveka. Stroitel'nyye nauki. - 2009. - № 5. S. 461 - 467.
18. Gulabyants, L.A. Moshchnost' «aktivnogo» sloya grunta pri diffuzionnom perenose v gruntovom osnovanii zdaniya / L.A. Gulabyants, B.YU. Zabolotskiy // ANRI. - 2001. - №4. - S. 38-40.
19. Tsapalov, A.A. Zavisimost' ob'yemnoy aktivnosti radona v pomeshcheniyakh ot raznosti vnutrenney i naruzhnoy temperatury vozdukha [Tekst] / A.A. Tsapalov, S.I. Kuvshinnikov // ANRI. - 2008. - № 2 (53). - S. 37-43.
20. Tsapalov, A.A. Otsenka srednegodovogo urovnya EROA radona v pomeshcheniyakh na osnove rezul'tatov kratkosrochnykh izmereniy radiometrom «Al'faAERO» [Tekst] // ANRI. - 2008. - № 3 (54). S. 49 - 58.
21. Bondarenko, V.M. Perenos radona v gornom massive pod vozdeystviyem vremennykh variatsiy temperatury i davleniya prizemnogo sloya atmosfery [Tekst] / V.M. Bondarenko, N.V. Demin // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka, 2014 g. - № 3. - S. 52-56.
22. Sherman M.H. Uproshchennaya modelirovaniye dlya infil'tratsii i Radon zapis'. Natsional'noy laboratorii Lorensa Berkli, 1998 g. LBL-31305.
23. Arvela N., Gol'mgren O., Khanninen R. Vliyaniye vlazhnosti pochvy na sezonnyye kolebaniya kontsentratsii radona vnutri pomeshcheniy: modelirovaniya i izmereniy v 326 finskikh domov. Radiat Prot dozimetrii, 2016. - № 168 (2). Rr. 277-290.
24. Miklyayev, P.S. Mekhanizmy formirovaniya potoka radona s poverkhnosti pochv i podkhody k otsenke radonopasnosti selitebnykh territoriy / P.S. Miklyayev, T.B. Petrova // ANRI. 2007. - № 2. S. 2-16.
25. Gulabyants, L.A. Sezonnaya variatsiya potoka radona iz grunta i otsenka radonopasnosti ploshchadi zastroyki / L.A. Gulabyants, B.YU. Zabolotskiy // ANRI, 2004. - № 4. - S. 46-50.
26. Klimshin, A.V. Vliyaniye promerzaniya poverkhnostnogo sloya gruntov na perenos radona / A.V. Klimshin, I.A. Kozlova, Ye.N. Rybakov, M.YU. Lukovskoy // Vestnik KRAUNTS. Nauki o zemle. 2010. № 2. vypusk № 16. S. 146-151.
27. Andreyev, A.I. Radon kak indikator seysmogeodinamicheskoy aktivnosti [Tekst] / A.I. Andreyev, A.A. Korkovkin, M.B. // Medvedeva Bezopasnost' v tekhnosfere, 2011. - № 5. - S. 8-13.
28. Andreyev, A.I. Eksperimental'nyye issledovaniya dinamiki postupleniya radona v sluzhebnyye pomeshcheniya [Tekst] / A.I. Andreyev, M.B. // Medvedeva Vestnik TOGU. Fiziko-matematicheskiye nauki. - 2011. - № 3 (22). S. 37-45.

N. Bakaeva

Southwest State University, Kursk

Doctor Tech. Sci., professor, head of the Department of examination and management of real estate, mining

E-mail: natbak@mail.ru

A. Kalaydo

Luhansk Taras Shevchenko State University, Luhansk

Senior lecturer of the department of BC, labour protection and civil defense

E-mail: kalaydo18@mail.ru

КЛЮЕВА Н.В., ДМИТРИЕВА К.О.

ВОПРОСЫ УСТОЙЧИВОСТИ СТЕРЖНЕВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКТИВНЫХ СИСТЕМ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ РАЗЛИЧНЫХ ПОРОД ПРИ СИЛОВОМ И СРЕДОВОМ НАГРУЖЕНИИ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОЙ ВЛАЖНОСТИ

Приведены результаты исследований устойчивости нагруженных стержневых конструктивных систем, выполненных из древесины, в условиях стесненной бифуркации. Особенностью этих исследований является то, что анализ устойчивости несущих элементов выполняется с учетом реологических свойств древесины, переменной влажности и влияния соседних элементов конструктивной системы. Учет этих факторов оказывает существенное влияние на количественное значение критической силы и формы потери устойчивости несущих элементов.

Получены аналитические зависимости для определения изменения форм потери устойчивости стоек рассматриваемой конструкции рамы и выполнен их анализ. На основе результатов анализа численных исследований сделан вывод о том, что для применения в условиях повышенной влажности наиболее эффективны элементы из хвойных пород деревьев, в которых в этих условиях происходит наименьшее снижение критической силы, чем в стержнях из других пород дерева.

Ключевые слова: стержень из древесины, длительная прочность, влажность, устойчивость, критическая сила, конструктивная система, активная и пассивная бифуркация.

Известно, что причиной потери устойчивости всей конструктивной системы часто является один элемент или их небольшая группа. В этой связи, важным вопросом в решении задач устойчивости конструктивных систем является выявление наиболее опасных элементов или частей конструкции с низкой сопротивляемостью потере устойчивости. Исследованию деформирования стержней, в том числе в условиях стесненной бифуркации и установлению критерия вида бифуркации стержня (стесненной или принужденной) или какой-либо части конструктивной системы посвящены работы Г.А. Гениева [13], Травуша В.И. [3, 7, 11, 12, 14, 15, 21], К.П. Пятикрестовского [23], Александрова А.В. [1-3], В.А. Гордона [29], С.И. Трушина [28], Перельмутера А.В. [8], Матвеева А.В. [4-6]. Разработке прикладных методов расчета для исследования живучести нелинейно-деформируемых железобетонных рамно-стержневых систем в запредельных состояниях при внезапной потере устойчивости одного из несущих элементов посвящены работы В.М. Бондаренко [18], Р.С. Санжаровского [16, 17], В.И. Колчунова [10, 24-26], Ключевой Н.В. [22, 25], Прасолова Н.О. [22], Кожариновой Л.В. [24]. Исследования живучести стержневых систем при аварийных воздействиях, в том числе вследствие потери устойчивости стержневых конструкций из древесины при силовом нагружении и средовом воздействии до настоящего времени практически отсутствуют. В этой связи изучение деформирования несущих элементов в нагруженных и находящихся в условиях переменной влажности стержневых конструктивных системах из древесины представляет теоретический и практический интерес.

Рассмотрим двухпролетную раму из различных пород древесины, в которой центральная стойка нагружена сосредоточенной силой $P_{кр}$, а крайние стойки нагружены силами $\alpha P_{кр}$ (рис. 1). Для анализа длительной устойчивости указанной рамы принята реологическая модель деформирования материала Кельвина-Фойгта [13, 24]. В соответствии с этой моделью (рис. 2) и следуя [11, 12] длительная прочность древесины может быть определена из выражения:

$$\sigma_{ult} = \frac{R \cdot [-1 \mp \sqrt{1 + 1,7(7) \cdot (1 - 0,913t^{0,38})^2}]}{0,89 \cdot (1 - 0,913t^{0,38})^2}, \quad (1)$$

где σ_{ult} – длительная предельная прочность древесины, R – расчетное сопротивление сжатию древесины, t – время приложения нагрузки.

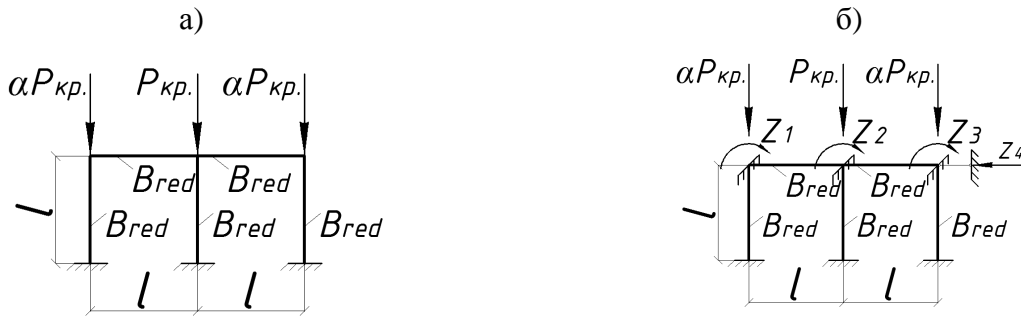


Рисунок 1 - Расчетная схема рама (а) и эквивалентная (б) система при расчете по методу перемещений

Используя эту зависимость и формулу Эйлера, можно записать выражение для определения предельного значения критической силы:

$$P_{кр.} = \frac{v^2 \cdot 2 \cdot I}{l^2 \cdot \sigma_{ult} \cdot \varepsilon_{ult}} \cdot \frac{[-1 \mp \sqrt{1 + 1,7(7) \cdot (1 - 0,913t^{0,38})^2}]}{0,8(8) \cdot (1 - 0,913t^{0,38})^2} \quad (2)$$

Непосредственное использование уравнения механического состояния материала в решении задач одновременного проявления силового нагружения и средового воздействия обычно не практикуется ввиду его громоздкости. Для этой цели удобно принимать выражения длительного модуля деформации:

$$E_{дл.}(t_0, t) = \frac{\sigma(t)}{\varepsilon(t_0, t)}, \quad (3)$$

где $\sigma(t)$ – напряжения, действующие в момент времени t ; $\varepsilon(t_0, t)$ - относительная деформация к моменту наблюдения t , устанавливаемые с учетом влияния возраста материала, его свойств старения, режима и длительности загрузки.

Значения деформаций в области линейной ползучести древесины при $\sigma = \text{const}$ в соответствии с рекомендациями Ю.М. Иванова [20] могут быть определены:

$$\varepsilon(t) = \varepsilon(t_0) \cdot (1 + b \cdot t^{0,21}), \quad (4)$$

где параметр b зависит от влажности древесины (w) и вычисляется по формуле:

$$b = \frac{10^{-2}}{0,735 - 0,02086 \cdot w}. \quad (5)$$

На основе использованием выражений (1), (3) и (2) получена зависимость для определения предельного значения критической силы в стержне:

$$P_{кр.}(w, t) = \frac{v^2 \cdot I}{l^2 \cdot} \cdot \frac{2 \cdot \sqrt{6 \cdot (1 - 0,913 \cdot t^{0,38})^2 + 2,25} - 1,5}{(1 - 0,913 \cdot t^{0,38})^2 \cdot \varepsilon(t_0) \cdot (1 + b \cdot t^{0,21})}. \quad (6)$$

С использованием полученной аналитической зависимости (6) проведен численный анализ изменения относительного значения критической силы с учетом длительности приложения нагрузки в условиях повышенной влажности ($P_{кр.}(w, t)$) по отношению к критической силе ($\xi = P_{кр.}(w, t)/P_{кр.}$), определяемой при начальном модуле деформации древесины ($P_{кр.}$), для различных пород древесины. Результаты анализа представлены на рисунке 3а, где изменение критической силы для центрально сжатого стержня приведены в координатах « $\xi - t$ ».

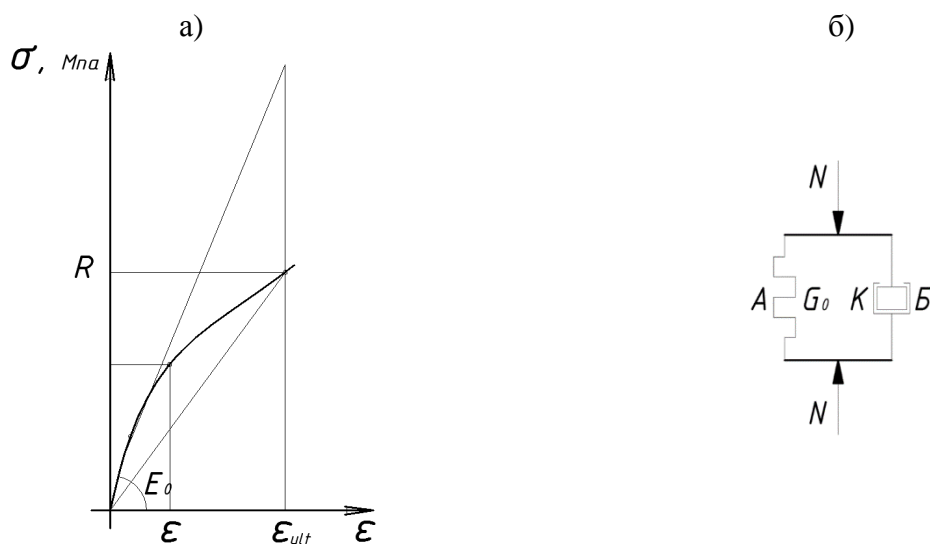


Рисунок 2 – Диаграмма деформирования древесины (а) в соответствии с принятой реологической моделью (б): А, Б – соответственно упругий и вязкий элементы; К – коэффициент вязкости; G_0 - модуль упругости материала

Как видно из этого рисунка у центрально сжатых элементов из сосны, березы и ясеня наблюдается снижение значения критической силы $P_{кр.}$ в течение всего исследуемого периода времени. В целом за период времени 1350 суток, который рассматривался при численном анализе, значение $P_{кр.}$ в элементах из названных пород древесины уменьшилось на 21%, 32% и 45% соответственно. При этом можно отметить, что изменение значения критической силы с учетом длительности приложения нагрузки в условиях повышенной влажности ($P_{кр.}(w, t)$) прямо пропорционально критической силе, определяемой при начальном модуле деформации древесины ($P_{кр.}$). Для сжатых элементов из дуба в течение первых двух месяцев в условиях повышенной влажности наблюдается увеличение значения критической силы на 3,3 % (см. рис. 3а). Далее значения $P_{кр.}$ снижается в течение всего исследуемого периода времени более чем на 40 %.

Как видно из рис. 3б был проведен анализ изменения критической силы сжатого стержня из различных пород при изменении влажности этих стержней в относительных величинах. При этом на оси ординат отложено значение ζ относительной критической силы для центрально сжатых элементов разных пород древесины, приведенной к критической силе центрально сжатого элемента из сосны ($\zeta = ((P_{кр.} - P_{кр.}(w, t))/P_{кр.}) \cdot 100\%$), а по оси абсцисс максимальное изменение критической силы в условиях повышенной влажности для различных пород древесины ($\eta = (P_{кр.} - P_{кр.}^c)/P_{кр.}$).

Как видно из графиков, приведенных на рисунке 3б, изменение критической силы центрально-сжатого стержня из различных пород древесины при длительном приложении нагрузки в условиях повышенной влажности прямо пропорционально значению критической силы, определяемой при начальном модуле деформации древесины и влажности 12% ($P_{кр.}$). Следовательно, при одновременном силовом и средовом нагружении центрально сжатых элементов из древесины влияние такого нагружения в наибольшей степени проявляется для древесины с более высокой прочностью.

В частности, из графика, приведенного на рис. 3б, следует, что в условиях повышенной влажности наименьшее снижение критической силы происходит для хвойных пород древесины. В рассматриваемом случае – для сосны. И наибольшее изменение критической силы наблюдается в стержнях из более прочной древесины. В рассматриваемом случае – из ясеня.

Для сжатых стержней, являющихся элементами конструктивных систем, например, рам (см. рис. 1) при оценке критической силы, как было показано в [12], необходимо учитывать

взаимное влияние несущих элементов. Для этого в процессе расчетного анализа должны быть выявлены наиболее опасные элементы из частей конструкции (колонны, сжатые стержни ферм) с низкой сопротивляемостью потере устойчивости. Расчетный анализ сжатых стержней, выделенных из конструктивной системы, следуя [1-7, 12], необходимо производить на энергетической основе.

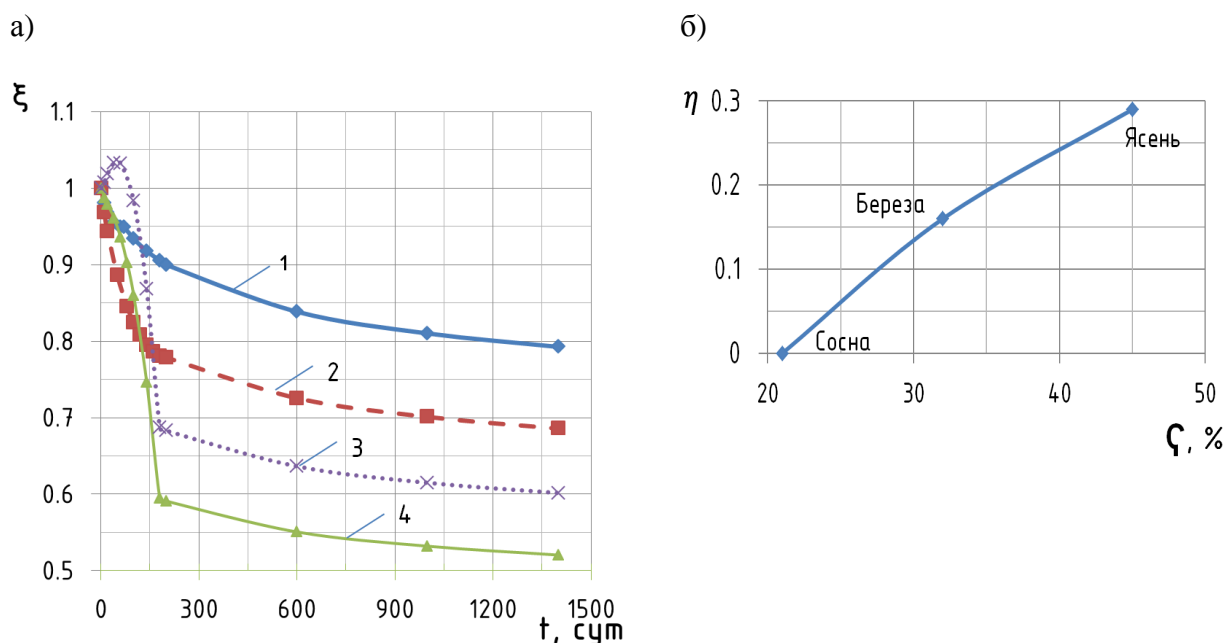


Рисунок 3 - График изменения критической силы центрально-сжатого стержня из древесины во времени в условиях повышенной влажности для различных пород древесины: 1 – сосна, 2 – береза, 3 – дуб, 4 – ясень (а) и в зависимости от значения $P_{кр}$, приведенного к критической силе для центрально сжатых элементов из сосны

Для выделенного из конструктивной системы стержня, например, колонны, можно определить энергию деформирования U_i , добавляющуюся при бифуркации стержня, которая будет равна сумме работ конечных сил и моментов в стержне:

$$U_i = A_i(N) + A_i(M_i, Q_i), \quad (7)$$

где $A_i(N) = N_i \cdot \Delta_i$ – работа продольных сжимающих сил на сближении Δ_i точек A и B от изгиба; $A_i(M_i, Q_i)$ – работа конечных реакций i -го стержня в процессе изгиба. Усилия M_i и Q_i и конечные перемещения находятся из решения задач устойчивости системы.

Критерий $A_i(M_i, Q_i) < 0$ становится признаком активной потери устойчивости стержня в конструктивной системе, т.е. работы одной продольной силы N_i достаточно для компенсации приращения потенциальной энергии деформации стержня U_i и окружения стержня (в виде опорных реакций) для сопротивления его бифуркации. Критерий $A_i(M_i, Q_i) > 0$ становится признаком пассивной потери устойчивости, т.е. окружение стержня помогает его бифуркации.

Вычисление работ конечных моментов и поперечных сил выполним с помощью специальных функций метода перемещения. Принимая за неизвестные углы поворота и смещения узлов Z_1, Z_2, Z_n (см. рис. 1), однородная система уравнений метода перемещений примет вид:

$$r_{ij} \cdot \bar{Z}_l = 0, \quad (i, j = 1, 2, 3, 4); \quad (8)$$

где

$$\begin{aligned}
 r_{11} &= 4 \frac{EI}{l} \varphi_2(v_2) + 4 \frac{EI}{l}; \\
 r_{22} &= 4 \frac{EI}{l} \varphi_2(v_2) + 4 \frac{EI}{l} + 4 \frac{EI}{l}; \\
 r_{33} &= 4 \frac{EI}{l} \varphi_2(v_5) + 4 \frac{EI}{l}; \\
 r_{44} &= -12 \frac{EI}{l^3} \eta_2(v_1) - 12 \frac{EI}{l^3} \eta_2(v_3) - 12 \frac{EI}{l^3} \eta_2(v_5); \\
 r_{12} &= r_{21} = r_{23} = r_{32} = 2 \frac{EI}{l}; \\
 r_{13} &= r_{31} = r_{13} = r_{31} = 0; \\
 r_{14} &= r_{41} = 6 \frac{EI}{l^2} \varphi_4(v_1); \\
 r_{14} &= r_{41} = 6 \frac{EI}{l^2} \varphi_4(v_1); \\
 r_{24} &= r_{42} = 6 \frac{EI}{l^2} \varphi_4(v_3); \\
 r_{34} &= r_{43} = 6 \frac{EI}{l^2} \varphi_4(v_5).
 \end{aligned} \tag{9}$$

В формулах (9):

$$v_i = l \cdot \sqrt{\frac{P}{B}}, \quad (i = 1, 2, 3 \dots n). \tag{10}$$

Детерминант системы уравнений (8) определяется выражением:

$$\begin{aligned}
 & (EI\varphi_2(v_3) + 0,67EI + 0,67EI - 0,33EI \cdot EI\varphi_2(v_5) + 0,67EI + 1 \times \\
 & \times (-0,188EI\eta_2(v_1) - 0,188EI\eta_2(v_3) - 0,188EI\eta_2(v_5) - 0,375EI\varphi_4(v_1)) + \\
 & + (1 \cdot 0,375EI\varphi_4(v_5) \cdot 0,375EI\varphi_4(v_3) - 0,375EI\varphi_4(v_1)) + \\
 & + (0,33EI \cdot 1 \cdot 0,375EI\varphi_4(v_3) - 0,33EI) - (0,375EI\varphi_4(v_3) - \\
 & - 0,33EI \cdot EI\varphi_2(v_5) + 0,67EI + 1 \cdot 0,375EI\varphi_4(v_3) - 0,375EI\varphi_4(v_1)) - \\
 & - (1 \cdot 0,33EI \cdot (-0,188EI\eta_2(v_1) - 0,188EI\eta_2(v_3) - 0,188EI\eta_2(v_5) - \\
 & - 0,375EI\varphi_4(v_1)) - (0,375EI\varphi_4(v_5) \cdot 1 \cdot EI\varphi_2(v_3) + \\
 & + 0,67EI + 0,67EI - 0,33EI) = 0.
 \end{aligned} \tag{11}$$

Коэффициенты векового уравнения $v_{i_{кр}}$ для задачи анализа устойчивости элементов конструктивной системы из древесины при приложении нагрузки и изменении влажности, при которых в конструктивной системе возможен переход от пассивной бифуркации к активной вычисляются по формуле:

$$v_{i_{кр}} = l \cdot \sqrt{\frac{P}{B_{red}(w, t)}}. \tag{12}$$

С использованием критерия (12) для рассматриваемой рамы было определено изменение формы потери устойчивости стоек при различных значениях параметра нагрузки ($\alpha=0,5$; $\alpha = 0,6$; $\alpha = 0,7$; $\alpha = 0,8$; $\alpha = 0,9$) в условиях повышенной влажности для элементов из различных пород древесины. Поскольку отношение квадратов критического и начального (при начальной жёсткости) параметров векового уравнения обратно пропорционально отношению соответствующих жесткостей, то было найдено значение приведенной переменной во времени (t) и влажности (w) сечения стержня, при которой возможен переход от пассивной бифуркации к активной. Результаты такого расчета представлены на рис. 4.

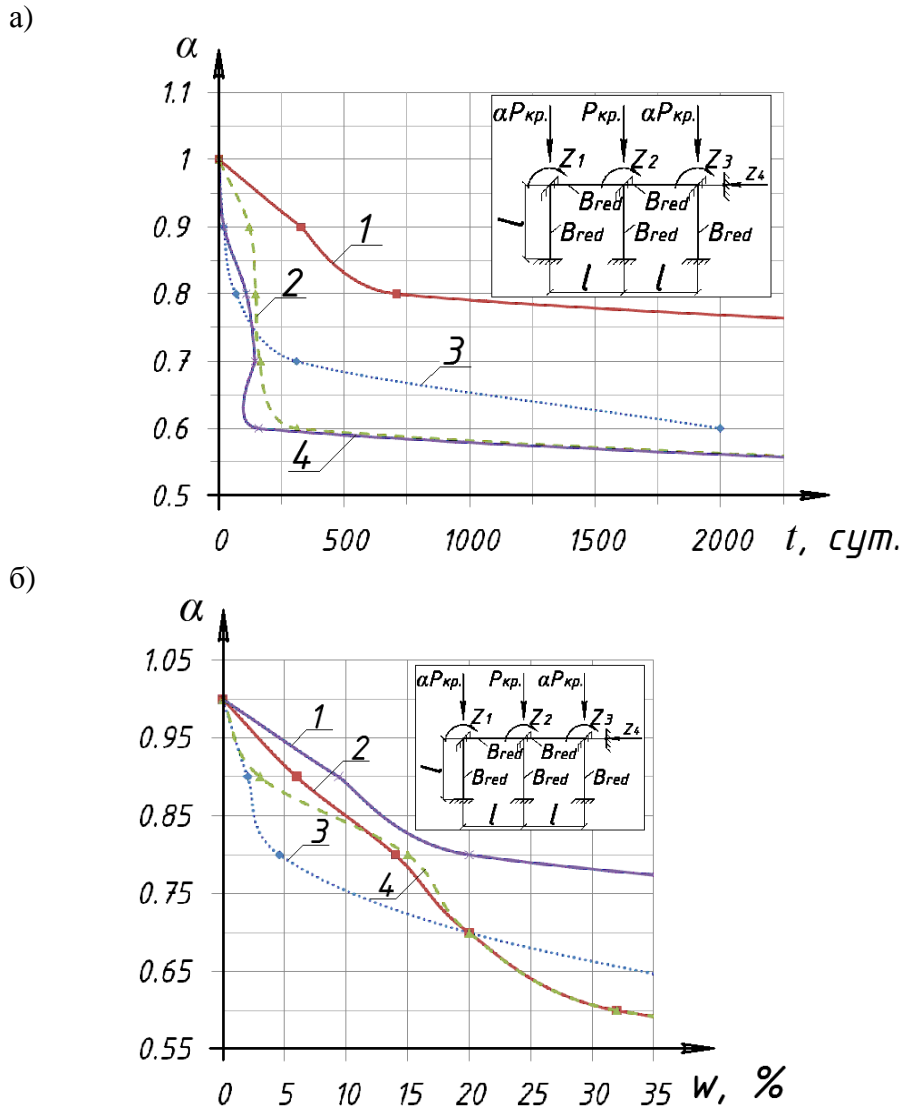


Рисунок 4 - Изменение формы потери крайних левой стоек рамы при различных значениях параметра α в зависимости от времени нагружения в условиях повышенной влажности (а) и при варьировании влажности (б) для различных пород древесины: 1 – сосна, 2 – дуб, 3 – береза, 4 – ясень

Из рисунка 4 видно, что режимное нагружение рамы во времени, уменьшающее величину критической силы, при которой происходит потеря устойчивости крайних стоек, также существенно зависит от породы древесины, из которой выполнена рассматриваемая рама.

При этом повышенная влажность древесины по-разному сказывается на устойчивости стержней из различных пород (см. рис. 4а, кривые 1-4). Этот вывод также подтверждается графиком параметра нагрузки α для различных пород древесины при изменении влажности (см. рис. 4б).

Общий вывод: результаты проведенных численных исследований устойчивости нагруженных сжатых деревянных стержней и стержней как элементов конструктивных систем в условиях стесненной бифуркации с учетом реологических свойств древесины и переменной влажности показал, что элементы из более высокопрочных сортов древесины в условиях повышенной влажности в большей степени теряют сопротивляемость силовому нагружению во времени, чем сжатые элементы из более слабых пород древесины. Это следует учитывать при оценке эффективности различных пород дерева в качестве элементов конструктивных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров, А.В. Критерии выявления наиболее опасных элементов и их использование в задачах устойчивости конструкций [Текст] / А.В. Александров, А.В. Матвеев // Четвертая научно-практическая конференция «Безопасность движения поездов». Труды. - М.: МИИТ. – 2003. - С. III-1 - III-2.
2. Александров, А.В. Роль отдельных элементов стержневой системы при потере устойчивости [Текст] // Вестник МИИТа. Научно-технический журнал. - 2001. – Вып. 5. - С. 46-55.
3. Александров, А.В. О расчете стержневых конструкций на устойчивость [Текст] / А.В. Александров, В.И. Травуш, А.В. Матвеев // Промышленное и гражданское строительство. – 2002. - №3. – С.16-20.
4. Матвеев, А.В. Некоторые вопросы создания специализированного программного комплекса для анализа мостовых конструкций [Текст] // Вестник МИИТа. Научно-технический журнал. – 2002. – Вып. 7. - С. 76-83.
5. Матвеев, А.В. Матрица жесткости элемента естественно закрученного стержня [Текст] // Вестник МИИТа. Научно-технический журнал. - 2002. – Вып. 7. - С. 94-99.
6. Матвеев, А.В. Возможности реализации в программных комплексах алгоритмов анализа устойчивости сложных конструкций на основе критериев поиска опасных элементов [Текст] // Вестник МИИТа. Научно-технический журнал. - 2003. – Вып. 7. - С. 103-109.
7. Александров, А.В. Исследование устойчивости конструкций арочного покрытия зала с использованием критериев выявления наиболее опасных элементов [Текст] / А.В. Александров, В.И. Травуш, А.В. Матвеев // Российская академия архитектуры и строительных наук РААСН. – М., 2004. – Вып. 8. - С.14-21.
8. Перельмутер, А.В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа [Текст] / А.В. Перельмутер, В.И. Сливкер. – Киев: ВПП «Компас», 2001. – С. 364-369.
9. Клюева, Н.В. Влияние коррозионных повреждений элементов на живучесть железобетонных рамно-стержневых систем [Текст] / Н.В. Клюева, Н.О. Прасолов, В.И. Колчунов // Успехи строительной механики и теории сооружений. 2010. - С. 117-122.
10. Колчунов, В.И. К оценке живучести железобетонных рам при потере устойчивости отдельных элементов [Текст] / В.И. Колчунов, Н.О. Прасолов, М.В. Моргунов // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. - 2007. - №4. - С. 40-44.
11. Травуш, В.И. Устойчивость сжатых стержней из древесины при одновременном проявлении силового и среднего воздействия [Текст] / В.И. Травуш, В.И. Колчунов, К.О. Дмитриева // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. - 2016. - №4. - С. 50-54.
12. Травуш, В.И. Длительная прочность и устойчивость сжатых стержней из древесины [Текст] / В.И. Травуш, В.И. Колчунов, К.О. Дмитриева // Строительство и реконструкция. – 2015. - №5. - С. 40-46.
13. Гениев, Г.А. Вопросы длительной и динамической прочности анизотропных конструктивных материалов [Текст] / Г.А. Гениев, К.П. Пятикрестовский. – М.: ГУП ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, 2000. – 38 с.
14. Пятикрестовский, К.П. Экспериментальные исследования характера НДС фанерных обшивок в составе пространственных конструкций [Текст] / К.П. Пятикрестовский, В.И. Травуш // Строительство и реконструкция. – 2016. - №1(63). – С. 33-39.
15. Пятикрестовский, К.П. О программировании нелинейного метода расчета деревянных конструкций [Текст] / К.П. Пятикрестовский, В.И. Травуш // Academia. Архитектура и строительство. - 2015. - № 2. - С. 115-119.
16. Санжаровский, Р.С. Устойчивость сжатых деревянных конструкций с учетом мгновенной нелинейности и нелинейной ползучести [Текст] / Р.С. Санжаровский, А.С. Вареник, К.А. Вареник // Научное обозрение. – М: 2014. - №8(2). - С.572-575.
17. Санжаровский, Р.С. Нелинейная наследственная теория ползучести [Текст] // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. - 2014.- №1.- С. 63-68.
18. Бондаренко, В.М. К расчету сооружений, меняющих расчетную схему вследствие коррозионных повреждений [Текст] / В.М. Бондаренко, Н.В. Клюева // Известия высших учебных заведений. Строительство. –2008. – №1. – С.4-12.
19. Колчунов, В.И. К вопросу алгоритмизации задач расчета живучести железобетонных рам при потере устойчивости [Текст] / В.И. Колчунов, Н.О. Прасолов, Л.В. Кожаринова, О.А. Ветрова // Строительство и реконструкция. - 2012. – № 6. – С. 28-35.
20. Иванов, Ю.М. Исследования физических свойств древесины (эластичность, воздухопроницаемость, давление набухания) [Текст] / Ю.М. Иванов, В.А. Баженов. - М.: Изд. Ак. наук СССР, 1959. – 75 с.
21. Травуш, В.И. Исследование прочности и устойчивости сжатых стержней из древесины при силовом нагружении и переменной влажности [Текст] / В.И. Травуш, В.И. Колчунов, К.О. Дмитриева // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. - 2016. - № 6 (363). - С. 159-164.
22. Клюева, Н.В. Исследование живучести железобетонных рам при варьировании их топологии [Текст] / Н.В. Клюева, Н.О. Прасолов // Вестник центрального регионального отделения РААСН.– Воронеж-Липецк: 2008. - Вып. 7. - С. 205-208.
23. Пятикрестовский, К.П. Нелинейные методы механики в проектировании современных деревянных конструкций [Текст]: Учеб. для вузов. – М.: МГСУ, 2014.
24. Колчунов, В.И. Влияние коррозионных повреждений отдельных элементов на устойчивость железобетонных рамно-стержневых систем [Текст] / В.И. Колчунов, Л.В. Кожаринова, Н.О. Прасолов, Г.А. Добриков // Вестник отделения строительных наук. – 2010. – Том 1. - С. 107-112.
25. Клюева, Н.В. Влияние коррозионных повреждений элементов на живучесть железобетонных рамно-стержневых систем [Текст] / Н.В. Клюева, Н.О. Прасолов, В.И. Колчунов // Успехи строительной механики и теории сооружений. – 2010. - С. 117-122.

26. Колчунов, В.И. Экспериментально-теоретические исследования живучести железобетонных рам при потере устойчивости отдельного элемента [Текст] / В.И. Колчунов, Л.В. Кожаринова, Н.О. Прасолов // Вестник МГСУ. – 2011. – Том 2, 3. – С. 109-115.
27. Transverse compression behavior of wood in saturated steam at 150-170°C [Text] / Kamke F.A., Kutnar A. // Wood and Fiber Science. - 2010. – Т. 42. - № 3. - С. 377-387.
28. Трушин, С.И. Устойчивость и бифуркации гибких пологих сетчатых оболочек [Текст] / С.И. Трушин, А.В. Михайлов // Вестник НИЦ Строительство. - 2010. - №2. - С. 150-158.
29. Гордон, В.А. К расчету устойчивости эволюционно поврежденного железобетонного элемента с «деградирующими» условиями опирания [Текст] / В.А. Гордон, В.И. Колчунов // Строительная механика и расчет сооружений. - 2006. - №4. - С. 33-36.

Клюева Наталья Витальевна

Юго-Западный государственный университет, г. Курск
Зав. кафедрой «Промышленное и гражданское строительство»
E-mail: klynavit@yandex.ru

Дмитриева Ксения Олеговна

Юго-Западный государственный университет, г. Курск
Преподаватель каф. «Промышленное и гражданское строительство»
E-mail: dko1988@yandex.ru

N. KLYUYEVA, K. DMITRIEVA

ISSUES OF SUSTAINABLE ROD ELEMENTS DESIGN SYSTEMS OF DIFFERENT WOOD SPECIES IN FORCE AND ENVIRONMENTAL LOADING MOISTURE

The results of the stability studies loaded rod structural systems made of wood, in a constrained bifurcation. A feature of these studies is that the analysis of the stability of the carrier elements is performed based on the rheological properties of wood, variable humidity and influence of neighboring elements of the structural system. Consideration of these factors has a significant impact on the quantitative value of the critical forces and buckling load-bearing elements.

Analytical dependence for determining the change in the form of loss of stability of the frame struts considered design and made their analysis. Based on the results of numerical analysis of studies concluded that for use in high humidity conditions, the most effective elements of coniferous trees, which in these conditions there is the smallest reduction of the critical power than in the bars of the other wood.

Keywords: rod of wood, long-term strength, moisture resistance, critical force, structural system of wood, active and passive loss of stability.

BIBLIOGRAPHY

1. Aleksandrov, A.V. Kriterii vyyavleniya naiboleye opasnykh elementov i ikh ispol'zovaniye v zadachakh ustoychivosti konstruktsey [Tekst] / A.V. Aleksandrov, A.V. Matveyev // Chetvertaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Bezopasnost' dvizheniya poyezdov». Trudy. - M.: MIIT. – 2003. - S. III-1 - III-2.
2. Aleksandrov, A.V. Rol' otdel'nykh elementov sterzhnevoy sistemy pri potere ustoychivosti [Tekst] // Vestnik MIITa. Nauchno-tehnicheskij zhurnal. - 2001. – Vyp. 5. - S. 46-55.
3. Aleksandrov, A.V. O raschete sterzhnevnykh konstruktsey na ustoychivost' [Tekst] / A.V. Aleksandrov, V.I. Travush, A.V. Matveyev // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo. – 2002. - №3. – S.16-20.
4. Matveyev, A.V. Nekotoryye voprosy sozdaniya spetsializirovannogo programmnoy kompleksa dlya analiza mostovykh konstruktsey [Tekst] // Vestnik MIITa. Nauchno-tehnicheskij zhurnal. – 2002. – Vyp. 7. - S. 76-83.
5. Matveyev, A.V. Matritsa zhestkosti elementa yestestvenno zakruchennogo sterzhnya [Tekst] // Vestnik MIITa. Nauchno-tehnicheskij zhurnal. - 2002. – Vyp. 7. - S. 94-99.
6. Matveyev, A.V. Vozmozhnosti realizatsii v programmnykh kompleksakh algoritmov analiza ustoychivosti slozhnykh konstruktsey na osnove kriteriyev poiska opasnykh elementov [Tekst] // Vestnik MIITa. Nauchno-tehnicheskij zhurnal. - 2003. – Vyp. 7. - S. 103-109.
7. Aleksandrov, A.V. Issledovaniye ustoychivosti konstruktsey arochnogo pokrytiya zala s ispol'zovaniyem kriteriyev vyyavleniya naiboleye opasnykh elementov [Tekst] / A.V. Aleksandrov, V.I. Travush, A.V. Matveyev // Rossiyskaya akademiya arkhitektury i stroitel'nykh nauk RAASN. – M., 2004. – Vyp. 8. - S.14-21.
8. Perel'muter, A.V. Raschetnyye modeli sooruzheniy i vozmozhnost' ikh analiza [Tekst] / A.V. Perel'muter, V.I. Slivker. – Kiyev: VPP «Kompas», 2001. – S. 364-369.
9. Klyuyeva, N.V. Vliyaniye korrozionnykh povrezhdeniy elementov na zhivuchest' zhelezobetonnykh ramno-sterzhnevnykh sistem [Tekst] / N.V. Klyuyeva, N.O. Prasofov, V.I. Kolchunov // Uspekhi stroitel'noy mekhaniki i teorii sooruzheniy. 2010. - S. 117-122.

10. Kolchunov, V.I. K otsenke zhivuchesti zhelezobetonnykh ram pri potere ustoychivosti otdel'nykh elementov [Tekst] / V.I. Kolchunov, N.O. Prasolov, M.V. Morgunov // Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruksiy i sooruzheniy. - 2007. - №4. - S. 40-44.
11. Travush, V.I. Ustoychivost' szhatykh sterzhney iz drevesiny pri odnovremennom proyavlenii silovogo i sredovogo vozdeystviya [Tekst] / V.I. Travush, V.I. Kolchunov, K.O. Dmitriyeva // Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruksiy i sooruzheniy. - 2016. - №4. - S. 50-54.
12. Travush, V.I. Dlitel'naya prochnost' i ustoychivost' szhatykh sterzhney iz drevesiny [Tekst] / V.I. Travush, V.I. Kolchunov, K.O. Dmitriyeva // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. - 2015. - №5. - S. 40-46.
13. Geniyev, G.A. Voprosy dlitel'noy i dinamicheskoy prochnosti anizotropnykh konstruktivnykh materialov [Tekst] / G.A. Geniyev, K.P. Pyatikrestovskiy. - M.: GUP TSNIISK im. V.A. Kucherenko, 2000. - 38 s.
14. Pyatikrestovskiy, K.P. Eksperimental'nyye issledovaniya kharaktera NDS fanernykh obshivok v sostave prostanstvennykh konstruksiy [Tekst] / K.P. Pyatikrestovskiy, V.I. Travush // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. - 2016. - №1(63). - S. 33-39.
15. Pyatikrestovskiy, K.P. O programmirovanii nelineynogo metoda rascheta derevyannykh konstruksiy [Tekst] / K.P. Pyatikrestovskiy, V.I. Travush // Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo. - 2015. - № 2. - S. 115-119.
16. Sanzharovskiy, R.S. Ustoychivost' szhatykh derevyannykh konstruksiy s uchedom mgnovennoy nelineynosti i nelineynoy polzuchesti [Tekst] / R.S. Sanzharovskiy, A.S. Varenik, K.A. Varenik // Nauchnoye obozreniye. - M.: 2014. - №8(2). - S.572-575.
17. Sanzharovskiy, R.S. Nelineynaya nasledstvennaya teoriya polzuchesti [Tekst] // Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruksiy i sooruzheniy. - 2014.- №1.- S. 63-68.
18. Bondarenko, V.M. K raschetu sooruzheniy, menyayushchikh raschetnyuyu skhemu vsledstviye korrozionnykh povrezhdeniy [Tekst] / V.M. Bondarenko, N.V. Klyuyeva // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo. - 2008. - №1. - S.4-12.
19. Kolchunov, V.I. K voprosu algoritmizatsii zadach rascheta zhivuchesti zhelezobetonnykh ram pri potere ustoychivosti [Tekst] / V.I. Kolchunov, N.O. Prasolov, L.V. Kozharinova, O.A. Vetrova // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. - 2012. - № 6. - C. 28-35.
20. Ivanov, YU.M. Issledovaniya fizicheskikh svoystv drevesiny (elastichnost', vozdukhopronitsayemost', davleniye nabukhaniya) [Tekst] / YU.M. Ivanov, V.A. Bazhenov. - M.: Izd. Ak. nauk SSSR, 1959. - 75 s.
21. Travush, V.I. Issledovaniye prochnosti i ustoychivosti szhatykh sterzhney iz drevesiny pri silovom nagruzhenii i peremennoy vlazhnosti [Tekst] / V.I. Travush, V.I. Kolchunov, K.O. Dmitriyeva // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. - 2016. - № 6 (363). - S. 159-164.
22. Klyuyeva, N.V. Issledovaniye zhivuchesti zhelezobetonnykh ram pri var'irovaniy ikh topologii [Tekst] / N.V. Klyuyeva, N.O. Prasolov // Vestnik tsentral'nogo regional'nogo otdeleniya RAASN.- Voronezh-Lipetsk: 2008. - Vyp. 7. - S. 205-208.
23. Pyatikrestovskiy, K.P. Nelineynyye metody mekhaniki v proyektirovaniy sovremennykh derevyannykh konstruksiy [Tekst]: Ucheb. dlya vuzov. - M.: MGSU, 2014.
24. Kolchunov, V.I. Vliyaniye korrozionnykh povrezhdeniy otdel'nykh elementov na ustoychivost' zhelezobetonnykh ramno-sterzhnevnykh sistem [Tekst] / V.I. Kolchunov, L.V. Kozharinova, N.O. Prasolov, G.A. Dobrikov // Vestnik otdeleniya stroitel'nykh nauk. - Tom 1. - S. 107-112.
25. Klyuyeva, N.V. Vliyaniye korrozionnykh povrezhdeniy elementov na zhivuchest' zhelezobetonnykh ramno-sterzhnevnykh sistem [Tekst] / N.V. Klyuyeva, N.O. Prasolov, V.I. Kolchunov // Uspekhi stroitel'noy mekhaniki i teorii sooruzheniy. - 2010. - S. 117-122.
26. Kolchunov, V.I. Eksperimental'no-teoreticheskiye issledovaniya zhivuchesti zhelezobetonnykh ram pri potere ustoychivosti otdel'nogo elementa [Tekst] / V.I. Kolchunov, L.V. Kozharinova, N.O. Prasolov // Vestnik MGSU. - 2011. - Tom 2, 3. - S. 109-115.
27. Transverse compression behavior of wood in saturated steam at 150-170°C [Text] / Kamke F.A., Kutnar A. // Wood and Fiber Science. - 2010. - T. 42. - № 3. - S. 377-387.
28. Trushin, S.I. Ustoychivost' i bifurkatsii gibkikh pologikh setchatykh obolochek [Tekst] / S.I. Trushin, A.V. Mikhaylov // Vestnik NITS Stroitel'stvo. - 2010. - №2. - S. 150-158.
29. Gordon, V.A. K raschetu ustoychivosti evolyutsionno povrezhdennoy zhelezobetonnoy elementa s «degradiruyushchimi» usloviyami opiraniya [Tekst] / V.A. Gordon, V.I. Kolchunov // Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy. - 2006. - №4. - S. 33-36.

N. Klyuyeva

Southwestern State University, Kursk
Head. the Department "Industrial and civil construction"
E-mail: klyuнавit@yandex.ru

K. Dmitrieva

Southwestern State University, Kursk
Teacher cafes. "Industrial and civil construction"
E-mail: dko1988@yandex.ru

ТУР В.В., НАДОЛЬСКИЙ В.В.

КАЛИБРОВКА ЗНАЧЕНИЙ ЧАСТНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ УСЛОВИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ. ЧАСТЬ 2

Цель работы состояла в определении научно обоснованных значений частных коэффициентов норм проектирования стальных конструкций, учитывающих целевые значения уровней конструкционной надежности. Объектом исследования являются изгибаемые стальные элементы. Методы исследования: математическое моделирование, численно – аналитические методы, параметрический и графический анализ. Согласно концепции надежности, сформулированной в ISO 2394 и EN 1990, введенных в действие на территории Республики Беларусь, проектирование конструктивных элементов следует выполнять на основе нормируемых целевых значений уровней надежности. Это вызвало необходимость выполнить калибровку значений частных коэффициентов для проверок предельных состояний несущей способности стальных конструкций, основанную на условии обеспечения целевого уровня надежности. Статья состоит из двух частей. Первая часть посвящена обоснованию вероятностных моделей базисных переменных, входящих в функции состояния стальных элементов. Вторая часть отражает результаты калибровки частных коэффициентов, обеспечивающих достижение целевого уровня надежности.

Ключевые слова: надежность, стальная конструкция, функция состояния, вероятностная модель, вероятностный расчет, погрешность модели, отказ, калибровка, индекс надежности, базисная переменная.

Введение

В первой части статьи обоснованы вероятностные модели базисных переменных, входящих в модели сопротивления стальных элементов и в модели эффектов воздействий с учетом территориальных особенностей Республики Беларусь [1]. На основании принятых моделей для заданных целевых уровней надежности далее определены значения частных коэффициентов.

1 Калибровка значений частных коэффициентов, обеспечивающих уровень надежности, регламентированный EN 1990

Основываясь на значениях коэффициентов чувствительности, полученных с использованием метода теории надежности 1-го порядка (FORM), и при принятых вероятностных моделях базисных переменных получены значения частных коэффициентов, обеспечивающие достижение целевого значения индекса надежности $b_t = 3.8$ для класса надежности RC 2 согласно EN 1990 [2].

Значения частных коэффициентов для сопротивления (g_M), постоянного (g_G) и переменного (g_Q) воздействий представлены в следующем виде:

$$g_M = g_{Rd} \times g_n, \quad g_G = g_{sd} \times g_g, \quad g_Q = g_{sd} \times g_n \times g_f, \quad (1)$$

где g_{Rd} – частный коэффициент, учитывающий погрешность модели сопротивления;

g_n – частный коэффициент для свойства материала (предела текучести стали), учитывающий возможность неблагоприятных отклонений свойства материала от его характеристического значения;

g_{sd} – частный коэффициент, учитывающий погрешность модели эффектов воздействий;

g_g – частный коэффициент для постоянной нагрузки, учитывающий возможность неблагоприятного отклонения данного воздействия от его репрезентативного значения;

- g_n – частный коэффициент, учитывающий погрешность модели воздействия (например, для снеговой нагрузки этот коэффициент учитывает неопределенность схемы распределения снеговой нагрузки на покрытие);
- g_f – частный коэффициент для переменного воздействия, учитывающий возможность неблагоприятного отклонения данного воздействия от его репрезентативного значения.

При описании снеговой нагрузки на поверхности земли распределением Гумбеля и значениях частного коэффициента, учитывающего только изменчивость нагрузки на поверхности земли g_f (см. формулу 1), вероятность превышения расчетных значений составила на уровне 10^{-5} в год.

На рисунке 1 представлены значения частных коэффициентов g в зависимости от параметра нагружения $\chi = Q_k / (G_k + Q_k)$, обеспечивающие достижение целевого значения индекса надежности $b_t = 3.8$. Результаты представлены только для функциональной и снеговой нагрузок. Зависимости g – имеют аналогичный характер при рассмотрении ветрового воздействия. Для вероятностного описания базисных переменных приняты средние значения статистических показателей из анализируемого диапазона по таблице 1. Такое представление позволяет отразить качественную сторону исследуемой зависимости.

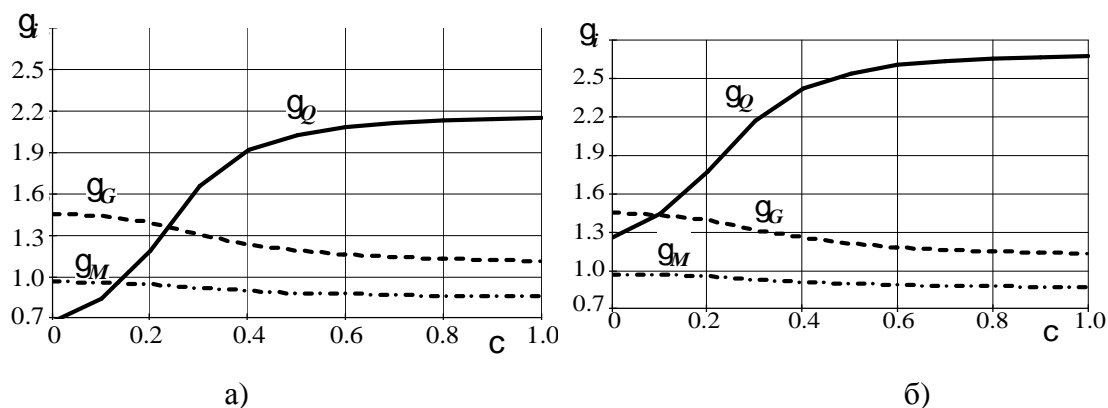


Рисунок 1 – Значения частных коэффициентов, обеспечивающие достижение целевого индекса надежности $b_t = 3.8$: а) для функциональной нагрузки, б) для снеговой нагрузки

Полученные значения частных коэффициентов согласуются с результатами других исследователей [3-6].

2 Анализ значений частных коэффициентов, обеспечивающих уровень надежности, регламентированный EN 1990

Анализ значений частных коэффициентов, необходимых для обеспечения уровня надежности, регламентированного в EN 1990 [2], выявил несоответствия в концепции надежности, принятой в Еврокодах, а именно:

- полученные значения частных коэффициентов значительно превышают применяемые в настоящее время в отечественной и мировой практике нормирования переменных воздействий;

- численный анализ обеспеченности расчетных значений базисных переменных показал, что вероятность превышения расчетных значений переменных воздействий находится на уровне $10^{-4} \dots 10^{-5}$. Используя соответствующий закон распределения можно определить обеспеченность расчетного значения. Например, для снеговой нагрузки на поверхности земли, принимая распределения Гумбеля, вероятность превышения полученного расчетного значения нагрузки:

$$P = \exp [-\exp [-a (sd - b)]] \tag{2}$$

где sd – расчетное значение снеговой нагрузки на поверхности земли:

$$s_d = S_k \times g_f \quad (3)$$

а и b параметры распределения, которые определяют через среднее значение μ и стандартное отклонение σ всей выборки:

$$a = \pi / (\sigma \sqrt{6}) \quad (4)$$

$$b = \mu - 0.5772 / a \quad (5)$$

При описании снеговой нагрузки на поверхности земли распределением Гумбеля и значениях частного коэффициента, учитывающего только изменчивость нагрузки на поверхности земли g_f (см. формулу 1), вероятность превышения расчетных значений составила на уровне 10^{-5} в год.

При этом следует помнить, что значения переменных воздействий нормируются из распределения годовых максимумов. Поэтому такая вероятность применяется только при нормировании редких природных и климатических явлений или чрезвычайного (особого) значения воздействия и неприемлема для расчетных значений переменных воздействий при рассмотрении постоянных расчетных ситуаций. Кроме того, квантиль данного уровня требует существенной экстраполяции далеко за пределы наблюдаемых значений, что приводит к неопределенностям и снижает достоверность оценивания конечного результата.

В выявленной ситуации представляет интерес анализ уровней конструкционной надежности на основании предыдущего опыта нормирования при принятых вероятностных моделях базисных переменных.

3 Оценка уровней надежности на основании предыдущего опыта нормирования для территории Республики Беларусь

В качестве альтернативы выполнена оценка уровней надежности на основании предыдущего опыта нормирования для территории Республики Беларусь. Результаты представлены в виде графиков (см. рисунок 2), где по оси ординат отложены значения индекса надежности β , а по оси абсцисс – параметр нагружения χ . На рисунке 2а) представлены верхняя и нижняя границы изменения β при одновременном действии постоянной и функциональной нагрузок, а на рисунке 2б) – то же при действии постоянной и снеговой нагрузок. Резкий скачок значений β на рисунке 2б) обусловлен изменением частного коэффициента для снеговой нагрузки согласно СНиП [7]. Следует отметить схожие результаты анализа индексов надежности для территории Российской Федерации [8].

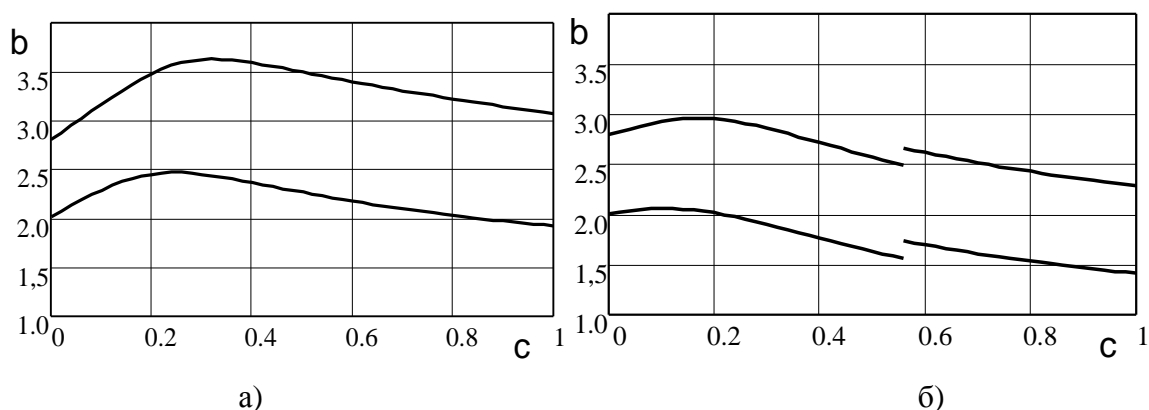


Рисунок 2 – Зависимости $\beta - \chi$: а) для функциональной нагрузки, б) для снеговой нагрузки

На основании анализа результатов исследований уровней надежности, обеспечиваемых предыдущей практикой нормирования и проектирования стальных конструкций, для дальнейшей калибровки частных коэффициентов принято наименьшее значение вероятности отказа $p_f = 10^{-2}$ для периода отнесения 50 лет.

4 Калибровка значений частных коэффициентов, для установленных уровней надежности на основании предыдущего опыта нормирования для территории Республики Беларусь

Частные коэффициенты были откалиброваны таким образом, чтобы обеспечить целевой уровень надежности при установленных значениях статистических показателей базисных переменных для разных значений параметра нагружения χ . На основании результатов исследования рекомендованы следующие значения частных коэффициентов для расчетных моделей сопротивлений и эффектов воздействий при проектировании стальных элементов на территории Республики Беларусь:

для постоянной нагрузки – $g_G = 1.3$;

для функциональной (полезной) нагрузки – $g_Q = 1.4$;

для снеговой нагрузки – $g_S = 1.6$;

для ветрового воздействия – $g_W = 1.5$;

для моделей сопротивления обобщенного стального элемента – $g_M = 1.1$.

Следует отметить, что данные значения частных коэффициентов должны использоваться с правилами сочетаний воздействий 6.10 а/б [2]. Рекомендуемая система частных коэффициентов позволяет обеспечить достижение целевого значения индекса надежности. На рисунках 3 – 5 заштрихованная область представляет диапазон изменения значений индексов надежности для наиболее распространенных условий применения стальных конструкций (параметр нагружения $\chi = 0.4 – 0.8$).

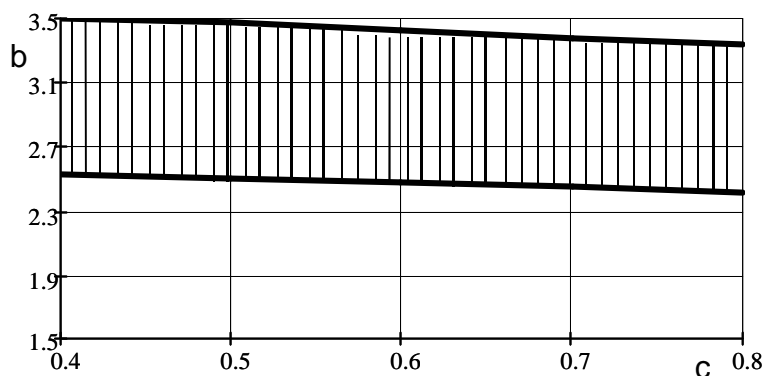


Рисунок 3 – Зависимость $\beta - \chi$ при одновременном действии постоянной и полезной нагрузок

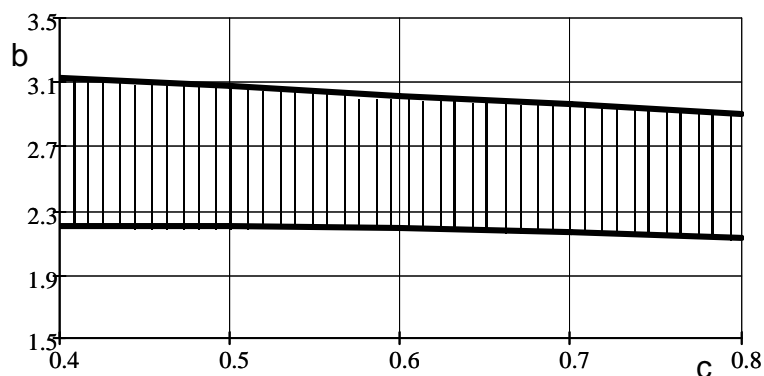


Рисунок 4 – Зависимость $\beta - \chi$ при одновременном действии постоянной и снеговой нагрузок

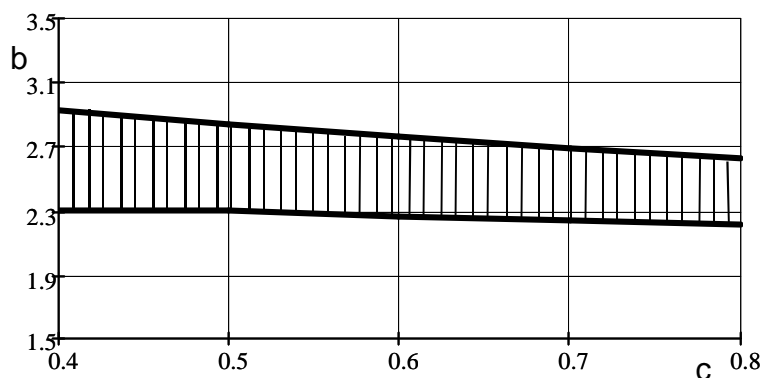


Рисунок 5 – Зависимость $\beta - \chi$ при одновременном действии постоянной и ветровой нагрузок

Заключение

В работе обоснованы вероятностные модели базисных переменных, входящих в модели сопротивления стальных элементов. Уточнены статистические показатели базисных переменных, входящих в модели эффектов воздействий с учетом территориальных особенностей Республики Беларусь.

Обоснованные вероятностные модели сопротивления и эффектов воздействий позволили определить значения частных коэффициентов для расчетных моделей стальных конструкций. Дальнейший анализ показал, что использование полученных калибровкой значений частных коэффициентов приводит к обеспеченности расчетного значения переменного воздействия, близкой к обеспеченности особых воздействий. Выходом из этой ситуации является пересмотр численных значений уровней конструкционной надежности при сохранении общей концепции надежности. Это вызвало необходимость выполнить оценку уровней надежности на основании предыдущего опыта нормирования.

Получены численные значения уровней надежности стальных конструкций на основании предыдущего опыта нормирования применительно к условиям Республики Беларусь. При проверках предельных состояний несущей способности стальных элементов среднего класса надежности (жилые, офисные здания и т. д.) минимальное значение вероятности отказа для периода отнесения 50 лет рекомендуется назначать $p_f = 10^{-2}$ для принятых вероятностных моделей базисных переменных.

Установлены численные значения частных коэффициентов метода предельных состояний в полувероятностной постановке, применяемые в расчетных моделях сопротивлений и эффектов воздействий при проектировании стальных конструкций, полученные для целевых уровней надежности при установленных значениях изменчивости базисных переменных.

Полученные результаты могут быть применены при разработке положений нормативных документов, касающихся обеспечения надежности конструкций, а также позволяют выполнять вероятностные расчеты стальных конструкций. Подтверждена необходимость проведения дальнейших систематических исследований изменчивости базисных переменных и формирования единых принципов их назначения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тур, В.В. Калибровка значений частных коэффициентов для проверок предельных состояний несущей способности стальных конструкций для условий Республики Беларусь. Часть 1 / В.В. Тур, В.В. Надольский // Строительство и реконструкция. – Орел: Госуниверситет – УНПК. – 2016. – №4(66). – С. 73-84.
2. EN 1990 Eurocode: Basis of structural design – Brussels: European Committee for Standardization, 2002.
3. Holicky, M. Safety design of lightweight roofs exposed to snow loads / M.Holicky // Engineering Sciences. – 2007. – №58. – P. 51–57
4. Sýkora, M. Reliability-based design of roofs exposed to a snow load /M. Sýkora, M.Holicky // In Li, J. - Zhao, Y.-G. - Chen, J. (eds.) Reliability Engineering - Proceedings of the International Workshop on Reliability

Engineering and Risk Management IWRERM 2008, Shanghai, 21 - 23 August 2008. Shanghai: Tongji University Press. –2009. – P. 183-188.

5. Sadvovský, Z. Collection and analysis of climatic measurements for the assessment of snow loads on structures / Z. Sadvovský, P. Faško, J. Pecho, O. Bochniček, K. Mikulová, P. Šťastný // International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering. -2007. – Vol. 14, № 6. – P. 118-126.

6. Sadvovský, Z. Climatic loads and reliability of light roof industrial buildings. Safety and Reliability for Managing Risk – Guedes Soares & Zio (eds) 2006 Taylor & Francis Group, London, ISBN 0-415-41620-5

7. SNiP 2.01.07-85 Nagruzki i vozdeystviya [Construction Norms and Rules SNiP 2.01.07-85. Loads and actions]. Moscow, Ministry of Regional Development, 1985.

8. Sykora, M. Comparison of the reliability levels provided by Eurocodes and standards of the Russian Federation / M. Sykora, M. Holicky, V. Nadolski // In R.D.J.M. Steenbergen, P. H. A. J. M. van Gelder, S. Miraglia, A. C. W. M. Vrouwenvelder (eds.) Proceedings of the European Safety and Reliability Conference ESREL 2013, Amsterdam, 29 September – 2 October 2013. Leiden: Balkema/CRC Press, ISBN 978-1-138-00123-7. – 2014. – P. 2637–2644.

Тур Виктор Владимирович

Брестский государственный технический университет, Республика Беларусь, г. Брест

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технологии бетона и строительных материалов»,

E-mail: vytur@bstu.by.

Надольский Виталий Валерьевич

Белорусский национальный технический университет, Республика Беларусь, г. Минск

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Металлические и деревянные конструкции»

E-mail: Nadolskiv@mail.ru

V. TUR, V. NADOLSKI

THE PARTIAL FACTOR VALUES CALIBRATION FOR THE ULTIMATE LIMIT STATE CHECKING OF STEEL STRUCTURES FOR THE CONDITIONS REPUBLIC OF BELARUS. PART 2

The aim of the study is to determine science-based values of the partial factors for design of steel structures, taking into account the specified values of reliability levels. The object of the study is steel structural elements. Methods: mathematical modeling, numerical and analytical methods, parametric and graphic analysis. According to the reliability concept of building structures adopted in the standard ISO 2394, EN 1990, in the Republic of Belarus the target reliability levels for designed structures are set. It caused a necessity to calibrate the partial factors of steel structures based on the target reliability level using probabilistic methods. The article consists of two parts. The first part is devoted to the justification of the probabilistic models of basic variables included in the function of the limit state of the steel members. The second part reflects the results of the calibration of partial factors ensuring the achievement of the target reliability level.

Keywords: reliability, steel structure, function of the state, the probability model, a probabilistic calculation, the reference period, model uncertainty, failure, calibration, reliability index, basic variable.

BIBLIOGRAPHY

1. Tur, V.V. Kalibrovka znacheniy chastnykh koeffitsiyentov dlya proverok predel'nykh sostoyaniy nesu-shchey sposobnosti stal'nykh konstruksiy dlya usloviy Respubliki Belarus'. Chast' 1 / V.V. Tur, V.V. Nadol'skiy// Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. – Orel: Gosuniversitet – UNPK. – 2016. – №4(66). – S. 73-84.

2. EN 1990 Eurocode: Basis of structural design – Brussels: European Committee for Standardization, 2002.

3. Holicky, M. Safety design of lightweight roofs exposed to snow loads / M.Holicky // Engineering Sciences. – 2007. –№58. –P. 51–57

4. Sýkora, M. Reliability-based design of roofs exposed to a snow load /M. Sýkora, M.Holicky // In Li, J. - Zhao, Y.-G. - Chen, J. (eds.) Reliability Engineering - Proceedings of the International Workshop on Reliability Engineering and Risk Management IWRERM 2008, Shanghai, 21 - 23 August 2008. Shanghai: Tongji University Press. –2009. – P. 183-188.

5. Sadovský, Z. Collection and analysis of climatic measurements for the assessment of snow loads on structures / Z. Sadovský, P. Faško, J. Pecho, O. Bochníček, K. Mikulová, P. Šťastný // International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering. -2007. – Vol. 14, № 6. – P. 118-126.
6. Sadovský, Z. Climatic loads and reliability of light roof industrial buildings. Safety and Reliability for Managing Risk – Guedes Soares & Zio (eds) 2006 Taylor & Francis Group, London, ISBN 0-415-41620-5
7. SNiP 2.01.07-85 Nagruzki i vozdejstviya [Construction Norms and Rules SNiP 2.01.07-85. Loads and actions]. Moscow, Ministry of Regional Development, 1985.
8. Sykora, M. Comparison of the reliability levels provided by Eurocodes and standards of the Russian Federation / M. Sykora, M. Holicky, V. Nadolski // In R.D.J.M. Steenbergen, P. H. A. J. M. van Gelder, S. Miraglia, A. C. W. M. Vrouwenvelder (eds.) Proceedings of the European Safety and Reliability Conference ESREL 2013, Amsterdam, 29 September – 2 October 2013. Leiden: Balkema/CRC Press, ISBN 978-1-138-00123-7. – 2014. – P. 2637–2644.

V. Tur

Brest State Technical University, Republic of Belarus, Brest

Doctor of Technical Sciences, professor, Head of the Department "Technology of concrete and building materials"

E-mail: vvtur@bstu.by.

V. Nadolski

Belarusian National Technical University (BNTU), Republic of Belarus, Minsk

Candidate of Technical Sciences, associated professor, Department of "Metal and Timber Structures"

NadolskiVV@mail.ru

ФЕДОСОВ С.В., РУМЯНЦЕВА В.Е., ХРУНОВ В.А.

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ И ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Проблема обеспечения экологической и промышленной безопасности опасных производственных объектов обуславливает необходимость разработки эффективных методов прогноза долговечности и расчета остаточного ресурса конструкций зданий (сооружений). Основу таких методов составляют результаты теоретических и экспериментальных исследований коррозионных явлений в бетоне. В статье проведено математическое моделирование массопереноса в процессах коррозии первого и второго видов, возникающих в бетоне при воздействии жидких агрессивных сред, встречающихся в промышленном производстве. Полученные выражения позволяют рассчитывать значение концентраций свободного гидроксида кальция по толщине конструкции в любой момент времени и его содержание в жидкой фазе, что дает возможность прогнозировать динамику и кинетику процессов коррозионной деструкции. Результаты расчетов представлены в графическом виде.

Ключевые слова: безопасность, долговечность, остаточный ресурс, коррозия, цементный бетон, диффузия, массоперенос, математическое моделирование.

Железобетонные конструкции применяются в качестве несущих и ограждающих элементов в зданиях и сооружениях опасных производственных объектов в условиях контакта бетона с химическими веществами в газовом, жидком и твердом состояниях. В зависимости от вещественного состава химические вещества обладают различной степенью активности к бетону. Количественные параметры химических веществ, влияющих на свойства эксплуатационного состояния бетона, режимы их действия систематизированы и изложены в строительных нормах и правилах. Коррозионная нагрузка систематизирована качественно (слабо-, средне- и сильноагрессивные среды) и количественно в показателях концентрации химически активных веществ [1].

В настоящее время основная масса действующих зданий и сооружений в нашей стране выработали свои нормативные сроки службы. В то же время эксплуатация этих зданий и сооружений продолжается, повышая тем самым риски опасного обрушения строительных конструкций и возникновения техногенных аварий. Особенно актуальна эта проблема для зданий и сооружений опасных производственных объектов, эксплуатируемых в коррозионно-опасных условиях и агрессивных средах.

Для снижения рисков техногенных аварий и катастроф, которые могут сопровождаться негативным влиянием на окружающую среду и здоровье человека следует использовать современные подходы к оценке степени аварийности объектов промышленных производств. Одним из актуальных вопросов при экспертизе промышленной безопасности опасных производственных объектов является определение остаточного ресурса (срока службы) объектов экспертизы с прогнозированием условий их дальнейшей безопасной эксплуатации [2].

Отсюда возникает настоятельная потребность в детальном изучении коррозионных явлений в бетоне и определении на этой основе характеристик, необходимых для прогноза долговечности и расчета остаточного ресурса конструкций зданий (сооружений), обусловленная необходимостью увеличения сроков эксплуатации опасных производственных объектов, а также снижения расходов по их содержанию.

По классификации основоположника науки о коррозии бетона профессора В.М. Москвина, химически активная внешняя среда может способствовать развитию в бетоне трех видов коррозии [3].

Первая группа (коррозия I вида) объединяет коррозионные процессы, которые возникают в бетоне под действием воды, когда составные части цементного камня растворяются и

вымываются жидкостью. К ним относятся воды оборотного водоснабжения, конденсат, дождевые воды, воды горных и равнинных рек в половодье, болотная вода.

На начальном этапе растворяется и вымывается водой гидроксид кальция, образовавшийся при гидролизе трехкальциевого силиката. Этот процесс обусловлен диффузией гидроксида кальция из толщи бетона к его поверхности, граничащей со средой, переходом вещества через границу раздела фаз твердое тело - жидкость и растворением в жидкой среде. После вымывания свободного гидроксида кальция начинается разложение гидросиликатов, а затем гидроалюминатов и гидроферритов кальция, приводящее к развитию коррозии других видов.

Вторая группа (коррозия II вида) объединяет процессы коррозии, развивающиеся в бетоне при действии вод, содержащих химические вещества, вступающие в обменные реакции с составляющими цементного камня (растворы кислот и некоторых солей). Продукты реакции при этом либо легко растворяются и вымываются водой, либо в виде аморфной массы отлагаются в порах и капиллярах цементного камня, на начальном этапе выступая в роли ингибитора коррозионного разрушения.

Третья группа (коррозия III вида) характеризуется химическими процессами растворения, взаимодействия и кристаллизации в микропустотах бетона малорастворимых солей, увеличивающихся в объеме. Кристаллизация солей и другие вторичные процессы, развивающиеся в бетоне, создают внутренние напряжения, приводящие к нарушению структуры бетона.

Выделение трех основных видов коррозии, основанное на принципе доминирующих факторов, дает возможность установить общие для каждого вида закономерности. Это, в свою очередь, облегчает правильный выбор мероприятий, необходимых для предотвращения развития коррозии бетона и обеспечения его долговечности.

К настоящему времени в строительном материаловедении накоплен большой объем научных данных о коррозионных процессах, протекающих в бетонах и железобетонах под влиянием окружающей среды того или иного состава: установлены и исследованы принципиальные схемы химических реакций; даны математические описания некоторых коррозионных процессов, основанные на использовании уравнений теплопереноса; создана система нормативных документов по борьбе с коррозией в строительном комплексе.

Накопленный теоретический и практический материал дает возможность описывать процессы, происходящие при коррозии бетона в форме математических моделей, которые позволяют с требуемой точностью рассчитывать долговечность бетонных и железобетонных конструкций.

Авторами разработан и апробирован ряд математических моделей жидкостной коррозии цементных бетонов [4-9].

С точки зрения теории химических процессов основные «события» происходят в диффузионно-кинетической области. В этих условиях разработка математических моделей процессов коррозии бетона базируется на физических моделях диффузии переносимых компонентов в пористой структуре бетона и математическом аппарате краевых задач массопереноса с использованием дифференциальных уравнений в частных производных параболического типа.

В общем случае для коррозии I и II видов диффузия гидроксида кальция в пористой структуре бетона описывается нелинейным дифференциальным уравнением массопроводности параболического типа с источниковым членом [4]:

$$\frac{\partial C(x,t)}{\partial t} = \text{div}[k(x,t) \times \text{grad}C(x,t)] + q_M(x,t)/r_0, \quad (1)$$

где $C(x,t)$ - концентрация свободного CaO в бетоне в момент времени t в произвольной точке с координатой x , в пересчете на CaO, кг CaO/кг бетона;

$k(x,t)$ - коэффициент массопроводности в твердой фазе, м²/с;

$q_M(x,t)$ - мощность объемного источника массы вследствие химических реакций, кг CaO/(м³·с);

x - координата, м;

τ - время, с;

ρ_b - плотность бетона, кг/м³.

При отсутствии источника ($q_M(x, t)$) уравнение (1) переходит в уравнение массопроводности, которое описывает массоперенос при коррозии I вида.

Одной из проблем является формулировка краевых (начальных и граничных) условий, адекватных реальной физике процесса.

На практике очень важным случаем является коррозия I вида в условиях ограниченного объема жидкой среды. Решение этой задачи не замыкается только на расчете динамики профилей концентраций и средней концентрации по толщине.

В работах [5-8], посвященных моделированию коррозионной деструкции, протекающей по механизму I вида в условиях ограниченного объема жидкой среды, показано, что математически эта задача может быть представлена уравнениями:

$$\frac{\partial C(x, t)}{\partial t} = k \times \frac{\partial^2 C(x, t)}{\partial x^2}, \quad t > 0, \quad 0 \leq x \leq d. \quad (2)$$

$$\text{Начальное условие: } C(x, t)|_{t=0} = C(x, 0) = C_0. \quad (3)$$

$$\text{Граничные условия: } \left. \frac{\partial C(x, t)}{\partial x} \right|_{x=0} = 0; \quad (4)$$

$$k \times \left. \frac{\partial C(x, t)}{\partial x} \right|_{x=d} = b \frac{dC_p(\tau)}{d\tau} - C(d, t) \frac{d\delta}{dt}, \quad (5)$$

где C_0 - концентрация «свободного Са(ОН)₂» в бетоне в начальный момент времени в произвольной точке с координатой x , в пересчете на СаО, кг СаО/кг бетона;

$C_p(\tau)$ - равновесная концентрация на поверхности твердого тела, кг СаО/кг бетона;

δ - толщина стенки конструкции, м;

β - коэффициент массоотдачи в жидкой среде, м/с.

Согласно закону сохранения масс, поток массы вещества, выходящего с поверхности бетона, должен быть равен количеству вещества, прибывающему в жидкую фазу:

$$- S \times \rho_b \times k \times \left. \frac{\partial C(d, t)}{\partial x} \right|_{x=d} = V_{ж} \times \rho_{ж} \times \frac{\partial C_{ж}(t)}{\partial t}, \quad (6)$$

где левая часть - количество переносимого компонента через внутреннюю поверхность резервуара S , м²;

правая часть - приращение массы компонента в объеме $V_{ж}$ резервуара, м³;

$\rho_{ж}$ - плотности бетона и жидкости, соответственно, кг/м³.

Знак «-» указывает на уменьшение концентрации компонента в бетоне.

Уравнение (2) является классической записью параболического дифференциального уравнения массопроводности (диффузии в твердом теле). Выражение (3) - начальное условие задачи, показывающее, что в начальный момент взаимодействия жидкости и бетона (например, начало заливки резервуара) концентрация «свободного гидроксида кальция» по толщине бетонной конструкции равномерна. Граничное условие (4) относится к внешней границе конструкции и называется «условием непроницаемости», показывая, что через наружную поверхность бетона переносимый компонент не уходит. Граничное условие (5) характеризует условие массопереноса через границу раздела фаз «твердое - жидкость». Изнутри к поверхности тела целевой компонент переносится посредством массопроводности, а от границы переносится в жидкость посредством массоотдачи естественной конвекцией в жидкой фазе. Дифференциальное уравнение (6) представляет собой материальный баланс переносимого компонента, так как его левая часть отражает значение плотности потока массы вещества, поступающе-

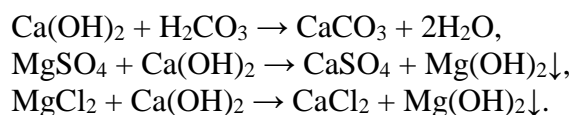
го из внутренних слоев бетона к межфазной границе, а правая часть показывает количество вещества, поступающего в результате массопереноса в объем жидкости.

Отличительной особенностью математической модели (2) - (5) является не постоянство величины равновесной концентрации на поверхности твердого тела C_p , а ее зависимость от концентрации компонента в жидкой фазе $C_ж$. Простейшей формой этой зависимости является закон Генри:

$$C_p(t) = mC_ж(t), \quad (7)$$

где m - константа Генри, кг жидкости /кг бетона.

Коррозия II вида осложнена химическими реакциями взаимодействия агрессивной окружающей среды и компонентов бетона, наиболее распространенными из которых являются углекислотная и магнезиальная коррозии:



Математически задача массопроводности в стенке бетонных конструкций при химическом взаимодействии с агрессивным компонентом водной среды может быть представлена уравнениями [9]:

$$\frac{\partial C(x,t)}{\partial t} = k \times \frac{\partial^2 C(x,t)}{\partial x^2} + \frac{q_M(x)}{r_b}, \quad t \geq 0. \quad (8)$$

$$\text{Начальное условие: } C(x,t)|_{t=0} = C(x,0) = C_0. \quad (9)$$

$$\text{Граничные условия: } \left. \frac{\partial C(x,t)}{\partial x} \right|_{x=0} = 0; \quad (10)$$

$$k \times r_b \times \left. \frac{\partial C(x,t)}{\partial x} \right|_{x=d} = q_{II}, \quad (11)$$

где q_{II} - плотность потока массы вещества из бетона в жидкую среду, кг CaO/(м³·с).

Значение коэффициента массопроводности большинства строительных материалов, в том числе и бетонов, находится в пределах $10^{-10} \div 10^{-12}$ м²/с. При этом выполняется условие $For_m \ll 0,1$.

Решение задачи массопереноса в процессах коррозии при малых значениях числа Фурье приведено в предыдущих публикациях [5]. Решение выполнялось методом интегрального преобразования Лапласа, т.е. исходная система уравнений отображалась в область комплексных чисел, в которых было получено решение системы, а затем был произведен перевод решения в область оригиналов.

Решения представлены в форме рядов Фурье:

1. Профиль безразмерных концентраций переносимого компонента по толщине бетона в произвольный момент времени:

$$\frac{Z(\bar{x}, For_m)}{Z_{ж}(0)} = - \frac{Bi_m}{\sqrt{Bi_m^2 - 4K_m}} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{2}{a_i} (-1)^i \exp \left[- \frac{a_i^2 (1 - \bar{x}) + a_i^2 For_m}{\dots} \right] \quad (12)$$

$$\cdot \operatorname{erfc} \left[\frac{1 - \bar{x}}{2\sqrt{For_m}} - a_i \sqrt{For_m} \right] \cdot \frac{\dots}{\dots}$$

2. Средняя по толщине конструкции концентрация переносимого компонента в момент времени t , определяемый значением критерия For_m :

$$Z_{cp}(Fo_m) = \int_0^1 Z(\bar{x}, Fo_m) d\bar{x}. \quad (13)$$

3. Концентрация переносимого компонента в жидкой фазе:

$$\frac{Z_{ж}(Fo_m)}{Z_{ж}(0)} = 1 - \frac{K_m Bi_m}{\sqrt{Bi_m^2 - 4K_m Bi_m}} \sum_{i=1}^2 a_i (-1)^{i+1} \frac{1}{a_i} 2\sqrt{\frac{Fo_m}{\rho}} +$$

$$+ a_i \int_0^{Fo_m} \exp(a_i^2 Fo_m) \operatorname{erfc}(-a_i \sqrt{Fo_m}) dFo_m \frac{1}{\rho}, \quad (14)$$

где $a_i = \frac{Bi_m \pm \sqrt{D}}{2}$, $i=1, 2$;

$Bi_m = b \cdot d/k$ - массообменный критерий Био;

$Fo_m = k \cdot t/d^2$ - критерий Фурье;

$\bar{x} = x/d$ - относительная координата;

$K_m = m \cdot G_б / G_ж$ - коэффициент, учитывающий характеристики фаз;

$G_б$ - масса бетонного резервуара, кг;

$G_ж$ - масса жидкости в резервуаре, кг.

Полученные решения позволяют определять значение концентраций переносимого компонента (свободного гидроксида кальция) по толщине конструкции в начальных периодах коррозионного разрушения цементных бетонов и, кроме того, дают возможность расчета содержания этого вещества в жидкой фазе и среднее по толщине и объему конструкции, т. е. расчета кинетики процесса по твердой и жидкой фазам.

Некоторые результаты расчетов по полученным выражениям приведены на рисунках 1 - 2. Рисунок 1 иллюстрирует данные вычислений профилей безразмерных концентраций в зависимости от массообменного критерия Bi_m (Био). Анализ профилей концентраций по толщине бетона при $Fo_m=0,05$ показывает, что основной вклад процесса массопереноса сосредоточен в поверхностном слое на границе раздела твердое тело - жидкость. При увеличении массообменного критерия Био появляются большие градиенты концентраций. Увеличение критерия Био в 6 раз вызывает рост градиента концентраций в 3÷4,5 раза.

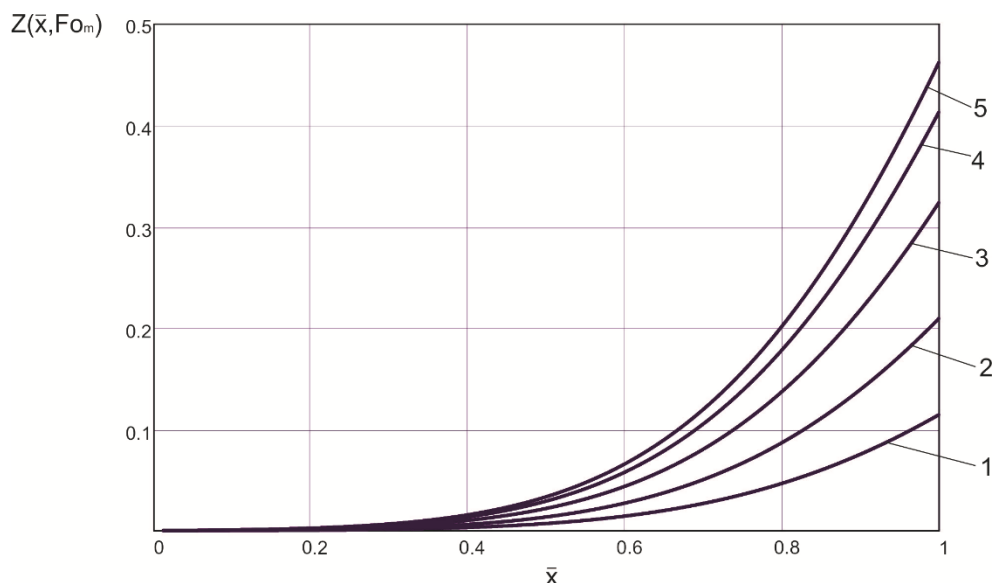


Рисунок 1 - Профили безразмерных концентраций по толщине бетона при $Fo_m=0,05$ с различными значениями Bi_m : 1 - 0,5; 2 - 1; 3 - 1,75; 4 - 2,5; 5 - 3

На рисунке 2 показаны результаты расчетов изменения средней концентрации в бетоне, анализ которых показывает, что при значениях $Bi_m \leq 3$ средняя концентрация изменяется линейно.

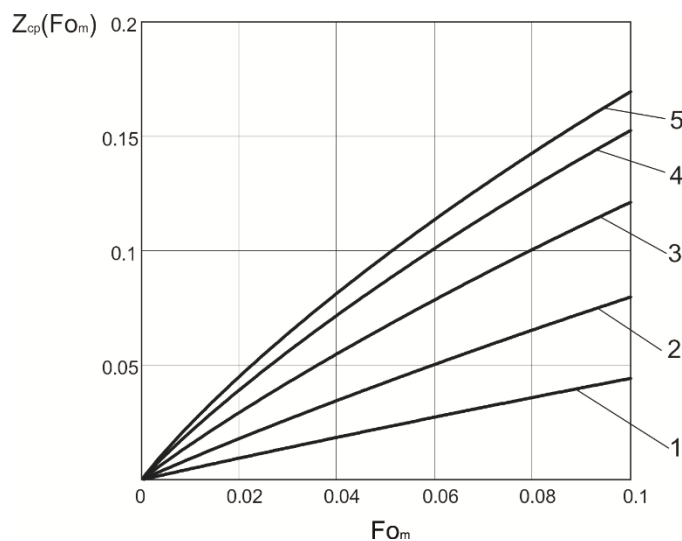


Рисунок 2 - Кинетика изменения средней безразмерной концентрации в бетоне для области малых значений чисел Фурье при следующих значениях Bi_m : 1 - 0,5; 2 - 1; 3 - 1,75; 4 - 2,5; 5 - 3

Рисунок 3 показывает соответствующие этому случаю кинетические кривые накопления вещества в жидкости.

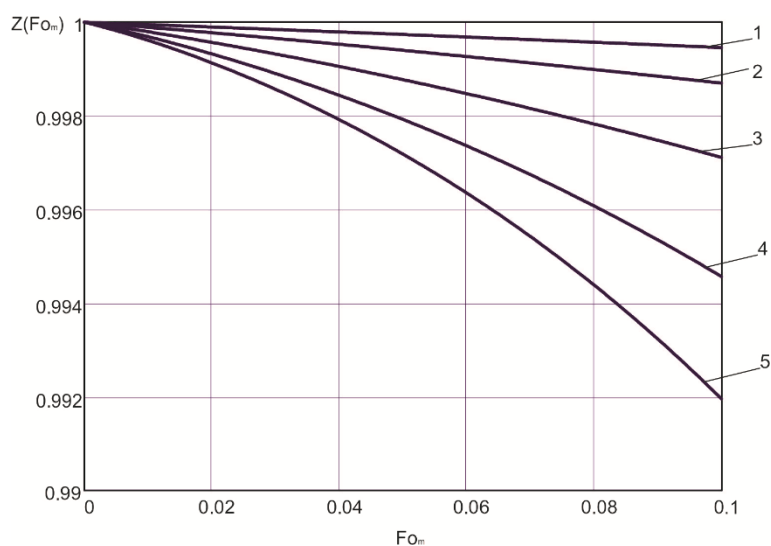


Рисунок 3 - Кинетика изменения концентрации переносимого компонента в жидкой фазе при следующих значениях Bi_m : 1 - 0,5; 2 - 1; 3 - 1,75; 4 - 2,5; 5 - 3

Безусловным положительным моментом полученных зависимостей является возможность решения обратной задачи, когда имеющиеся экспериментальные данные с помощью данной модели позволят прогнозировать численное значение свободного гидроксида кальция, что в конечном итоге позволяет с минимальной погрешностью прогнозировать долговечность зданий и сооружений опасных производственных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Леонович, С.Н. Общие закономерности процессов коррозии конструкционного бетона АЭС и их моделирование [Текст] / С.Н. Леонович // Наука и техника.–2010.–№3.–С. 11-15.

2. ФНП в области промышленной безопасности. «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности» (с изменениями на 9 марта 2016 года) // <http://www.pravo.gov.ru>.
3. Москвин, В.М. Коррозия бетона [Текст] / В.М. Москвин.–М.: Стройиздат, 1952.–342 с.
4. Федосов, С.В. О некоторых проблемах теории и математического моделирования процессов коррозии бетона [Текст] / С.В. Федосов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века.–2005.–№5.–С. 20-21.
5. Федосов, С.В. Моделирование массопереноса в процессах коррозии бетонов первого вида (малые значения числа Фурье) [Текст] / С.В. Федосов, В.Е. Румянцева, В.А. Хрунов, Л.Н. Аксаковская // Строительные материалы.–2007.–№5.–С. 70-71.
6. Федосов, С.В. Вопросы прогнозирования долговечности строительных конструкций [Текст] / С.В. Федосов, В.Е. Румянцева, В.А. Хрунов, М.Е. Шестеркин // Строительство и реконструкция.–2011.–№5 (37).–С. 63-69.
7. Федосов, С.В. О некоторых проблемах технологии безопасности и долговечности зданий, сооружений и инженерной инфраструктуры [Текст] / С.В. Федосов, В.Е. Румянцева, В.А. Хрунов, М.Е. Шестеркин // Строительные материалы.–2015.–№3.–С. 8-11.
8. Sergey V. Fedosov, Varvara E. Roumyantseva, Vladimir A. Khrunov Safety and Longevity Technologies of Infrastructure, Buildings and Facilities // Procedia Engineering, 2015, v. 111, pp. 194–201.
9. Каюмов, Р.А. Математическое моделирование коррозионного массопереноса гетерогенной системы «жидкая агрессивная среда - цементный бетон». Частные случаи решения [Текст] / Р.А. Каюмов, С.В. Федосов, В.Е. Румянцева, В.А. Хрунов, Ю.В. Манохина, И.В. Красильников // Известия КГАСУ.–2013.–№4 (26).–С. 343-348.

Федосов Сергей Викторович

Ивановский государственный политехнический университет, г. Иваново
Президент, академик РААСН, доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой техносферной безопасности
e-mail: fedosovacademic53@mail.ru

Румянцева Варвара Евгеньевна

Ивановский государственный политехнический университет, г. Иваново
Доктор технических наук, профессор, советник РААСН,
директор института социально-гуманитарных и естественных наук
e-mail: varyym@gmail.com

Хрунов Владимир Андреевич

Ивановский государственный политехнический университет, г. Иваново
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Техносферная безопасность»
e-mail: hrunovkss@gmail.com

S. FEDOSOV, V. RUMYANTSEVA, V. KHRUNOV

INCREASING OF ECOLOGICAL AND INDUSTRIAL SAFETY OF HAZARDOUS PRODUCTION FACILITIES

The problem increasing of ecological and industrial safety of hazardous production facilities necessitates the development of effective methods of prediction of durability and residual life estimation of structures of buildings (structures), the Basis of such methods are the results of theoretical and experimental studies of corrosion phenomena in concrete. In the article the mathematical modeling of mass transfer in corrosion of the first and second types arising in concrete when exposed to aggressive liquid environments encountered in industrial production. The obtained expressions allow to calculate the concentrations of free calcium hydroxide on the thickness of the structure at any point in time and its content in the liquid phase, which enables to predict the dynamics and kinetics of corrosion processes of destruction. The results of the calculations are presented in graphical form.

Keywords: safety, durability, residual life, corrosion, cement concrete, diffusion, mass transfer, mathematical modeling.

BIBLIOGRAPHY

1. Leonovich, S.N. General regularities of the processes of corrosion of structural concrete NPPs and their modeling [Text] / S.N. Leonovich // *Nauka i tekhnika* [Science and technology].–2010.–№3.–pp. 11-15.
2. Federal norms and rules in the field of industrial safety. «Rules for audit of industrial safety» (as amended on March 9, 2016) // <http://www.pravo.gov.ru>.
3. Moskvina, V.M. Korroziya betona [Corrosion of concrete] [Text] / V.M. Moskvina.–M.: Strojizdat, 1952.–342 p.
4. Fedosov, S.V. About some problems of the theory and mathematical modelling of corrosion processes of concrete [Text] / S.V. Fedosov // *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka*.–2005.–№5.–pp. 20-21.
5. Fedosov, S.V. Modeling of mass transfer in the process of corrosion of the concrete of the first kind (small values of the number of Fourier) [Text] / S.V. Fedosov, V.E. Rummyantseva, V.A. Khrunov, L.N. Aksakovskaya // *Stroitel'nye materialy*.–2007.–№5.–pp. 70-71.
6. Fedosov, S.V. The issues of prediction the durability of building constructions [Text] / S.V. Fedosov, V.E. Rummyantseva, V.A. Khrunov, M.E. Shesterkin // *Stroitel'stvo i rekonstrukciya*.–2011.–№5 (37).–pp. 63-69.
7. Fedosov, S.V. On some problems of security technology and durability of buildings and engineering infrastructure [Text] / S.V. Fedosov, V.E. Rummyantseva, V.A. Khrunov, M.E. Shesterkin // *Stroitel'nye materialy*.–2015.–№3.–pp. 8-11.
8. Sergey V. Fedosov, Varvara E. Rummyantseva, Vladimir A. Khrunov Safety and Longevity Technologies of Infrastructure, Buildings and Facilities // *Procedia Engineering*, 2015, v. 111, pp. 194–201.
9. Kayumov, R.A. Mathematical modeling of corrosion mass transfer in heterogeneous systems «liquid corrosive environment - cement concrete». Special cases of the solutions [Text] / R.A. Kayumov, S.V. Fedosov, V.E. Rummyantseva, V.A. Khrunov, Yu.V. Manohina, I.V. Krasil'nikov // *Izvestiya KGASU*.–2013.–№4 (26).–pp. 343-348.

S. Fedosov

Ivanovo State Polytechnic University, Ivanovo
President, academician RAASN, doctor of technical sciences, professor,
head of the Department of Technosphere safety
E-mail: fedosovacademic53@mail.ru

V. Rummyantseva

Ivanovo State Polytechnic University, Ivanovo
Doctor of technical sciences, professor, advisor RAASN,
director of institute of social and liberal arts and sciences
E-mail: varrym@gmail.com

V. Khrunov

Ivanovo State Polytechnic University, Ivanovo
Candidate of technical sciences, assistant professor of department «Technosphere safety»
E-mail: hrunovkss@gmail.com

УДК 624.04:697.11

ДВОРЕЦКИЙ А.Т., КЛЕВЕЦ К.Н.

ИЗБЫТОК ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ПАССИВНОГО СОЛНЕЧНОГО НАГРЕВА ЗДАНИЙ

Рассмотрены три системы пассивного солнечного нагрева жилого здания: прямой солнечный нагрев, солнечное пространство и стена Тромба. Оценка преимуществ пассивной солнечной системы была сделана по избыточной удельной тепловой энергии солнечного нагрева в течение отопительного периода в климатических условиях Крыма с учётом ориентации фасада. Характеристики светопрозрачных конструкций не оказывают существенного влияния на величину избыточной тепловой энергии, влияет конструкция системы пассивного солнечного нагрева. На основании исследований сделан вывод, что наиболее энергетически выгодным приемом ПСН, служащим для повышения энергоэффективности здания, является стена Тромба.

Ключевые слова: пассивный солнечный нагрев, избыточная тепловая энергия, прямой солнечный нагрев, солнечное пространство, стена Тромба, энергоэффективное строительство, теплопоступления, теплопотери.

Постановка проблемы

Энергетический уровень проекта здания следует оценивать отдельно от инженерных сетей. Это связано с тем, что здание проектируется на 50 -100 лет службы, в то время как инженерные сети служат меньше чем 15 – 20 лет. Поэтому особое внимание и оценку в определении уровня энергоэффективности должны иметь пассивные солнечные системы здания [3, 4].

При проектировании энергоэффективного здания важную роль играют климатические условия района строительства. Спецификой климата Крыма и юга России является большое количество солнечных часов в год - именно этот фактор позволяет использовать пассивный солнечный нагрев (ПСН), как способ снижения энергозатрат на отопление здания в холодный период года [9, 11]. При проектировании энергоэффективного здания с использованием устройств пассивного нагрева, возникает ряд вопросов – какой должна быть ориентация устройства для пассивного нагрева для получения максимального эффекта? Имеет ли смысл увеличивать процент остекления фасадов и кровли здания с целью увеличения теплопоступления? Стоит ли использовать специальное остекление в энергоэффективном доме? Для ответов на эти вопросы, авторами были разработаны и проанализированы несколько вариантов устройств пассивного солнечного нагрева.

Анализ достижений и публикаций

В работе [1, 2] изложено, что одним из принципов преобразования города в биосферосовместимый и развивающий человека является «Соединение двух противоположностей (внешнее и внутреннее направления деятельности города)», основанного на двойственности проблемы «человек и Биосфера», действия градационного и деградационного начал. Деградационное внешнее воздействие – изъятие ресурсов из биосферы и вбрасывание в неё отходов жизнедеятельности, и внутреннее негативное воздействие на человека ведут к его деградации и кризису. В связи с этим предлагается использовать существующие или создавать новые критерии, позволяющие количественно (на основе корреляционных зависимостей) оценивать результаты внешнего и внутреннего направления деятельности города. Например, в качественном отношении это такие характеристики как: степень реновации территории от отходов и вовлечение её в хозяйственный оборот; объём инвестиций в «зелёные отрасли промышленности и создание новых рабочих мест; доступность жилья; снижение потребления энергоресурсов на обеспечение жизнедеятельности городов; уменьшение выбросов углекислого газа и пр.

Стратегия создания энергоэффективных зданий с пассивным солнечным нагревом направлена, прежде всего, на снижение потребления энергоресурсов и уменьшение выбросов углекислого газа. В энергетической части израильского стандарта «Экостроительство» особое внимание в оценке уровня «зелёной» архитектуры уделено пассивным системам и зданиям с низким потреблением энергии [5].

В работе [10] авторами уже рассматривались вопросы формообразования энергоэффективного здания с учетом климатических условий Крыма, и был сделан вывод, что более выгодной, с точки зрения прямого пассивного солнечного нагрева (солнечный нагрев здания через окна), является прямоугольное в плане здание, с вытянутым южным фасадом.

В работах [9, 11] было проведено сравнение количественных показателей различных видов остекленных веранд, которые в дальнейшем будут именоваться «солнечными пространствами». Там же был сделан вывод, что для достижения максимального эффекта ПСН, солнечное пространство должно быть сориентировано на юг, а его крышу и боковые стены восточной и западной ориентации остеклять не целесообразно.

Оптимизации физико-технических параметров светопрозрачных конструкций посвящены работы [6, 7, 8].

Целью данной работы является определение влияния ПСН с различными конструктивными особенностями на энергоэффективность здания.

Исследовательская часть

На основании данных солнечной радиации в Крыму (ДСТУ Б А.2.2-12:2015 «Энергетическая эффективность зданий. Метод расчёта энергопотребления при отоплении охлаждении, вентиляции, освещении и горячем водоснабжении») была рассчитана средняя суммарная солнечная радиация за отопительный и летний периоды, которая поступает на вертикальную поверхности разной ориентации при средней облачности для города Симферополя. Полученные данные представлены в таблице 1, а также в виде графика на рисунке 1.

Таблица 1 - Средняя суммарная солнечная радиация за отопительный период и летний период, которая поступает на горизонтальную и вертикальную поверхности разной ориентации при средней облачности для города Симферополя

Ориентация поверхности	Отопительный период, Вт/м ²	Летний период, Вт/м ²
С	18,8	53,3
СВ	21,2	83
В	32,6	113
ЮВ	53,4	112,3
Ю	66,4	97,7
ЮЗ	54,8	113
З	34,6	108
СЗ	21,4	81,7

По данным таблицы и графика, видно, что наиболее выгодная ориентация окон в энергоэффективном здании – южная, т.к. в отопительный период на нее попадает максимальное количество солнечной радиации, а в летний период эта цифра чуть ниже, чем на восточной и западной ориентациях, что снижает уровень перегрева помещений в жаркий период года.

Влияние пассивного солнечного нагрева на энергоэффективность здания рассмотрим для трёх вариантов светопрозрачных конструкций:

1. Солнечное пространство (летнее помещение - веранда, остекленная терраса, оранжерея, атриумы и др.).
2. Прямой солнечный нагрев – нагрев через окна.
3. Стена Тромба.

Для проведения расчетов, во всех вариантах, в соответствии с данными СТО НОП 2.1-2014 «Требования по составу и содержанию энергетического паспорта проекта жилого и об-

щественного здания», используется стекло и однокамерный стеклопакет (с межстекольным расстоянием 12 мм) в отдельных переплетах из стекла двух типов:

1. 4М1+СПО 4М1-12-4М1, сопротивление теплопередаче $R=0,56 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, коэффициент затенения непрозрачными элементами $\tau_1 = 0,6$, коэффициент относительного пропускания солнечной энергии $\tau_2 = 0,74$.

2. Обычное стекло СПД 4М1-12-4М1-12-4М1 в алюминиевом переплете, сопротивление теплопередаче $R=0,45 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, коэффициент затенения непрозрачными элементами $\tau_1 = 0,8$, коэффициент относительного пропускания солнечной энергии $\tau_2 = 0,74$,

Оценка энергоэффективности трёх вариантов ПСН были сделаны по одному показателю – избытку тепловой энергии (ИТЭ).

ΔQ - избыток тепловой энергии (дополнительная энергия) за счёт преимуществ пассивной солнечной системы в течение отопительного периода, измеренный в ваттах на метр квадратный остекления.

В расчётах не учтены аккумулирующие свойства конструкций здания.

Конструкция стены Тромба изображена на рисунке 2.

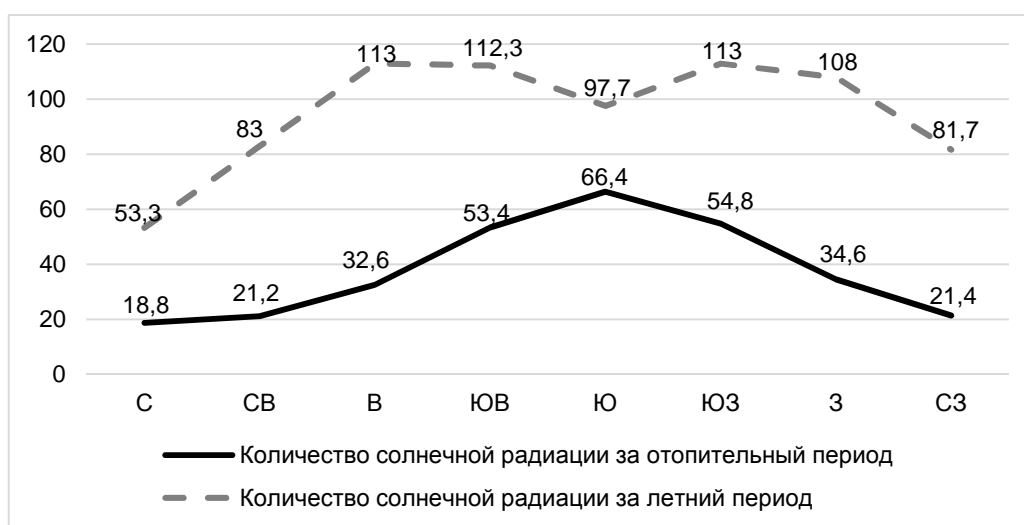


Рисунок 1 - Средняя суммарная солнечная радиация за отопительный период, поступающая на горизонтальную и вертикальную поверхности разной ориентации при действительной облачности для г. Симферополь

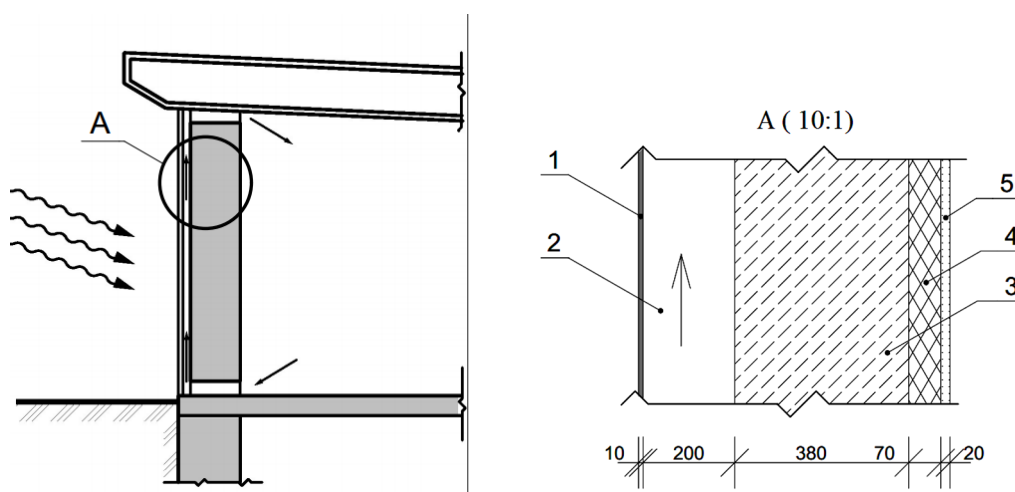


Рисунок 2 - Конструкция стены Тромба

1-стекло 10 мм, 2-вентилируемая воздушная прослойка, 200мм, 3-извесьняк, 380мм, 4-минеральная (каменная) вата, 70мм, 5- гипсокартон, 20мм

Сопротивление теплопередаче стены Тромба $R=2,46 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$. Выполнена из местного материала – камень известняк шириной 380 мм, изнутри утеплена минеральной (каменной) ватой шириной 70 мм, вентиляционный зазор 100 мм.

Из всего разнообразия солнечных пространств в данной работе рассматривается следующая конструкция: пристроенная веранда, с полностью остекленным главным фасадом и глухими боковыми фасадами.

Расчетную температуру внутреннего воздуха в жилых и общественных зданиях следует принимать по ГОСТ 30494: «в холодный период года и в рабочее время $t_{в}$, °С, как минимальную из оптимальных температур, в нерабочее время $t_{в.мин}$, °С, как минимальную из допустимых температур»: температура внутри жилого помещения +20°С, внутри солнечного пространства +12°С.

В соответствии с СП 131.13330.2012 «Свод правил строительная климатология», температура наружного воздуха в отопительный период в городе Симферополе +2,6°С.

Теплопотери рассчитываются по формуле, Вт/м²:

$$Q_{\text{пот}} = 1/R(t_{в} - t_{н}), \quad (1)$$

где R – сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, м²·°С/Вт;

$t_{в}$ – расчетная температура внутреннего воздуха, °С;

$t_{н}$ – расчетная температура наружного воздуха, °С.

Теплопоступления рассчитываются по формуле, Вт/м²:

$$Q_{\text{пост}} = I_{\text{ср}} \cdot \tau_1 \cdot \tau_2, \quad (2)$$

где $I_{\text{ср}}$ – средняя суммарная солнечная радиация за отопительный период, которая поступает на горизонтальную и вертикальную поверхности разной ориентации при средней облачности для города Симферополя, Вт/м²;

τ_1 – коэффициент затенения непрозрачными элементами;

τ_2 – коэффициент относительного пропускания солнечной энергии.

Избыток тепловой энергии (ИТЭ) является разностью между теплопоступлениями (1) и теплопотерями (2), Вт/м²:

$$\Delta Q = Q_{\text{пост}} - Q_{\text{пот}}. \quad (3)$$

Полученные данные представлены в таблицы 2 и диаграммы (рис. 4).

По полученным результатам можно сделать вывод, что при использовании обычного стекла в однокамерном пакете, теплопотери превышают теплопоступления, поэтому ИТЭ имеет отрицательное значение. При прямом способе солнечного нагрева необходимо использовать остекление с более высокими показателями сопротивления теплопередаче (R) или коэффициентов затенения непрозрачными элементами и относительного пропускания солнечной энергии (τ_1 и τ_2). Но даже при таких результатах, мы видим, что наиболее рационально располагать окна на ЮВ-Ю-ЮЗ ориентации, т.к. теплопоступления компенсируют большую часть теплопотерь через них.

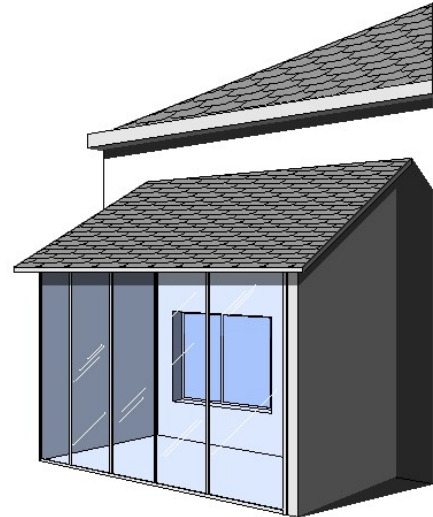


Рисунок 3 - Солнечное пространство

Таблица 2 – Избыток тепловой энергии за отопительный период устройств ПСН различной ориентации. Остекление по первому варианту (4M1+СПО 4M1-12-4M1)

Ориентация	Теплопотери через остекление солнечного пространства, Вт/м ²	Теплопотери через окно жилой комнаты, Вт/м ²	Теплопотери через стену Тромба, Вт/м ²	Теплопоступления, Вт/м ²	ИТЭ в солнечном пространстве, Вт/м ²	ИТЭ от прямого нагрева, Вт/м ²	ИТЭ в стене Тромба, Вт/м ²
С	16,9	31,3	7,1	8,3	-8,6	-23	1,2
СВ	16,9	31,3	7,1	9,4	-7,5	-21,9	2,3
В	16,9	31,3	7,1	14,5	-2,4	-16,8	7,4
ЮВ	16,9	31,3	7,1	23,7	6,8	-7,6	16,6
Ю	16,9	31,3	7,1	29,5	12,6	-1,8	22,4
ЮЗ	16,9	31,3	7,1	24,3	7,4	-7	17,2
З	16,9	31,3	7,1	15,4	-1,5	-15,9	8,3
СЗ	16,9	31,3	7,1	9,5	-7,4	-21,8	2,4

Замена окна на двухкамерный стеклопакет в одинарном переплете из обычного стекла СПД 4M₁-12-4M₁-12-4M₁ в алюминиевом переплете, с более низким сопротивлением теплопередаче $R=0,45 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, но при этом, более высоким коэффициентом затенения непрозрачными элементами $\tau_1 = 0,8$, и таким же коэффициентом относительного пропускания солнечной энергии $\tau_2 = 0,74$, позволит увеличить количество теплопоступлений, в следствие чего ИТЭ приобретет положительное значение. Данные о ИТЭ для такого типа стекла представлены в таблицы 3.

Таблица 3 – Избыток тепловой энергии за отопительный период устройств ПСН различной ориентации. Остекление по второму варианту (СПД 4M₁-12-4M₁-12-4M₁)

Ориентация	Теплопотери через остекление солнечного пространства, Вт/м ²	Теплопотери через окно жилой комнаты, Вт/м ²	Теплопотери через стену Тромба, Вт/м ²	Теплопоступления, Вт/м ²	ИТЭ в солнечном пространстве, Вт/м ²	ИТЭ от прямого нагрева, Вт/м ²	ИТЭ в стене Тромба, Вт/м ²
С	20,7	38,7	7,1	11,1	-9,6	-27,6	4
СВ	20,7	38,7	7,1	12,6	-8,1	-26,1	5,5
В	20,7	38,7	7,1	19,3	-1,4	-19,4	12,2
ЮВ	20,7	38,7	7,1	31,6	10,9	-7,1	24,5
Ю	20,7	38,7	7,1	39,3	18,6	0,6	32,2
ЮЗ	20,7	38,7	7,1	32,4	11,7	-6,3	25,3
З	20,7	38,7	7,1	20,5	-0,2	-18,2	13,4
СЗ	20,7	38,7	7,1	12,7	-8	-26	5,6

На графике (рис. 3), изображены показатели ИТЭ для всех трех вариантов устройств пассивного солнечного нагрева: прямого солнечного нагрева, солнечного пространства и стены Тромба.

На графике видно, что через стену Тромба ИТЭ всегда имеет положительное значение, это связано с тем, что сопротивление теплопередаче конструкции стены Тромба выше, чем у остальных конструкций. Также по графику можно определить, что ИТЭ солнечного пространства будет иметь положительное значение только при его ориентации на ЮВ-Ю-ЮЗ, а ИТЭ прямого солнечного нагрева – только при Ю ориентации. В остальных случаях теплопотери превысят теплопоступления.

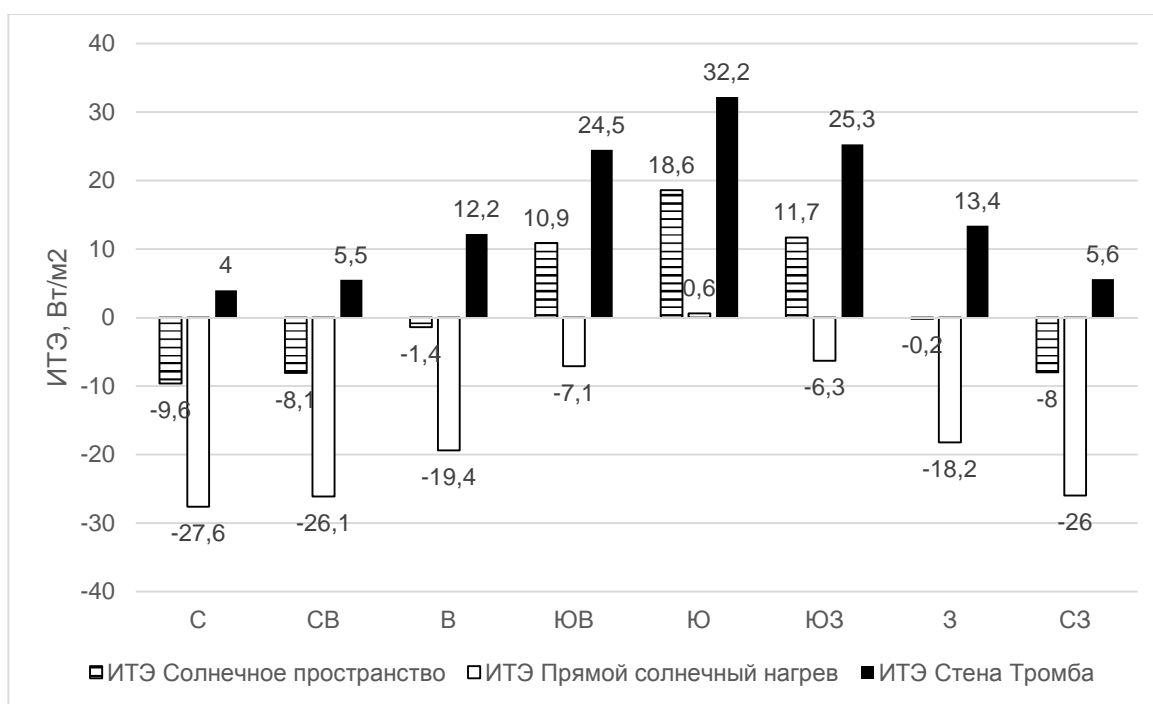


Рисунок 4 – Избыток тепловой энергии, ΔQ (Вт/м²)

Выводы и перспективы дальнейшего развития

Эффективность устройств ПСН предлагается измерять величиной удельной избыточной тепловой энергии, полученной за счёт солнечного нагрева.

Проанализировав полученные данные, можно сделать вывод, что наиболее энергетически выгодным приемом ПСН, служащим для повышения энергоэффективности здания, является стена Тромба. Это связано с тем, что она обладает более высоким сопротивлением теплопередаче.

Исследования проведены для климатических условий Симферополя. Очевидно, для эффективного применения устройств ПСН в других климатических районах необходимо зонирование территории России по солнечной радиации и продолжительности отопительного периода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильичёв, В.А. Принципы преобразования города в биосферосовместимый и развивающий человека [Текст] / В.А. Ильичёв, С.Г. Емельянов, В.И. Колчунов, В.А. Гордон, Н.В. Бакаева. – М.: Издательство АСВ, 2015. – 184 с.
2. Матросов, Ю. А. Энергосбережение в зданиях. Проблема и пути её решения [Текст]. – М.: НИИСФ, 2008. – 495 с.
3. Ильичев, В.А. Об инновационных технологиях для ресурсо-энергоэффективного строительства [Текст] / В.А. Ильичев, В.И. Колчунов, С.А. Кобелева, С.В. Солопов // Биосферная совместимость. – 2013. – № 2. – С. 40 - 45.
4. Файст, В. Основные положения по проектированию пассивных домов [Текст]. – Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008. – 144 с.
5. Edna Shaviv. Passive and Low Architecture – the Israeli Approach Within the Sustainable Building Standard/ Solar 2012 Conference. Swinburne University of Technology, Melbourne December 6, 2012.
6. Мартынов, В.Л. Оптимизация параметров энергоэффективных зданий [Текст] // Биосферносовместимые города и поселения: Материалы международной конференции. – Брянск: БГИТА. – 2012. – С. 137 – 142.
7. Сергейчук, О.В. Оптимизация физико-технических параметров светопрозрачных конструкций в процессе проектирования энергоэффективных зданий [Текст] / О.В. Сергейчук // Биосферносовместимые города

и поселения : материалы междунар. науч.-практ. конф. (11-13 дек. 2012 г., Брянск). – Брянск: БГИТА, 2012. – С. 50-56.

8. Sergeychuk, O.V. Optimization of the Form of Energy Conservation Buildings [Text] // Motornizacja I energetyka rolnictwa. – Lublin. – 2008. – No 10A. – pp. 121-130.

9. Дворецкий, А.Т. Солнечная энергия оранжереи в тепловом балансе малоэтажного здания [Текст] / А.Т. Дворецкий, Д.А. Дворецкий // Строительство и техногенная безопасность. – Симферополь: НАПКС. – 2012. – №41. – С. 14-19.

10. Дворецкий, А.Т. Сравнение показателей энергоэффективности квадратного и прямоугольного в плане жилого многоквартирного дома для юга Украины [Текст] / А.Т. Дворецкий, К.Н. Клевец // Сб. науч. работ. – Киев: Изд-во ГП ГНИИСК, 2014 – Вып.80 – С.22-27.

11. Дворецкий, А.Т. Анализ влияния разных типов устройств остекленной веранды на тепловой баланс энергоэффективного дома [Текст] / А.Т. Дворецкий, К.Н. Клевец // Строительство и реконструкция – 2014 – 5 (55) - С.54-60

Дворецкий Александр Тимофеевич

ФГАОУ «КФУ им. Вернадского», Академия строительства и архитектуры, г. Симферополь.

Доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой Геометрического

и компьютерного моделирования энергоэффективных зданий.

E-mail: dvoretskyat@ukr.net

Клевец Ксения Николаевна

ФГАОУ «КФУ им. Вернадского», Академия строительства и архитектуры, г. Симферополь.

Ассистент кафедры Геометрического и компьютерного моделирования энергоэффективных зданий

E-mail: ksenia.klevets@gmail.com

A. DVORETSKY, K. KLEVETS

YIELD OF HEATING IN PASSIVE SOLAR HEATING SYSTEMS OF BUILDINGS

We consider three systems of passive solar heating of residential buildings - direct solar heating passive solar heating, solar space and Trombe wall. Assessing the benefits of passive solar system was made for the yield of specific heat due to solar heating during the heating season in the climatic conditions of the Crimea, taking into account the orientation of the facade. Features of translucent structures have no significant effect on the yield specific heating. Passive solar heating system design has a significant effect on the yield specific heating. The study concluded that the most energetically favorable reception of, serving to improve the energy efficiency of the building, is a wall of a blood Clot.

Keywords: *passive solar heating, the yield of specific heat, direct solar heating, solar space, Trombe wall, energy-efficient construction, heat gain, heat loss.*

BIBLIOGRAPHY

1. Il'ichov, V.A. Printsipy preobrazovaniya goroda v biosferosovmestimyy i razvivayushchiy cheloveka [Tekst] / V.A. Il'ichov, S.G. Yemel'yanov, V.I. Kolchunov, V.A. Gordon, N.V. Bakayeva. – M.: Izdatel'stvo ASV, 2015. – 184 s.

2. Matrosov, YU. A. Energoberezheniye v zdaniyakh. Problema i puti yeyo resheniya [Tekst]. – M.: NIISF, 2008. – 495 s.

3. Il'ichev, V.A. Ob innovatsionnykh tekhnologiyakh dlya resurso-energoeffektivnogo stroitel'stva [Tekst] / V.A. Il'ichev, V.I. Kolchunov, S.A. Kobeleva, S.V. Solopov // Biosfernaya sovместimost'. – 2013. – № 2. – S. 40 - 45.

4. Fayst, V. Osnovnyye polozheniya po proyektirovaniyu passivnykh domov [Tekst]. – Moskva: Izdatel'stvo As-sotsiatsii stroitel'nykh vuzov, 2008. – 144 s.

5. Edna Shaviv. Passive and Low Architecture – the Israeli Approach Within the Sustainable Building Standard/ Solar 2012 Conference. Swinburne University of Technology, Melbourne December 6, 2012.

6. Martynov, V.L. Optimizatsiya parametrov energoeffektivnykh zdaniy [Tekst] // Biosferosovmestimyye goroda i poseleniya: Materialy mezhdunarodnoy konferentsii. – Bryansk: BГИТА. – 2012. – S. 137 – 142.

7. Sergeychuk, O.V. Optimizatsiya fiziko-tekhnicheskikh parametrov svetoprozrachnykh konstruktsey v protsesse proyektirovaniya energoeffektivnykh zdaniy [Tekst] / O.V. Sergeychuk // Biosferosovmestimyie goroda i poseleniya : materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (11-13 dek. 2012 g., Bryansk). – Bryansk: BGITA, 2012. – S. 50-56.

8. Sergeychuk O.V. Optimization of the Form of Energy Conservation Buildings [Text] // Motornizacja I energetyka rolnictwa. – Lublin. – 2008. – No 10A. – pp. 121-130.

9. Dvoretzkiy, A.T. Solnechnaya energiya oranzherei v teplovom balanse maloetazhnogo zdaniya [Tekst] / A.T. Dvoretzkiy, D.A. Dvoretzkiy // Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'. – Simferopol': NAPKS. – 2012. – №41. – S. 14-19.

10. Dvoretzkiy A.T. Sravneniye pokazateley energoeffektivnosti kvadratnogo i pryamougol'nogo v plane zhilogo odnokvartirnogo doma dlya yuga Ukrainy [Tekst] / A.T. Dvoretzkiy, K.N. Klevets // Sb. nauch. rabot. – Kiyev: Izd-vo GP GNIISK, 2014 – Vyp.80 – S.22-27.

11. Dvoretzkiy A.T. Analiz vliyaniya raznykh tipov ustroystv osteklennoy verandy na teplovoy balans energoeffektivnogo doma [Tekst] / A.T. Dvoretzkiy, K.N. Klevets // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya – 2014 – 5 (55) S.54 60

A. Dvoretzkiy

V.I. Vernadsky Crimean Federal University, [Academy of Construction and Architecture](#)

Professor, Doctor of Technical Sciences,

Head of Geometrical and Computer Simulation of Energy Efficient Buildings Department.

E-mail: dvoretzkiyat@ukr.net

K. Klevets

V.I. Vernadsky Crimean Federal University, [Academy of Construction and Architecture](#)

Assistant of Geometrical and Computer Simulation of Energy Efficient Buildings Department

E-mail: ksenia.klevets@gmail.com

МИХАЙЛОВА Е.А.

АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИРОВОЧНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ЗАТОПЛЯЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ В ГОРОДАХ НИДЕРЛАНДОВ

Статья посвящена архитектурно-планировочным особенностям проектирования в условиях затопляемых территорий. Обоснована актуальность поставленной проблемы освоения затопляемых территорий городов. Детально рассмотрены и проанализированы реализованные здания и сооружения на затопляемых территориях в Нидерландах. Выявлена архитектурно-планировочная специфика каждого здания. Полученные выводы систематизированы и разделены на две группы: общие архитектурно-планировочные особенности зданий на затопляемых территориях, архитектурные особенности конкретных типологий зданий, пригодных для размещения на затопляемых территориях.

Ключевые слова: архитектурные особенности, затопляемые территории, Нидерланды, плавучие дома, дома-амфибии, береговые территории, акватория.

До недавнего времени освоение акваторий и прилегающих территорий производилось исключительно в утилитарных целях. Сейчас ситуация изменилась: всеобщая урбанизация и рост городов приводят к осознанию ценности жизни в естественной природной среде, к необходимости создания новых рекреационных зон, строительству новых жилых и общественных районов в отдалении от городского шума и суеты. Но многие города, особенно исторические, исчерпали территориальные ресурсы своего развития. В сложившейся ситуации освоение акваторий под строительство и рекреацию может стать важнейшим направлением в решении многих проблем современного города. Начиная с середины XX века, в отечественной науке, в изучении проблемы береговых территорий, к которым относятся затопляемые территории, выделилось несколько направлений: рациональное использование городских территорий, включая береговые; инженерное преобразование береговых территорий; вопросы архитектурно-планировочной организации береговых и приречных территорий; проблемы экологии и охраны береговых территорий. Вопросы рационального использования береговых территорий в разных аспектах взаимодействия города и водоема исследовались теоретиками С.А. Хасиевой, В.К. Щербань, А.П. Вергуновым, А.Г. Григоряном, В.А. Нефедовым, Е.М. Микулиной, С.Б. Чистяковой, А.В. Сычевой, Ю.Б. Хромовым, С.Д. Митягиным и рядом других ученых. Вопросами инженерной организации береговых территорий занимались И.В. Лазарева, В.В. Шнайдер, Л.Р. Найфельд, В.Д. Оленьков и другие ученые [2]. Вопросы ландшафтной и архитектурно-планировочной организации береговых территорий рассмотрены в трудах Е.В. Гуськова, Т.И. Задворянской, Д.В. Литвинова [3], Ю.Н. Лобанова, М.А. Маташовой [4], И.Д. Родичкина, В.И. Стаускаса, В.А. Нефедова. В зарубежной теоретической базе исследований можно так же выделить ряд исследований: «Amphibious housing in the Netherland» авторов Anne Loes Nillesen и Leroen Singelenberg [5], «Design for Flooding: Architecture, Landscape, and Urban Design for Resilience to Climate Change» авторов Donald Watson и Michele Adams [6], «Float!: Building on Water to Combat Urban Congestion and Climate Change» авторов Koen Olthuis и David Keuning [7] и другие.

Предыдущие стадии данного исследования выявили основные градостроительные особенности освоения затопляемых территорий [1]. Задачей настоящего исследования является анализ существующего опыта в сфере строительства на береговых территориях и выявление характерных архитектурно-планировочных особенностей зданий и сооружений, пригодных для размещения на сложных затопляемых территориях, а также в непосредственной близости к водоему.

Для решения поставленных задач необходимо обратиться к передовому мировому опыту освоения акваторий, который в настоящее время представляют Нидерланды [8]. За многолетнюю историю своего существования государство выработало множество конструктивных и

архитектурно-планировочных решений для борьбы с постоянными наводнениями, вызванными густой речной сетью и обилием прибрежных низменностей (рисунок 1). Изучение и систематизация опыта Нидерландов в области строительства на воде может помочь в решении аналогичных проблем береговых территорий во всем мире, и, в частности, в России.

Комплекс Борнео-Споренбург (Borneo-Spornburg). Амстердам

Власти Амстердама решили убрать старые портовые склады, которые размещались на островах. Острова недалеко от центра, но место было индустриальное, не престижное. Первоначальной идеей было застроить многоэтажным, по меркам голландцев, жильем в 10-14 этажей. После долгих проработок архитектурному бюро West 8 удалось найти остроумное и элегантное решение задачи: была разработана новая концепция жилья, заключающаяся в том, как при трехэтажной плотной застройке получить количество квартир большее, чем при многоэтажной застройке. По сути, была придумана новая типология жилья – малоэтажная застройка высокой плотности. Был создан прямоугольный остров с четырьмя линиями таунхаусов, в центре размещен бульвар с детскими площадками и гостевыми парковками. Линии таунхаусов расположены по две, так что между ними получилась лишь узкая щель: чтобы свет чуть проходил в отдельные комнаты, и можно было поставить стул и столик на улице.

Проект Борнео-Споренбург включает застройку нескольких типов. Первый – три многоэтажных здания. В них до четвертого этажа располагаются общественные функции и парковка, а выше идут жилые этажи. Тип второй: таунхаусы с обязательным патио. При этом территория была отдана лотами разным девелоперам, так что даже в рамках одного квартала существует невероятное архитектурное разнообразие.

Третий тип – уже упоминавшаяся малоэтажная застройка высокой плотности с квартирами и таунхаусами. И наконец, четвертый – квартал самостроя с канальными таунхаусами. Около сотни участков было разыграно муниципалитетом через лотерею и застроено частниками. Каждый дом выходит прямо к воде, на ней – катер или яхта. При отделке использованы современные экологичные материалы: кирпич, металл, бетон, дерево, стекло. При минимуме используемых средств удалось создать выразительность и индивидуальность каждого дома.

Таким образом, мы видим, что, помимо рационального градостроительного планирования территории, большую роль в создании комфортной среды сыграли: выбор новой типологии жилого дома, отвечающей требованиям размещения на намывном острове, организация доступа из зданий к личному водному транспорту, двухсторонняя ориентация фасадов – на канал и во двор, создание архитектурного разнообразия внутри квартала.

Штайгерлэнд (Steigereiland), Айбург, Нидерланды.

Айбург – новый район Нидерландов, построенный на искусственных островах из песка, добытого в озере Аймеер (Ijmeer). Район состоит из двух частей Waterbuurt Oost и Waterbuurt West, последняя предполагает развитие 55 плавучих домов, связанных мостками и пирсами. Типология выбрана неслучайно – данная территория расположена недалеко от центра Амстердама, искусственный характер водоема позволяет контролировать уровень воды и обеспечивает связь с внешним миром через систему дамб и шлюзов. В связи с этим был ограничен размер домов: многие дома были построены специалистами по плавучему жилью за пределами района и транспортировались на территорию Waterbuurt через шлюзы. Тем самым, размеры их собственности ограничены шлюзами в пределах от 9 до 20 метров.

Как только здание попадает в акваторию, его пришвартовывают к одной из пристаней, обеспечивающих доступ к участку с набережными. Поскольку здания по габаритам были в основном высокие и узкие, довольно многие вначале потеряли устойчивость и нуждались в корректировке.

Бетонные пристани оборудованы трубами и кабелями для обеспечения каждого участка и дома коммунальными услугами и индивидуальными счетчиками. В соответствии с ограничениями, причалы так же были оборудованы морозостойкими дренажами (водоотводами), поручнями, противопожарными стенами и системами водонепроницаемых стояков.

Так как на причалах запрещены какие либо посторонние объекты, как то цветочные клумбы, скамейки или велосипеды, они выглядят немного пустынными и подавляющими. В Waterbuurt, с другой стороны, некоторые здания включают плавучие террасы, сады или места швартовки катеров, что придает неформальное настроение.

Использование новых конструктивных и архитектурных приемов, таких как типология плавучего жилища, гибкая система коммуникаций, пирсы на незатопляемом уровне, противопожарные стены и морозостойкие дренажи, плавучие сады и террасы, позволило создать уникальную желую среду в непосредственной близости к центру крупнейшего города, не используя земельные ресурсы.

Gouden Kust (голл. Золотое побережье), Маасбоммель

De Gouden Ham это рекреационная водная бухта на реке Маас в г. Маасбоммель, где с 2005 года был реализован проект 34 домов-амфибий и плавучих домов. Здания размещены вдоль протяженной дамбы, обеспечивающей связь зданий с берегом, подвод коммуникаций и выполняющей роль пирса и набережной.

Конструкция понтоном была сделана как можно легче, чтобы максимизировать плавучесть здания в случае подъема воды, что объясняет превалирование конструкций из деревянного каркаса. Понтоны крепятся попарно чтобы обеспечить устойчивость. Два столба, достаточно высоких, чтобы выдержать максимальный уровень подъема воды, вбиваются в землю между зданиями, чтобы удержать их на месте и избежать дрейфа во время половодья. Для обеспечения максимальной безопасности береговой зоны, вершины столбов выше, чем прилегающая дамба.

В периоды исключительно высокого уровня воды, ни дома-амфибии, ни плавучие дома не могут быть доступными для лодок. Дороги, идущие вдоль края дамбы, затапливаются в период половодья, и, хотя понтон, который обычно обеспечивает доступ в плавучий дом, поднимается вместе со зданием, он не связан с дорогой к дамбе.

Колебания уровня воды, и, как следствие, различные высоты самих плавучих домов относительно дамбы, требуют обеспечения гибких соединений труб с существующей инфраструктурой. Все они обладают достаточной длиной, чтобы выдерживать максимальный подъем воды на 4,5 метра и относительной простотой в отношении сетей электричества и водопровода. Но провести соединения с канализацией сложнее: гибкие трубы нуждаются в использовании измельчителя, который перемалывает твердые частицы отходов перед попаданием в трубу.

Дамба позади плавучих домов так высока, что с нее открывается беспрепятственный обзор поверх крыш домов. Общее пространство между домами обеспечивает свободный вид на воду, сады не мешают обзору. Некоторые жители создали водостойкие сады, выбирая виды растений, которые не боятся периодического подтопления. Террасы, обращенные на воду и расположенные со стороны изолированного торца дома, обеспечивают приватность внутреннего пространства.

Применение типологии домов-амфибий обеспечивает жителей комфортным домом в водной среде, исключая возможность затопления. Линейное расположение зданий позволяет всем жителям иметь открытый вид на акваторию и свободный доступ к дому с берега.

Acquavista, Алмере, Нидерланды.

В 2005 году в районе Noorderplassen на озере в северной части города Алмире разными застройщиками были размещены несколько параллельных намывных кос. Одна из кос Acquavista выглядит как крупный урбанизированный квартал на воде. По центральной оси косы расположена тупиковая улица, которая формирует просторный двор.

Каждый дом имеет двойную ориентацию и на воду, и на внутреннее пространство улицы. Большинство из них имеет небольшие участки земли с каждой стороны, в так же садик или балкон со стороны входа и террасу, выходящую на воду. Каждый дом так же оборудован собственным парковочным местом со стороны улицы.

Деревянный настил общественных зон и набережных дает приятное ощущение от звука шагов, напоминая посетителям о том, что они над водой. Он ведет от главной улицы, через лестницу, к отметке непосредственно у кромки воды.



Рисунок 1 - Особенности архитектурных объектов в условиях затопляемых территорий городов Нидерландов

Террасы жителей расположены непосредственно над водой, на отметке ниже, чем само здание, усиливая ощущение жизни у воды. В некоторых случаях часть внутреннего пространства вырезана из объема здания, чтобы создать ощущение того что здание само формируется вокруг пространства, раскрывая интересные связи между домом и окружением.

Открытое тридцатиметровое пространство между косами создает некую приватность. Края дома видны под террасами, что создает четкий и ясный переход от здания к поверхности воды, таким образом, канал между косами кажется шире. Как только к комплексу пришвартовывается несколько лодок, этот контраст исчезает и заменяется плавным контуром, сформированным террасами и лодками в отдалении у воды. Такой подход значительно уменьшает эффект открытости пространства между косами и вместо этого придает более непринужденный характер.

Несмотря на нечеткие границы камыша, водное пространство между островами хорошо просматривается со стороны дороги на береговой линии и деликатно подобранное кирпичное покрытие дома блестит, как и акватория, идеально вписывая квартал в окружение.

К основным архитектурным особенностям комплекса Aquavista можно отнести эффективное архитектурное решение зданий, направленное на взаимодействие с акваторией, подбор отделочных материалов, продуманную организацию внутриворотового пространства, расположение открытых террас в уровне воды.

Nesselande, Роттердам.

Nesselande – современный район-пригород, расположенный на польдере, на северо-восточной окраине Роттердама, разработанный в 2000-х гг. Северная часть разрабатываемой территории, Waterwijk, предполагает размещение комфортабельных домов на воде. С целью обеспечения доступности акватории и достаточной изоляции личного пространства, здания запрещено размещать вплотную к берегу: предусмотрен обязательный разрыв не меньше 1 метра между берегом и водой.

Многие жители оказались крайне изобретательны по отношению к этому метровому разрыву между берегом и зданием и стали заполнять их различными плавающими беседками, террасами, причалами и пауками для катеров. В одном из каналов даже есть водная горка. Все эти случаи доказывают, что жители очень ценят водное расположение своих домов.

Вдоль юго-восточной границы Waterwijk, на открытой воде размещено несколько водных кварталов, запроектированных в полном соответствии с окружением. Со стороны улицы и с торцов этажи этих блоков, каждый из которых состоит из трех зданий, полностью закрыты, но другие фасады и все здание в целом полностью ориентировано на воду. Каждые апартаменты блока имеют сплошную стеклянную стену в раме, ориентированную на акваторию, которая с одной стороны выделяет отдельные квартиры, с другой изолирует внутреннее пространство от соседей и погружает его в контекст. В нижней части рамы расположен балкон, на который выходит гостиная первого этажа. Глубина балкона выбрана таким образом, чтобы из гостиной открывался вид на воду, направляя взгляд в обход прилегающей застройки прямо на акваторию. Фасады зданий подходят непосредственно к воде, оставляя всего метр до поверхности, и, с помощью открытых террас доставляя жителей еще ближе к каналам. Зазор в четыре метра между блоками квартир создает разрыв между террасами и обеспечивает относительную приватность. Небольшие каналы, оставленные между берегом и зданием, создают приятную альтернативу привычному саду и парковке перед обычным коттеджем.

Неподалеку от водных кварталов расположено несколько отдельно стоящих жилых домов. Дизайн самих зданий и план использования прилегающих земель полностью направлены на усиление взаимодействия с окружающей акваторией. Каждый отдельный дом построен на сваях на воде и окружен акваторией с четырех сторон и соединен с набережной с помощью мостков длиной от четырех метров. На берегу расположены дворы, включающие парковочные места. Как только ты проходишь по мосткам и оказываешься внутри, то сразу понимаешь, что находишься в доме на сваях прямо над поверхностью воды. Взаимодействие между структурой здания и водоемом усиливается благодаря тому, что ты видишь воду прямо под домом. Водоем кажется намного масштабнее, чем если бы дом располагался без поднятия на сваи. Первостепенным становится водоем и сразу понятно, что это дом размещен в акватории, а не акватории создана вокруг дома.

Генплан предусматривает четырехстороннюю ориентацию здания на воду. Однако проектировщики сделали нижние уровни домов относительно закрытыми с целью обеспечения уединенности. Однако, несмотря на закрытость, здания по-прежнему выглядят интересно за счет подбора материалов и необычной формы. Для этой застройки так же предусмотрено минимальное расстояние в четыре метра между зданиями. Каждый дом оборудован большой выходящей на акваторию террасой, степень изолированности которой зависит от благоустройства участка напротив. Таким образом, дома, расположенные между узким каналом и береговой линией практически ничем не отгорожены. Так как гостиная расположена прямо над поверхностью воды, в солнечный день она наполняется светом и бликами, отраженными от воды (рис.1).

Приведенные выше примеры показывают, что на архитектурно-планировочную структуру зданий в непосредственной близости к акватории влияют, главным образом, несколько факторов: тип берега (пологий, крутой, пойменный); тип и характер акватории; уровень подъема воды; наличие водных транспортных связей. И, как показывает предыдущая стадия исследования [1], в разной ситуации применяются различные типологии зданий (дома на сваях, плавучие дома, дома-амфибии, дома на дамбе, дома на береговой линии) и варианты их размещения (пирсы, моллы/насыпи, дамбы, намывные острова/косы). Существуют как общие ха-

ракетные архитектурные особенности зданий вблизи акваторий, так и обусловленные специфической типологией и размещением, рассмотрим их подробнее.

Общие архитектурно-планировочные особенности зданий на затопляемых территориях на примере архитектуры Нидерландов:

- 1) Ориентация фасада здания на акваторию (закрытый главный фасад, ориентированный на берег, открытый внутренний фасад, ориентированный на воду)
- 2) Подчинение планировки здания окружающей акватории (террасы и балконы, общие и жилые пространства ориентированы на акваторию, гаражи, подсобные и хозяйственные помещения ориентированы на берег/ улицу)

3) Использование экологичных материалов, технологий и коммуникаций

Особенности типологий зданий на воде на примере архитектуры Нидерландов:

1) Плавающие дома: защита от волн, устойчивость и центр тяжести, гибкие коммуникации, заводское изготовление по технологии «prefab», учет особенностей распространения света и звука над поверхностью воды, обеспечение циркуляции воды под зданием, нормирование площади плавучего основания, использование понтонов-террас под общественные, рекреационные функции, благоустройство.

2) Дома-амфибии: необходимость фиксации швартовочными столбами, фиксированный максимальный уровень подъема воды, гибкие коммуникации, усиленное понтонное основание, дренажные системы.

3) Дома на сваях/ дома на береговой линии: фиксированный максимальный уровень подъема воды, использование нижнего уровня под нежилые помещения, нормирование расстояния от здания до поверхности воды.

Выявленные архитектурно-планировочные особенности зданий на затопляемых территориях в Нидерландах могут быть учтены при разработке рекомендаций по освоению подобных территорий в конкретных регионах России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михайлова Е.А. Градостроительные особенности проектирования архитектурных объектов на затопляемых береговых территориях в Нидерландах // Архитектон: известия вузов. - Март 2016. - №53.
2. Найфельд Л.Р. Инженерная подготовка пойменных и заболоченных территорий для градостроительства/ Найфельд Л.Р. – М.: Стройиздат, 1974. – 183с.
3. Литвинов Д.В. Градоэкологические принципы развития прибрежных зон на примере крупных городов [Текст]: дис. канд. арх. наук : 18.00.04 / Д.В. Литвинов – Санкт-Петербург, 2009 - 204 стр.
4. Маташова М.А. Эколого-градостроительная оптимизация приречных территорий [Текст]: дис. канд. арх. наук : 05.23.22 / М.А. Маташова – Санкт-Петербург, 2011 - 230 стр.
5. Anne Loes Nillesen, Amphibious housing in the Netherland/ Nillesen A.L. – Rotterdam: NAI Uitgevers, 2011 – 127.
6. Donald Watson, Design for Flooding: Architecture, Landscape, and Urban Design for Resilience to Climate Change/ Watson D. – USA: Wiley & Sons Inc., 2011 – 310.
7. Koen Olthuis, Float!: Building on Water to Combat Urban Congestion and Climate Change/ Koen Olthuis – Amsterdam: Frame Publishers, 2010 – 304.
8. Защита от наводнений в Нидерландах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/Защита_от_наводнений_в_Нидерландах
9. Defacto Architecture&Urbanism [Электронный ресурс]. –Режим доступа: <http://d.efac.to/en/urbanism>

Михайлова Екатерина Алексеевна

Самарский государственный архитектурно-строительный университет (СГАСУ), г. Самара

Ассистент кафедры «Архитектура», аспирант кафедры «Архитектура» СГАСУ.

E-mail: arch_katherine@rambler.ru

E. MIKHAILOVA

ARCHITECTURAL PLANNING DESIGN FEATURES IN THE FLOODED AREAS IN THE CITIES OF NETHERLANDS

The article describes architectural planning design features in the flooded areas. The urgency of the problem of development of flooded areas of cities is detected. Implemented buildings and structures in

flooded areas in the Netherlands was considered in detail and analyzed. Architectural and planning specifics of each building is revealed. The findings are systematized and divided into two groups: general architectural and planning features of buildings in the flooded areas, the architectural features of specific typologies of buildings that are suitable for placing on the flooded areas.

Keywords: *architectural features, flooded areas, the Netherlands, houseboats, amphibious houses, coastal areas, the water area.*

BIBLIOGRAPHY

1. Mikhaylova Ye.A. Gradostroitel'nyye osobennosti proyektirovaniya arkhitekturnykh ob'yektov na zatoplyayemykh beregovykh territoriyakh v Niderlandakh // Arkhitekton: izvestiya vuzov. - Mart 2016. - №53.
2. Nayfel'd L.R. Inzhenernaya podgotovka poymennykh i zabolochennykh territoriy dlya gradostroitel'stva/ Nayfel'd L.R. – M.: Stroyizdat, 1974. – 183s.
3. Litvinov D.V. Gradoekologicheskiye printsipy razvitiya pribrezhnykh zon na primere krupnykh gorodov [Tekst]: dis. kand. arkh. nauk : 18.00.04 / D.V. Litvinov – Sankt-Peterburg, 2009 - 204 str.
4. Matashova M.A. Ekologo-gradostroitel'naya optimizatsiya prirechnykh territoriy [Tekst]: dis. kand. arkh. nauk : 05.23.22 / M.A. Matashova – Sankt-Peterburg, 2011 - 230 str.
5. Anne Loes Nillesen, Amphibious housing in the Netherland/ Nillesen A.L. – Rotterdam: NAI Uitgevers, 2011 – 127.
6. Donald Watson, Design for Flooding: Architecture, Landscape, and Urban Design for Resilience to Climate Change/ Watson D. – USA: Wiley & Sons Inc., 2011 – 310.
7. Koen Olthuis, Float!: Building on Water to Combat Urban Congestion and Climate Change/ Koen Olthuis – Amsterdam: Frame Publishers, 2010 – 304.
8. Zashchita ot navodneniy v Niderlandakh [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: https://ru.wikipedia.org/Zashchita_ot_navodneniy_v_Niderlandakh
9. Defacto Architecture&Urbanism [Elektronnyy resurs]. –Rezhim dostupa: <http://d.efac.to/en/urbanism>

E. Mikhailova

Samara state university of architecture and civil engineering, Samara
Postgraduate, assistant of the Architecture department.
E-mail: arch_katherine@rambler.ru

УДК 691.33

ФЕДЮК Р.С.

ДИФФУЗИОННАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОСТАВА ФИБРОБЕТОНА

В статье представлены разработанные композиционные вяжущие вещества, которые были получены в результате совместного помола в варио-планетарном помольном агрегате портландцемента, сухого гиперпластификатора, золы уноса ТЭС и отсева дробления известняка. В результате исследований, выявлена положительная динамика роста прочностных характеристик композиционного вяжущего при совместном влиянии нанодисперсных компонентов с максимальным повышением активности вяжущего до 62%. Выявлено, что удельная поверхность вяжущего вещества 550–600 м²/кг является оптимальной. Доказано, что оптимизация структуры на макроуровне (применение стального фиброволокна) позволяет увеличить предел прочности при сжатии на 24%. В ходе теоретических и экспериментальных исследований установлено, что разработанный состав бетона имеет эффективный коэффициент диффузии $D_{\text{ф}}=1,34 \times 10^{-4} \text{ см}^2/\text{с}$, способный обеспечивать нормативные характеристики при проектировании фибробетонных конструкций специальных сооружений, и по характеристике газопроницаемости относится к бетонам особо низкой проницаемости.

Ключевые слова: вяжущий композит, портландцемент, зола уноса ТЭС, известняк, гиперпластификатор, оптимизация.

Современное строительство в последние десятилетия использует широкую номенклатуру бетонов и железобетонов, предназначенных для самых различных конструкций и сооружений. При возведении ряда сооружений специального назначения надо стремиться к обеспечению параметров непроницаемости железобетонных конструкций для проникновения жидкости, газа и пара. Вопросам оптимизации плотности и физико-механических характеристик бетонов посвящено немалое количество научных трудов как отечественных, так и зарубежных исследователей [1-5]. Для выполнения обозначенных целей необходимо применять целый ряд методов [6, 7, 12], в частности, повышение плотности упаковки цементного камня, введение активных минеральных добавок, измельчение вяжущего вещества композитного состава до наноразмеров, варьирование водоцементного отношения.

Сотрудниками Дальневосточного федерального университета совместно с Белгородским государственным технологическим университетом им. В.Г. Шухова была разработана широкая номенклатура фибробетонов на сырьевых ресурсах Приморского края. При подборе материалов для вяжущего композита и заполнителей решались как экономические, так и экологические задачи [8-11]. В частности, помимо экономии денежных средств на портландцемент, одним из результатов массового внедрения производства фибробетонов и изделий на их основе, будет являться освобождение большой площади золоотвалов, оборудованных при теплоэлектростанциях. Это способствует достижению сместившегося в последнее время акцента на экологичное строительство.

Для решения поставленной задачи были предложены вяжущие вещества композитного состава, полученные путем совместного помола портландцемента, сухого гиперпластификатора, золы уноса ТЭС и отсева дробления известняка. Следует отметить, что зола уноса ТЭС и отсев дробления известняка являются техногенными отходами, располагающимися в отвалах на территории Приморского края.

С целью выявления оптимального количества компонентов в системе «цемент–зола–известняк», был осуществлен их помол до удельной поверхности 600 м²/кг при различном со-

отношении компонентов. В качестве рабочей гипотезы была выдвинута возможность замены до 50% цемента отходами сжигания угля и отсевом горнодобывающей промышленности.

Как результат, была установлена положительная динамика повышения прочностных характеристик вяжущего композита при совместном влиянии нанодисперсных составляющих золы уноса, отсева дробления известняка и порошкового гиперпластификатора с максимальным повышением активности вяжущего до 62% (табл. 1). Таким образом, замена цемента техногенными отходами позволяет достигать высоких физико-механических показателей композиционного вяжущего.

Для определения оптимального размера частиц был произведен совместный помол цемента с гиперпластификатором, золой уноса и отсевом дробления известняка (состав № 7, табл. 1) до различных показателей удельной поверхности: 500, 550, 600, 700, 800, 900 м²/кг (табл. 2). Современные варио-планетарные мельницы позволяют измельчать твердые вещества до указанных размеров при сравнительно небольших затратах энергетических ресурсов.

Таблица 1 – Составы и свойства композиционных вяжущих

№	Содержание цемента, мас. %	Зола унос, мас. %		Известняк, мас. %	Предел прочности при сжатии, МПа		
		Владивостокская ТЭЦ-2	Артемовская ТЭЦ		3 сут.	7 сут.	28 сут.
1*	100	–	–	–	17	32,5	43,5
2	30	–	50	20	30,2	40,1	50,4
3	35	45	–	20	34,2	43,1	53,2
4	40	–	45	15	36,6	48,2	56,6
5	45	45	–	10	39,2	50,1	59,2
6	50	–	40	10	45,1	54,9	65,8
7	55	40	–	5	47,2	54,1	70,2
8	100 (ВНВ)	–	–	–	60,3	81	103,2

* контрольный образец – портландцемент производства ОАО «Спаскцемент»

Таблица 2 – Активность композиционного вяжущего в зависимости от удельной поверхности

Твердение, сут.	Удельная поверхность композиционного вяжущего $S_{уд}$, м ² /кг					
	500	550	600	700	800	900
3	46,1	47,4	47,2	46,0	45,6	45,5
7	50,3	54,2	54,1	49,1	48,6	48,4
28	68,1	77,3	70,2	65,8	55,0	65,0

Установлено, что удельная поверхность вяжущего 550–600 м²/кг является оптимальной. Повышение $S_{уд}$ выше указанных параметров не приводит к дальнейшему существенному росту прочности. Необходимо отметить сокращение сроков схватывания вяжущего до 35-40 мин. в результате интенсификации процесса гидратации при влиянии высокоактивных составляющих компонентов. В данном вяжущем, зола уноса ТЭС образует собой новые центры кристаллизации, частички известняка кольматируют капиллярные поры, а гиперпластификатор снижает водоцементное отношение смеси.

Таким образом, в результате комплексных теоретических и экспериментальных исследований, оптимальными выбраны параметры вяжущего композита с удельной поверхностью 550 м²/кг, размером частиц 0,15-500 мкм, средним диаметром частиц зерен 0,65-11,2 мкм. Здесь надо отметить, что показатели нормальной густоты цементного теста данного вяжущего вещества на 35-45% ниже, чем на традиционном цементе ЦЕМ I 42,5Н; это подтверждает более плотную упаковку структуры разрабатываемого композита. Увеличение плотности упаковки, в свою очередь, оказывает положительное влияние на снижение диффузионной проницаемости цементного камня.

Изучение физико-механических свойств мелкозернистого бетона показало, что применение вяжущего композита, полученного путем совместного помола портландцемента, золы уноса ТЭС, отсевов дробления известняка и сухого гиперпластификатора, позволило повысить предел прочности при сжатии мелкозернистого бетона на 21% при сокращении до 2 раз доли цемента. В разработанном составе бетона значительно выше, чем у контрольных образцов призмная прочность и модуль упругости (табл. 3). Это достигается за счет совместного действия комплекса факторов: использования активных и инертных минеральных веществ, измельчение их, оптимизация водовяжущего отношения.

Для дальнейшей оптимизации структурообразования мелкозернистого бетона на макроуровне была использована стальная анкерная фибра производства ООО «Фибра для бетона» (ТУ 0991-123-538-32025-2001). С учетом ранее выполненных исследований за контрольный был принят состав 7 (табл. 1), в который вводили фибру в количестве от 24 до 45 кг/м³, т.е. до 2% от общей массы смеси с шагом 0,2%. Выявлено, что оптимизация структуры на макроуровне позволяет повысить предел прочности при сжатии на 24% (табл. 4). Следует отметить, что стальная фибра показала наилучшие показатели по работе в теле бетона по сравнению с базальтовой и полипропиленовой.

Таблица 3– Физико-механические характеристики мелкозернистого бетона в зависимости от состава вяжущего

№ состава	Расход материалов на 1 м ³							Подвижность (ОК), см	Предел прочности при сжатии, МПа	Призмная прочность, МПа	Модуль упругости
	Вяжущее, кг				Отсев дробления гранитного щебня, кг	Песок, кг	Вода, л				
	Цемент	Зола	Известняк	ГП							
1*	550	-	-	1,2	1000	623	220	10-12	107,5	86,3	61,2
2	288	235	27				240		83,7	59,5	43,8
3	275	246	29				241		84,2	60,3	44,5
4	257	257	36				242		76,3	55,2	40,9
5	244	268	38				243		75,2	55,0	40,8
6	230	278	42				244		75,0	54,9	40,8
7**	550	-	-				215		63,1	42,3	36,2

* Вяжущее низкой водопотребности с удельной поверхностью 550 м²/кг.

** Вяжущее на основе портландцемента производства ОАО «Спасскцемент».

Таблица 4 – Зависимость прочности мелкозернистого фибробетона от процента армирования

№ состава	Расход материалов на 1 м ³ , кг				Армирование, %	R _{сж} , МПа
	Вяжущее	Вода	Заполнитель	Фибра		
1*	550	240	1623	-	0	81,3
2	550	240	1623	23,97	1	96,1
3	550	240	1623	28,76	1,2	97,3
4	550	240	1623	33,56	1,4	99,8
5	550	240	1623	38,35	1,6	100,9
6	550	240	1623	43,15	1,8	99,5
7	550	240	1623	47,94	2	99,6

* Контрольный состав соответствует составу № 7 (табл. № 1)

Диффузионная проницаемость представляет собой проницаемость бетона для вещества при отсутствии градиента давления и наличии разности концентраций, вызванной диффузией

вещества. В ходе испытаний был применен метод определения диффузионной проницаемости бетона для углекислого газа. Характеристики газопроницаемости были определены по эффективному коэффициенту диффузии CO_2 в карбонизированном слое бетона на образцах-кубах с ребром 100 мм. Испытуемые бетонные образцы были выполнены из состава № 3 по табл. 3, который показал наилучшие показатели в исследовании других характеристик проницаемости (водо-, паропроницаемость и водопоглощение). В ходе выполнения испытаний, проведенных в лаборатории строительных материалов БГТУ им. В.Г. Шухова, использовались нормативные методики.

Данные методики устанавливают порядок испытаний диффузионной проницаемости бетона для CO_2 , на основании данных о скорости нейтрализации (карбонизации) бетона углекислым газом, в отсутствие градиента общего давления газовой среды при наличии разности концентрации CO_2 в бетонном образце и окружающей среде в период, когда процесс нейтрализации ограничен скоростью диффузии CO_2 в пористой структуре бетона. Они предназначены для использования при разработке технологии и проектировании составов бетона, обеспечивающих длительную безремонтную эксплуатацию конструкций в неагрессивных и агрессивных газовой среде. В частности, данные бетоны могут быть применены в подземных инженерных сооружениях, или в военно-инженерных фортификационных сооружениях.

Определение диффузионной проницаемости бетона по отношению к CO_2 дает возможность исследователям и технологам:

- рассчитывать период, в течение которого происходит нейтрализация защитного слоя бетона в газовой среде, и оценивать долговечность ж/б конструкций по признаку сохранности стальной арматуры;

- назначать составы и технологию изготовления бетонов для ж/б конструкций, предназначенных для эксплуатации в атмосфере с заданным содержанием CO_2 .

В ходе проведенного эксперимента выявлено среднее значение толщины нейтрализованного слоя бетона X , см по формуле:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n},$$

где, $n=10$ – число измерений (табл. 5).

Таблица 5- Средние значения толщины нейтрализованного слоя бетона X , см

№ образца	X_i	$X_i - X$	$(X_i - X)^2$
1	7	-1,4	1,96
2	6,5	-1,9	3,61
3	11	2,6	6,76
4	10,5	2,1	4,41
5	7,5	0,9	0,81
6	8,5	0,1	0,01
7	10	1,6	2,56
8	9,5	1,1	1,21
9	7	-1,4	1,96
10	6,5	-1,9	3,61
Всего	84		26,9

Среднее квадратичное отклонение вычисляется следующим образом:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - X)^2}{n - 1}}.$$

В данном случае расчет производится с надежностью 95% и вероятностью риска $2\beta=0,05$.

Границы поля допуска определяются по формулам:

$$t_1 = X - L \times S; \quad t_2 = X + L \times S.$$

Величина L определяется по справочной литературе.

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = \frac{84}{10} = 8,4$$

$$S = \sqrt{\frac{(X_i - X)^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{26,9}{10 - 1}} = 1,73$$

$$t_1 = X - L \times S = 8,4 - 3,39 \times 1,73 = 2,54 \text{ мм}$$

$$t_2 = X + L \times S = 8,4 + 3,39 \times 1,73 = 14,26 \text{ мм.}$$

Диффузионную проницаемость бетона рассчитывали по верхней границе поля допуска, т.е. глубину карбонизации принимали равной 14,3 мм (округленное значение t_2).

В результате химического анализа бетона была рассчитана реакционная емкость бетона m_0 в относительных величинах по формуле:

$$m_0 = 0,4Cp f = 0,4 \times 210 \times 0,6 \times 0,6 = 30,24,$$

где, C - содержание цемента, г в 1 см³ бетона;

p - количество основных оксидов в цементе в пересчете на оксид кальция в относительных величинах по массе, было принято по данным химического анализа портландцемента (для приближенного расчета $p = 0,6$);

f - степень нейтрализации бетона, которая вычисляется как отношение количества основных оксидов, вступивших во взаимодействие с CO₂, к общему их количеству в цементе (в среднем $f = 0,6$).

Эффективный коэффициент диффузии CO₂ в бетоне D' рассчитывали по формуле:

$$D\phi = \frac{m_0 X^2}{2Ct} = \frac{30,24 \times 0,84^2}{2 \times 0,1 \times 4 \times 24 \times 3600} = 1,34 \times 10^{-4} \text{ см}^2/\text{с.}$$

Согласно ГОСТ Р 52804-2007, оценка проницаемости бетона для CO₂ производится по следующим показателям (табл. 6).

Таблица 6- Оценка проницаемости бетона для углекислого газа

Характеристика проницаемости бетона	Эффективный коэффициент диффузии углекислого газа $D \cdot 10^4$, см ² /с
Бетон нормальной проницаемости	Свыше 0,2 до 1,0
Бетон пониженной проницаемости	От 0,04 до 0,2
Бетон особо низкой проницаемости	Менее 0,04

Исходя из результатов вышеизложенных исследований, в результате исследований установлено, что разработанный фибробетон имеет эффективный коэффициент диффузии $D\phi = 1,34 \times 10^{-4}$ см²/с, который способен обеспечивать нормативные характеристики при проектировании бетонных конструкций сооружений специального назначения, по характеристике газопроницаемости относится к бетонам особо низкой проницаемости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чернышов, Е.М. Структурная неоднородность строительных композитов: вопросы материаловедческого обобщения и развития теории (часть 2) / Е.М. Чернышов // Российская академия архитектуры и строительных наук. Вестник отделения строительных наук. Научное издание. Вып. 15. – Москва-Орел-Курск, 2011. – С.223-239.
2. Лесовик, В.С. Использование промышленных отходов в производстве строительных материалов [Текст] / В. С. Лесовик. – М. : Высш. шк., 1987. – 111 с.
3. Баженов, Ю.М. Структура и свойства бетонов с наномодификаторами на основе техногенных отходов [Текст] / Ю.М. Баженов, Л.А. Алимов, В.В. Воронин. – М.: МГСУ, 2013. - 204 с.
4. Chung S.-Y. Reconstruction and evaluation of the air permeability of a cement paste specimen with a void distribution gradient using CT images and numerical methods [Text] / Chung S.-Y., Han T.-S., Kim S.-Y. // Construction and Building Materials. – 2015. – Vol. 87.- Pp 45-53
5. Толстой, А.Д. Композиционные вяжущие для порошковых бетонов с промышленными отходами [Текст] / А.Д. Толстой, В.С. Лесовик, И.А. Ковалева // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. - 2016. - № 1. - С. 6-9.
6. Лесовик, В.С. Теоретические предпосылки создания цементных композитов повышенной непроницаемости [Текст] // В.С. Лесовик, Р.С. Федюк // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. - 2016. - № 1 (47). - С. 65-72.
7. Лесовик, В.С. Вопросы повышения непроницаемости фибробетонов на композиционном вяжущем [Текст] / В.С. Лесовик, Л.А. Урханова, Р.С. Федюк // Вестник ВСГУТУ. - 2016. - № 1. - С. 5-10.
8. Хозин, В.Г. Эффективность применения золы уноса Гусиноозерской ГРЭС в составе цементов низкой водопотребности [Текст] / В.Г. Хозин, О.В. Хохряков, А.В. Битуев, Л.А. Урханова // Строительные материалы. – 2011. - № 7. - С. 76-78.
9. Лесовик, В.С. Сродство структур как теоретическая основа проектирования композитов будущего [Текст] / В.С. Лесовик, Л.Х. Загороднюк, И.Л. Чулкова, А.Д. Толстой, А.А. Володченко // Строительные материалы. – 2015. - № 9. – С. 18-22.
10. Урханова, Л.А. Перспективы развития малоэтажного жилищного строительства в Республике Бурятия с использованием инновационных технологий домостроения [Текст] / Л.А. Урханова, Д.Р. Дамдинова, Р.Р. Беппле, П.К. Хардаев, С.М. Нейман // Вестник ВСГУТУ. - 2013. - № 5 (44). - С. 108-112.
11. Пухаренко, Ю.В. Влияние условий твердения на формирование структуры и свойств фибробетона [Текст] / Ю.В. Пухаренко, И.У. Аубакирова, Д.К. Хань // Вестник гражданских инженеров. - 2015. - № 1 (48). - С. 157-160.
12. Лукутцова, Н.П. Кинетические модели для оценки агрегативно-седиментационной устойчивости высокодисперсных добавок к бетону и раствору, полученных ультразвуковым диспергированием минеральных компонентов в водной среде [Текст] / Лукутцова Н.П., Кудеш И.А., Антоненкова О.Е., Пыкин А.А., Устинов А.Г., Мацаенко А.А., Суглобов А.В. // Строительство и реконструкция. - 2015.- № 1 (57). - С. 130-136.

Федюк Роман Сергеевич

Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток

Старший преподаватель учебного военного центра

E-mail: roman44@yandex.ru

R. FEDIUK

DIFFUSION PERMEABILITY DEPENDING ON THE COMPOSITION OF FIBER CONCRETE

Proposed composite binders produced by co-grinding cement giperplastifikatora, ash and limestone crushing screenings. The positive dynamics of growth in the strength of the composite binder combined influence of fine components with the maximum increase in binding activity by 62%. It is found that the specific surface binder 550-600 m² / kg is optimal. It was revealed that the optimization of the structure at the macro level (the use of steel fiber) increases the compressive strength at 24%. The studies found that the concrete has developed an effective diffusion coefficient of $D_{\text{eff}}=1,34 \times 10^{-4}$ cm² /s, allowing to provide the design characteristics of the design of concrete structures special structures for gas permeation characteristics particularly relates to low-permeability concretes.

Keywords: composite binders, cement, fly ash, limestone, hyperplasticizer optimization.

BIBLIOGRAPHY

1. Chernyshov, Ye.M. Strukturnaya neodnorodnost' stroitel'nykh kompozitov: voprosy materialovedche-skogo obobshcheniya i razvitiya teorii (chast' 2) / Ye.M. Chernyshov // Rossiyskaya akademiya arkhitektury i stroitel'nykh nauk. Vestnik otdeleniya stroitel'nykh nauk. Nauchnoye izdaniye. Vyp. 15. – Moskva-Orel-Kursk, 2011. – S.223-239.
2. Lesovik, B.C. Ispol'zovaniye promyshlennykh otkhodov v proizvodstve stroitel'nykh materialov [Tekst] / V. S. Lesovik. – M. : Vyssh. shk., 1987. – 111 s.
3. Bazhenov, YU.M. Struktura i svoystva betonov s nanomodifikatorami na osnove tekhnogennykh otkhodov [Tekst] / YU.M. Bazhenov, L.A. Alimov, V.V. Voronin. – M.: MGSU, 2013. – 204 s.
4. Chung S.-Y. Reconstruction and evaluation of the air permeability of a cement paste specimen with a void distribution gradient using CT images and numerical methods [Text] / Chung S.-Y., Han T.-S., Kim S.-Y. // Construction and Building Materials. – 2015. – Vol. 87.- Pp 45-53
5. Tolstoy, A.D. Kompozitsionnyye vyazhushchiye dlya poroshkovykh betonov s promyshlennymi otkhodami [Tekst] / A.D. Tolstoy, V.S. Lesovik, I.A. Kovaleva // Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova. – 2016. – № 1. – S. 6-9.
6. Lesovik, V.S. Teoreticheskiye predposylki sozdaniya tsementnykh kompozitov povyshennoy nepronnitsayemosti [Tekst] // V.S. Lesovik, R.S. Fedyuk // Vestnik Sibirskoy gosudarstvennoy avtomobil'no-dorozhnoy aka-demii. – 2016. – № 1 (47). – S. 65-72.
7. Lesovik, V.S. Voprosy povysheniya nepronnitsayemosti fibrobetonov na kompozitsionnom vyazhushchem [Tekst] / V.S. Lesovik, L.A. Urkhanova, R.S. Fedyuk // Vestnik VSGUTU. – 2016. – № 1. – S. 5-10.
8. Khozin, V.G. Effektivnost' primeneniya zoly unosa Gusinozerskoy GRES v sostave tsementov nizkoy vodopotrebnosti [Tekst] / V.G. Khozin, O.V. Khokhryakov, A.V. Bituyev, L.A. Urkhanova // Stroitel'nyye materialy. – 2011. – № 7. – S. 76-78.
9. Lesovik, V.S. Srodstvo struktur kak teoreticheskaya osnova proyektirovaniya kompozitov budushchego [Tekst] / V.S. Lesovik, L.KH. Zagorodnyuk, I.L. Chul-kova, A.D. Tolstoy, A.A. Volodchenko // Stroitel'nyye materi-aly. – 2015. – № 9. – S. 18-22.
10. Urkhanova, L.A. Perspektivy razvitiya maloetazhnogo zhilishchnogo stroitel'stva v Respublike Burya-tiya s ispol'zovaniyem innovatsionnykh tekhnologiy domostroyeniya [Tekst] / L.A. Urkhanova, D.R. Damdinova, R.R. Beppe, P.K. Khardayev, S.M. Neyman // Vestnik VSGUTU. – 2013. – № 5 (44). – S. 108-112.
11. Pukhareno, YU.V. Vliyaniye usloviy tverdeniya na formirovaniye struktury i svoystv fibrobetona [Tekst] / YU.V. Pukhareno, I.U. Aubakirova, D.K. Khan // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. – 2015. – № 1 (48). – S. 157-160.
12. Lukutsova, N.P. Kineticheskiye modeli dlya otsenki agregativno-sedimentatsionnoy ustoychivosti vysokodispersnykh dobavok k betonu i rastvoru, poluchennykh ul'trazvukovym dispergirovaniyem mineral'nykh komponentov v vodnoy srede [Tekst] / Lukutsova N.P., Kudesh I.A., Antonenkova O.Ye., Pykin A.A., Ustinov A.G., Matsayenko A.A., Suglobov A.V. // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. – 2015.- № 1 (57). – S. 130-136.

R. Fediuk

Far Eastern Federal University, Vladivostok
Senior Lecturer of the military training center
E-mail: roman44@yandex.ru

ШАЛЕННЫЙ В.Т., МОРОЗ В.В.

ВОЗМОЖНОСТЬ СОКРАЩЕНИЯ СРОКОВ ОКУПАЕМОСТИ ИНВЕСТИЦИЙ В ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПУТЕМ УЧЕТА И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ И ДРУГИХ МЕРОПРИЯТИЙ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ

Предложена уточненная модель оценки сроков окупаемости вложений в реконструкцию гражданских зданий. Она комплексно учитывает как ожидаемую экономию энергоресурсов за счет утепления или замены ограждающих конструкций, так и другие возможные выгоды модернизации, такие как получение дополнительных строительных объемов и площадей, а также экономии на ремонтах. Показаны примеры конструктивно-технологических решений, реализующих этот подход в практику реконструкции гражданских зданий. Представлены некоторые объемно-конструктивно-технологические решения по реконструкции преимущественно пятиэтажных жилых зданий массовой послевоенной застройки с их надстройкой и пристройкой, позволяющие существенно продлить их жизненный цикл с уменьшением последующих эксплуатационных затрат.

Ключевые слова: реконструкция, окупаемость инвестиций, энергозатраты, надстройка.

Постановка проблемы. Закон РФ 261-ФЗ от 23 ноября 2009г. «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, ...» [1], принятые в его развитие и конкретизацию Постановление Правительства РФ №18 от 26.03.2014г. «Об установлении требований энергетической эффективности для зданий...» [2], и решение Совета Национального объединения проектировщиков №59 от 04.06.2014 «Об утверждении и введении в действие стандарта СТО НОП 2.1-2014 «Требования по составу и содержанию энергетического паспорта жилого и общественного здания» [3], а также накопленный положительный опыт развитых стран в части широкого внедрения энергосберегающих технологий, создали необходимые предпосылки для принципиальных энергосберегающих подвижек и в строительном-коммунальном секторе российской экономики. Однако до сих пор заинтересовать инвестора вложениями в энергосбережение достаточно сложно потому, что «... развитые страны имеют более выгодные условия для развития энергоэффективности» [4, 5]. Вместе с тем, в результате осуществления продуманной ресурсосберегающей реконструкции, можно получить и учесть и другие выгоды, которые могут заинтересовать потенциальных инвесторов в части сокращения сроков окупаемости их вложений.

Анализ достижений и публикаций. В соответствии с «Методическими рекомендациями ...» ЦНИИЭПжилища [6], а затем и всего экономического блока Правительства РФ [7], срок окупаемости вложений в реконструкцию определяется отношением этих вложений и полученных или ожидаемых выгод от ее осуществления, приведенных (про дисконтированных) к определенному моменту времени. В результате осуществления терморевитации гражданского здания с переходом на новый уровень энергоэффективности полученной выгодой принято считать экономию в денежном выражении энергозатрат на поддержание комфортных условий внутри помещений по сравнению с годовыми затратами этого же объекта до реконструкции.

Аналитически срок окупаемости получают путем решения уравнения накапливаемой совокупной стоимости, а графически интерпретируется как точка пересечения кривых дополнительных дисконтированных затрат на утепление здания и суммарной многолетней экономии, полученной от утепления. Сразу же после появления перечисленных рекомендаций, таким подходом успешно воспользовался тогдашний председатель Госкомитета Украины по энергосбережению В.Т. Меркушов под руководством д.т.н., профессора Савицкого Н.В. при сравнении известных «мокрых» технологий утепления [8]. Работа подтвердила пока что низкую эффективность мероприятий по утеплению из-за, комплексно учтенных в модели, высоких банковских ставок на заемный капитал, относительно высоких затратах на реализацию

преимущественно зарубежных технологий утепления при тогда еще далеких от мировых цен на энергоносители.

Поэтому, не только фактически, но и теоретически, сроки окупаемости энергосберегающих мероприятий часто превышают приемлемые для инвестора пределы. В то же время можно предположить, что в процессе продуманной реконструкции, пусть иногда и с неизбежными дополнительными расходами, можно ликвидировать физический износ большинства несущих и ограждающих конструкций, а значит, отложить на определенный срок проведение текущих, а иногда и капитального, ремонтов. Это также экономия средств, которую следовало бы заложить в уточненную модель срока окупаемости.

Но еще более реальный путь сокращения срока окупаемости – учет дополнительно получаемых в результате реконструкции строительных площадей, например, путем надстройки и пристройки. По сравнению с новым строительством, себестоимость такого жилья будет существенно ниже нового строительства в том же районе и тем более, продажи или сдачи в аренду коммерческой недвижимости. В России и за рубежом накоплен огромный положительный опыт реконструкции малоэтажной застройки с пристройкой и надстройкой, в том числе, и из сборных железобетонных пространственных конструкций заводского изготовления [9]. В этом направлении нам известны и последние разработки специалистов Юго-Западного государственного университета [10].

Цель нашей работы – представить уточненную модель ожидаемых сроков окупаемости инвестиций в реконструкцию гражданских зданий с их термореновацией, в которой комплексно учитывались бы и другие перечисленные выгоды, получаемые в результате продуманной реконструкции. Представляются и примеры разработок, направленных на комплексное конструктивно-технологическое решение обозначенной научно-технической проблемы.

Исследовательская часть. Нами предлагается уточненная модель выбора возможного инвестиционно привлекательного варианта продления жизненного цикла объекта реконструкции по критерию срока окупаемости $T_{ок}^i$ дополнительных инвестиций DK_i . Модель учитывает, как экономический эффект от внедрения энергосберегающих мероприятий при реконструкции здания, так и часть других, сопровождающих реконструкцию, коммерческих и социальных выгод от реализации подобного проекта. Как и в упомянутой модели В.Т. Меркушова, срок окупаемости определяется решением относительно времени t уравнения

$$\Delta K_i(t) - \Delta \mathcal{E}_i(t) = 0, \quad (1)$$

в котором дополнительные, приведенные к общей площади объекта инвестиции DK_i будут:

$$\Delta K_i(t) = \frac{K_i(t)}{F + f_i}, \quad (2)$$

где K_i - суммарные инвестиции в реконструкцию с термореновацией по i -тому варианту ее осуществления, включая прямые затраты (материалы, зарплата, эксплуатация машин и механизмов), накладные и непредвиденные расходы, а также планируемую прибыль подрядных организаций и фирм; F - общая (полезная) площадь здания до его реконструкции, f_i - дополнительная полезная площадь здания, возможно полученная в результате реконструкции по i -тому варианту ее осуществления.

$\mathcal{D}\mathcal{E}_i(t)$ - ежегодно накапливаемая экономия эксплуатационных затрат, которую следует ожидать в результате проведения мероприятий по реконструкции с термореновацией в i -том варианте проекта.

Графически (рисунок 1) решением уравнения (1) будет точка пересечения кривых $DK_i(t)$ и $\mathcal{D}\mathcal{E}_i(t)$. Для учета обесценивания денег во времени, как ранее понесенные издержки, так и ежегодно накапливаемые выгоды от реализации проекта продления жизненного цикла гражданского здания, будем приводить к одному будущему моменту времени путем их дисконтирования. Применяя экономичные конструктивные, строительные-отделочные и утепляющие системы, можно добиться снижения удельных затрат на термореновацию.

Даже большие абсолютные капиталовложения K_i с приростом общей площади f_i могут дать более экономически целесообразный вариант при существенном ее приращении. При этом возможные варианты проектов реконструкции, с точки зрения необходимых удельных инвестиций, будут характеризоваться семейством соответствующих кривых $DK_i(t)$, изображенных пунктирными линиями. Вариант с меньшими удельными инвестициями $DK_{i-1}(t)$ раньше пересечет кривую экономии затрат на поддержание микроклимата в помещениях $D\mathcal{E}_i(t)$ и раньше наступит момент окупаемости понесенных затрат.

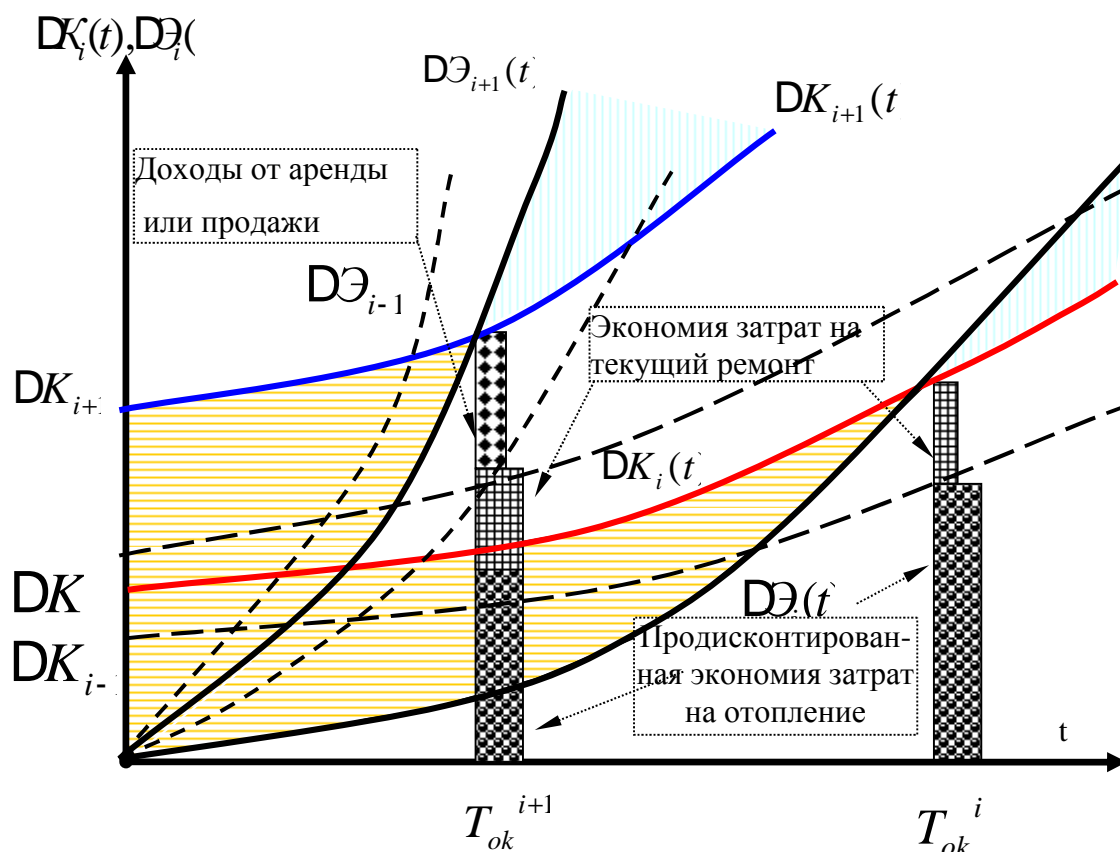


Рисунок 1 – Модель управления выбором варианта модернизации гражданских зданий с учетом прогнозируемой экономии энергоресурсов, получения дополнительных строительных площадей и экономии затрат на последующее содержание восстановленных объектов

Если прироста общей площади не будет достигнуто ($f_i = 0$), то в $D\mathcal{E}_i(t)$ войдут экономия затрат на отопление в i -том варианте проекта (темнее заштрихованный отрезок в составе $D\mathcal{E}_i(t)$), а также экономия издержек на текущие ремонты. В $i+1$ -м варианте сюда, кроме того, войдут и дисконтированные доходы от сдачи дополнительно полученных площадей в аренду (светлее заштрихованный верхний отрезок). По одному из признанных методов оценки объектов недвижимости (метод “капитализации” дохода), эти доходы и составляют возможную рыночную стоимость продажи помещений [11]. Таким образом, в составе $D\mathcal{E}_{i+1}(t)$, возможно учесть и доходы от реализации полученных дополнительно полезных площадей и объемов. Следовательно, в общем виде, $D\mathcal{E}_i$ может иметь три анализируемых слагаемых:

$$\Delta\mathcal{E}_i = \frac{\mathcal{E}_i^{\text{отопл}} + \mathcal{E}_i^{\text{рем}} + D_i}{F + f_i}, \quad (3)$$

где $\mathcal{E}_i^{\text{отопл}}$ - годовая экономия затрат на отопление в результате термомодернизации ограждающих конструкций реконструируемого здания. Зависит от цены тепловой энергии и разности теплотерь через ограждающие конструкции до и после их реконструкции;

$\mathcal{E}_{рем,i}$ - экономия затрат на текущие плановые ремонты в первый период после осуществления реконструкции по i -тому варианту ее осуществления.

D_i - доходы от сдачи в аренду дополнительно полученных в результате реконструкции площадей по i -тому варианту проекта ее осуществления (f_i), пропорциональны месячной ставке арендной платы (Ca):

$$D_i = 12 \cdot Ca \cdot f_i. \quad (4)$$

При аналитическом решении уравнения (1), для приведения разрозненных во времени платежей и доходов к одному будущему моменту времени t , как и в работе [8], используем для капитальных вложений дисконтный множитель (коэффициент дисконтирования):

$$g^t = (1 + p)^t, \quad (5)$$

где p - норма дисконта, равная приемлемой для инвестора норме дохода на вложенный в реконструкцию капитал, а для ежегодных эксплуатационных расходов и доходов – аналогичный коэффициент неизбежного возрастания текущих платежей, приведенных к тому же будущему моменту времени

$$\frac{g^t - 1}{g - 1} = \frac{g^t - 1}{p}. \quad (6)$$

Норма дисконта p для инвестора должна быть не ниже процентной ставки депозита в надежном банке, иначе ему будет совершенно бесполезно вкладывать деньги в реконструкцию. Или же при этом должны сработать другие политические или финансовые рычаги (льготное налогообложение или кредитование, ипотека и пр.).

Обозначим ожидаемую учитываемую суммарную годовую экономию по i -тому варианту реконструкции через

$$\mathring{a} \mathcal{E}_i = (\mathcal{E}_i^{\text{отопл}} + \mathcal{E}_i^{\text{рем}} + D_i). \quad (7)$$

Тогда уравнение (1) преобразуется в нижеследующее:

$$\frac{K_i \cdot g^t}{F + f_i} - \frac{(g^t - 1) \cdot \sum \mathcal{E}_i}{p \cdot (F + f_i)} = 0. \quad (8)$$

Решается это уравнение относительно t логарифмированием и после преобразований получим:

$$T_{ок}^i = \frac{\ln\left(\frac{\sum \mathcal{E}_i}{\sum \mathcal{E}_i - pK_i}\right)}{\ln(1 + p)} \rightarrow \min. \quad (9)$$

Таким образом, срок окупаемости инвестиций по i -тому варианту осуществления проекта реконструкции, как наша функция цели, с учетом того, что и нормы дохода на капитал могут приниматься различными (в зависимости от инфляционных ожиданий, интересов инвестора и общества) определится из полученного соотношения. С учетом принятой выше замены (7):

$$T_{ок}^i = \frac{\ln\left(\frac{\mathcal{E}_i^{\text{отопл}} + \mathcal{E}_i^{\text{рем}} + D_i}{\mathcal{E}_i^{\text{отопл}} + \mathcal{E}_i^{\text{рем}} + D_i - pK_i}\right)}{\ln(1 + p)} \rightarrow \min. \quad (10)$$

Анализ полученной взаимосвязи показывает, что, как и предполагалось, срок окупаемости сокращается при увеличении доходов от реализации проекта реконструкции (экономия на отоплении и ремонтах и доходы от аренды дополнительно полученных строительных площадей), минимизации инвестиций и нормы дисконта (нормы дохода на капитал). При получении данного выражения предполагалось, что, как доходы от реализации проекта, так и нормы дисконта, на протяжении периода времени от реализации проекта до наступления срока окупаемости будут относительно стабильными. Чтобы полученная взаимосвязь (10) имела решение, нужно только положительное значение знаменателя натурального логарифма. Экономии

чески это означает, что нельзя принимать норму дисконта больше величины достижимых про дисконтированных выгод и она должна уменьшаться при увеличении инвестиций. Другими словами, большие инвестиции требуют и больших сроков возврата, что соответствует общепризнанным положениям экономической науки.

Полученный результат можно прокомментировать еще и следующим образом. Учет показанных составляющих в $D\mathcal{E}_{i+1}(t)$ существенно увеличивает скорость нарастания ее величины во времени, и, даже при больших инвестициях в реконструкцию DK_{i+1} , их кривая дисконтирования сможет раньше пересечь кривую накапливаемой экономии издержек на поддержание микроклимата в помещениях, на последующее содержание и доходов от аренды. Точка пересечения упомянутых кривых - момент возврата капложений, после которого доходы превысят расходы, наступил срок окупаемости $T_{ок}^{i+1}$.

В зависимости от цены продажи или размеров арендной платы, объема дополнительно полученных в результате реконструкции площадей, сэкономленных затрат на текущие ремонты и содержание, кривая $D\mathcal{E}_{i-1}(t)$ также может поменять свой угол наклона к горизонту. Что же касается стоимости арендной платы (Ca), то она зависит как от потребительских качеств реализуемых помещений, так и их местоположения. Устраняя физический и моральный износ, можно также прогнозировать ее рост.

Полученное выражение позволяет проводить также оптимизационные процедуры поиска коммерчески привлекательных проектов продления жизненного цикла конкретных строительных объектов. В аналитическом виде, эти процедуры могут состоять в дифференцировании полученного выражения для срока окупаемости инвестиций по одной или нескольким переменных (затраты на реконструкцию, экономия тепловой энергии с учетом прогноза ее стоимости, дополнительная полезная площадь и прогнозируемая ставка арендной платы за нее, экономия затрат на ремонты, приемлемая норма дохода на капитал).

Отсюда вытекают и возможные направления эффективной реконструкции гражданских зданий. Прежде всего, это создание дополнительной полезной площади в результате ее осуществления, одновременно усиливая и повышая надежность последующей длительной безаварийной эксплуатации. Не исключая возможность реконструкции с надстройкой из сборного железобетона, предпочтительней нам представляется устройство полноценного этажа или мансарды с легким несущим каркасом из дерева и стали. Достаточно эффективно подобная реконструкция была осуществлена в г. Днепропетровске и Сургуте при реализации демонстрационного проекта фирмы «Велюкс» (рис. 2).



Рисунок 2 – Увеличение полезной площади при надстройке в металлическом каркасе двух полноценных этажей при его поэлементной сборке в г. Днепропетровске (а) и мансардного этажа из предварительно собранных на земле пространственных блоков в г. Сургуте (б)

Стесненность площадки и требования безопасности иногда не позволяют собирать конструкции надстройки непосредственно на месте установки. В этом случае, предлагается их изготовление в заводских условиях с каркасом из легких стальных или деревянных конструкций с эффективными легкими ограждениями преимущественно заводского производства. А соби-

рать блок надстройки с покрытиями можно как на заводе, так и непосредственно в торце дома. Можно внизу укрупнить элементы, а окончательную сборку в пространственный каркас осуществлять на проектных отметках. По аналогии с промышленным строительством и реконструкцией, такой способ можно квалифицировать как конвейерно-блочный ([12], рис. 3).

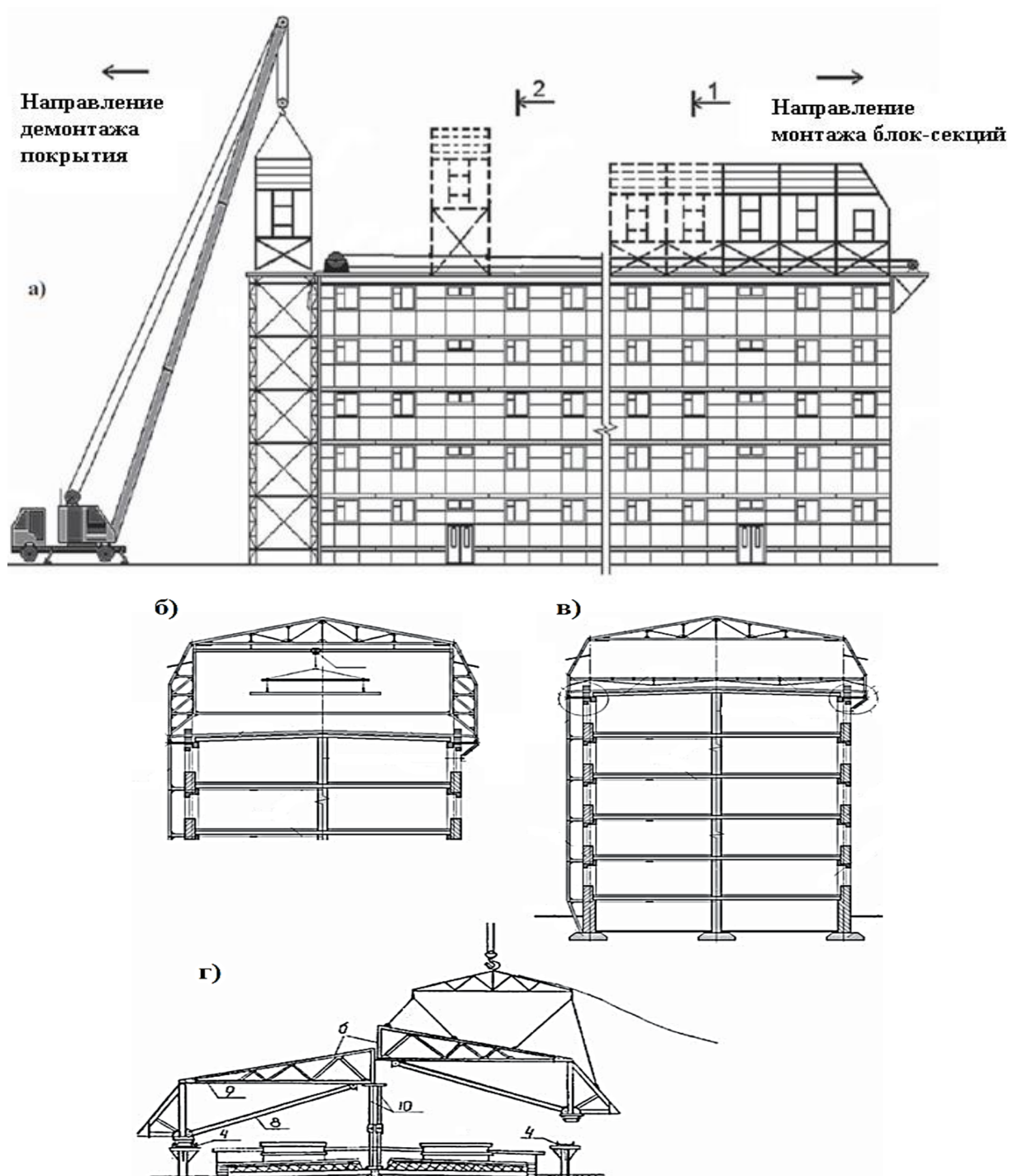


Рисунок 3 – Конвейерно-блочный монтаж надстройки: а) - возможная технологическая схема, б) - производство демонтажных работ под защитой и с помощью пространственного блока с подъемно-транспортным оборудованием, в) - смонтированный пространственный блок мансардного этажа, г) - сборка пространственного блока мансарды из двух симметричных частей

Выводы и перспективы дальнейших исследований. Следовательно, обоснована и получена уточненная имитационная модель для выбора инвестиционно привлекательного

проекта продления жизненного цикла гражданских зданий. Она учитывает как затраты на проведение работ по реконструкции, так и доходы от реализации или сдачи в аренду дополнительно получаемых в результате реконструкции площадей, экономии затрат на отопление зданий в результате их терморевитации, а также на их последующее содержание вследствие возможного исключения хотя бы части текущих ремонтов. Представлены некоторые объемно-конструктивно-технологические решения по реконструкции преимущественно пятиэтажных жилых зданий массовой послевоенной застройки с их надстройкой и пристройкой, позволяющие существенно продлить их жизненный цикл с уменьшением последующих эксплуатационных затрат.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Федеральный закон РФ от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" – URL: http://www.zhkh.su/zakonodatelstvo_po_zhkh/federalnyj_zakon_261/.
2. Постановление Правительства Российской Федерации № 18 от 25.01.2011 г. «Об утверждении Правил установления требований энергетической эффективности для зданий, строений, сооружений и требований к правилам определения класса энергетической эффективности многоквартирных домов» – URL: <http://is.mos.ru/ViewDocument?id=2405#>.
3. СТО НОП 2.1-2014. Требования по составу и содержанию энергетического паспорта жилого и общественного здания. - М.: НП «АВОК» - 2014. – 125 с.
4. Гагарин, В.Г. Требования к теплозащите и энергетической эффективности в проекте актуализированного СНиП «Тепловая защита зданий» [Текст] / В.Г. Гагарин, В.В. Козлов // Жилищное строительство. – 2011. - №8. – С.2-6.
5. Горшков, А.С. История, эволюция и развитие нормативных требований к ограждающим конструкциям [Текст] / А.С. Горшков, В.И. Ливчак // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2015. - №3(30) – С.3-30.
6. Методические рекомендации по технико-экономической оценке эффективности реконструкции жилых зданий и определению сроков окупаемости затрат. – М.: Госстрой России, ЦНИИЭПжилища, 1998. – 32с.
7. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (Вторая редакция) / М-тво экономики РФ, м-тво финанс. РФ, ГК по стр-тву, архит. и жил. политике: рук. авт. кол. Коссов В.В., Лившиц В.Н., Шахназаров А.Г. - М.: ОАО "НПО" НПО "Изд-тво "Экономика", 2000. - 421с.
8. Меркушов, В.Т. Методология технико-экономической оценки проектов термореновации эксплуатируемых жилых зданий [Текст]: Дис. ... к.т.н.: 05.13.22. Днепропетровск. - 2000.- 149с.
9. Афанасьев, А.А. Реконструкция жилых зданий. Ч.1. Технологии восстановления эксплуатационной надежности жилых зданий [Текст] / А.А. Афанасьев, Е.П. Матвеев. – М., 2008.
10. Патент РФ №2579073. Надстройка здания и способ ее осуществления при реконструкции. МПК E04G23/02.- /Колчунов В.И., Емельянов С.Г., Ключева Н.В., Бухтиярова А.С. Заявл. 03.10.2013. Опубл. 10.04.2015, Бюл. №10.
11. Экономика недвижимости: Учеб. пособие / Под ред. Ресина В.И. - М.: Дело, 1999. - 328с.
12. Патент Украины №71419А. Способ устройства надстройки над существующим домом. МПК⁷ E04G23/02. - /Шаленный В.Т., Березюк А.Н., Папирнык Р.Б., Неклес Д.Г. - №20031212840. – Заявл. 29.12.2003; Опубл. 15.11.2004, Бюл. №11. – 4с.

Шаленный Василий Тимофеевич

Академия строительства и архитектуры, КФУ им. Вернадского, г. Симферополь
Доктор технических наук, профессор
E-mail: v_shalennyj@mail.ru

Мороз Вадим Викторович

Государственное унитарное предприятие Республики Крым «Крымэнерго»
Заместитель директора по строительству
E-mail: mr.vadim.moroz@mail.ru

V. SHALENNYI, V. MOROZ

THE POSSIBILITIES OF REDUCING THE PAYBACK PERIOD OF INVESTMENTS IN ENERGY EFFICIENCY BY INTEGRATING AND IMPROVEMENT OF RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES IN RECONSTRUCTION

Proposed refined model of assessment the payback period of investment in the reconstruction of public buildings. It comprehensively takes into account both: the expected energy savings due to insulation or replacement of walling and other possible benefits of modernization, such as obtaining additional building volumes and areas, as well as savings on repairs. Showing examples of constructive and technological solutions that implement this approach in the practice of reconstruction of civil buildings. Presents some spatial-constructive-technological decisions on reconstruction of five-storey primarily residential buildings of mass post-war buildings with their nadstroy-tion and an extension that allows to significantly extend their life cycle with a reduction in the following operating costs.

Keywords: reconstruction, payback time, energy consumption, superstructure.

BIBLIOGRAPHY

1. Federal'nyy zakon RF ot 23 noyabrya 2009 goda № 261-FZ "Ob energosberezhenii i o povyshenii energeticheskoy effektivnosti, i o vnesenii izmeneniy v otchel'nyye zakonodatel'nyye akty Rossiyskoy Federatsii" – URL: http://www.zhkh.su/zakonodatelstvo_po_zhkh/federalnyj_zakon_261/.
2. Postanovleniye Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii № 18 ot 25.01.2011 g. «Ob utverzhdenii Pravil ustanovleniya trebovaniy energeticheskoy effektivnosti dlya zdaniy, stroyeniy, sooruzheniy i trebovaniy k pravilam opredeleniya klassa energeticheskoy effektivnosti mnogokvartirnykh domov» – URL: <http://is.mos.ru/ViewDocument?id=2405#>.
3. STO NOP 2.1-2014. Trebovaniya po sostavu i soderzhaniyu energeticheskogo pasporta zhilogo i obshchestvennogo zdaniya. - M.: NP «AVOK» - 2014. – 125 s.
4. Gagarin, V.G. Trebovaniya k teplozashchite i energeticheskoy effektivnosti v projekte aktualizirovan-nogo SNIp «Teplovaya zashchita zdaniy» [Tekst] / V.G. Gagarin, V.V. Kozlov // Zhilishchnoye stroitel'stvo. – 2011. - №8. – S.2-6.
5. Gorshkov, A.S. Istoriya, evolyutsiya i razvitiye normativnykh trebovaniy k ograzhdayushchim konstrukttsiyam [Tekst] / A.S. Gorshkov, V.I. Livchak // Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy. – 2015. -№3(30) – S.3-30.
6. Metodicheskiye rekomendatsii po tekhniko-ekonomicheskoy otsenke effektivnosti rekonstruktsii zhilykh zdaniy i opredeleniyu srokov okupayemosti zatrat. – M.: Gosstroy Rossii, TSNIIEPzhilishcha, 1998. –32s.
7. Metodicheskiye rekomendatsii po otsenke effektivnosti investitsionnykh proyektov (Vtoraya redaktsiya) / M-tvo ekonomiki RF, m-tvo finans. RF, GK po str-tvu, arkh. i zhil. politike: ruk. avt. kol. Kossov V.V., .Livshits V.N., Shakhnazarov A.G. - M.: OAO "NPO "NPO "Izd-tvo "Ekonomika", 2000. - 421s.
8. Merkushev, V.T. Metodologiya tekhniko-ekonomicheskoy otsenki proyektov termorenovatsii ekspluatiruyemykh zhilykh zdaniy [Tekst]: Dis. ... k.t.n.: 05.13.22. Dnepropetrovsk. - 2000.- 149s.
9. Afanas'yev, A.A. Rekonstruktsiya zhilykh zdaniy. CH.1. Tekhnologii vosstanovleniya ekspluatatsionnoy nadezhnosti zhilykh zdaniy [Tekst] / A.A. Afanas'yev, Ye.P. Matveyev. – M., 2008.
10. Patent RF №2579073. Nadstroyka zdaniya i sposob yeye osushchestvleniya pri rekonstruktsii. MPK Ye04G23/02.-/Kolchunov V.I., Yemel'yanov S.G., Klyuyeva N.V., Bukhtiyarova A.S. Zayavl. 03.10.2013. Opubl. 10.04.2015, Byul. №10.
11. Ekonomika nedvizhimosti: Ucheb. posobiye / Pod red. Resina V.I. - M.: Delo, 1999. - 328s.
12. Patent Ukrainy №71419A. Sposob ustroystva nadstroyki nad sushchestvuyushchim domom. MPK7 Ye04G23/02. - /Shalenny V.T., Berezyuk A.N., Papirnyk R.B., Nekles D.G. - №20031212840. – Zayavl. 29.12.2003; Opubl. 15.11.2004, Byul. №11. – 4s.

V. Shalennyj

The Academy of Architecture and Construction CFU name Vernadskogo, Simferopol

Doctor of technical sciences

E-mail: v_shalennyj@mail.ru

V. Moroz

State unitary enterprise of Crimea Republic «Krimenergo», Simferopol

Deputy Director of construction

E-mail: mr.vadim.moroz@mail.ru

МАМИЕВА И.А.

О ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО АРХИТЕКТУРЕ, ГЕОМЕТРИИ И РАСЧЕТУ БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СТРУКТУР И ОБОЛОЧЕК

Инновационная магистратура по специализации «Архитектура, геометрия и расчет большепролетных пространственных структур и оболочек» (направление «Строительство») создана на базе кафедры Прочности материалов и конструкций, инженерный факультет, РУДН. Её создание вызвано необходимостью подготовки инженерных и научных кадров по проектированию большепролетных структур и оболочек в связи с вновь возрождающимся интересом к этому виду сооружений и конструкций.

Ключевые слова: *большепролетные пространственные структуры, оболочка, архитектура, геометрия поверхностей, расчет оболочек, программные комплексы, проектирование тонкостенных оболочек, железобетонные оболочки, деревянные оболочки.*

На инженерном факультете РУДН в 2012 году на кафедре Прочности материалов и конструкций была открыта авторская магистерская программа «Архитектура, геометрия и расчет большепролетных пространственных структур и оболочек» в рамках направления «Строительство». Создание магистратуры по данной специализации обусловлено возрастающими тенденциями в развитии современного архитектурного стиля - хай-тека, олицетворяющего "новаторскую архитектуру" претендующего, по мнению ряда архитекторов на доминирование в 21 веке [1]. Разнообразие мнений по этому вопросу очень широко, начиная от восторженных отзывов и предсказания больших перспектив для строительства большепролетных конструкций в 50-60-е годы прошлого столетия до отрицания прогрессивной роли этих конструкций в архитектуре в конце 20 века. В настоящее время опять наметилось движение в сторону увеличения интереса к проектированию большепролетных структур. Этот процесс усиливается появлением новых материалов, таких как фибробетон и волокнистые армированные полимерные композиты, которые могут быть использованы в оболочках. Сейчас эти материалы – очень дороги для применения их в оболочках, но со временем это может измениться. Второй причиной возвращения интереса к оболочкам является появление новых форм в архитектуре пространственных конструкций, предлагаемых для внедрения в практику [1-3].

Деконструктивизм, новый минимализм, различные линии хай-тека: лайт-тек, лоу-тек, эко-тек, геометрический хай-тек, бионический хай-тек, нелинейная архитектура и т.д., наряду с использованием достижений передовых технологий в создании конструкций и свойств самих зданий, новейших строительных и отделочных материалов сегодня в сочетании с элегантностью и изяществом форм становятся символом нового в стилистическом разнообразии городов. Воздействие на формообразование современного хай-тека оказала архитектура российского и советского авангарда в лице В.Г. Шухова, Лолейта А.Ф., С.В. Кербедзи, Д. Журавского, П. Белолобова, Ф. Ясинского, А. Кузнецова и др. Эти вопросы подробно изучаются на лекциях и семинарах (рисунок 1) обозначенной выше магистратуры по дисциплине «История развития архитектуры пространственных структур и оболочек с элементами расчета» (лектор – проф. С.Н. Кривошапко [4]).

Французский инженер-строитель Г. Эйфель первым построил стержневую пространственную мачтовую структуру (1889), а В.Г. Шухов, русский инженер, архитектор, изобретатель, учёный, первым в мире применил в 1896 году для строительства зданий и башен стальные сетчатые оболочки и запатентовал их. С тех пор всемирно известные архитекторы Пьер Нерви, Эро Сааринен, Оскар Нимейер, Тоё Ито, Фрэнк Ге-

ри, Николас Гримшоу, Сантьяго Калатрава, И.М. Пей и др. создали много стержневых шедевров, правильный геометрический и прочностной расчет которых играет большую роль в их проектировании, что показывает на своих лекциях доц. В.В. Галишников в рамках курса «Стержневые пространственные структуры (геометрия, прочность, устойчивость)».

Стремительное развитие большепролетные сооружения получили в течение последних двух десятилетий благодаря стремительному развитию компьютерных технологий и новых программно-вычислительных комплексов в практике расчета строительных конструкций. На занятиях по «Программным комплексам для расчета пространственных структур (Лира, Принс, Abacus, Shell и др.)» особое внимание уделяется практическому использованию компьютерных комплексов (рисунок 2).

В России также появляются сооружения, которые можно отнести к стилю хайтек. Это и олимпийские объекты в Сочи и ТЦ "АФИ СИТИ МОЛЛ", в Москве, "СИТИ МОЛЛ" в Белгороде, в Петербурге и др. К сожалению, в основном, авторами этих проектов являются зарубежные архитекторы.

В свое время в СССР существовала мощная геометрическая школа, работавшая в направлении создания пространственных большепролетных форм и оболочечных конструкций для сооружений различного назначения. Многим известны работы таких ученых-геометров как Н.Н. Рыжов, В.А. Лебедев, Г.В. Брант и др. Однако, в связи с утратой интереса к оболочкам в 1980-х годах над развитием этого направления в России в последнее время активно продолжают работать только 4-5 групп исследователей, в том числе группа под руководством А.Л. Мартиросова (РГСУ, Ростов-на-Дону), профессоров С.Н. Кривошاپко и В.Н. Иванова (РУДН, Москва) [5] и группа казанских ученых под руководством профессора Н.М. Якупова (лаборатория Нелинейной механики ИММ КазНЦ РАН, Казань). Продолжают активно работать украинские геометры под руководством А.Л. Подгорного (КНУСА, Киев), со многими из которых кафедра Прочности материалов и конструкций РУДН поддерживает научные контакты. Основные научные и практические разработки вышеуказанных ученых и научных школ используются в учебном процессе указанной инновационной магистратуры.

В настоящее время на инженерном факультете РУДН продолжает действовать научная школа, основанная профессором В.Г. Рекачом в 1965 году. Сегодня ею руководят д-ра техн. наук, профессора С.Н. Кривошاپко и В.Н. Иванов, которые ведут научные разработки в направлении исследования геометрии и расчета на прочность большепролетных оболочечных строительных конструкций. Эти разработки составили основу нескольких дисциплин магистратуры, например, «Формообразование оболочек в архитектуре» [6], «Аналитические методы расчета оболочек неканонической формы» [7], «Аналитические поверхности в архитектуре зданий, конструкций и изделий» [8], лекции по которым они же и читают.

Смелость архитектурной мысли должна базироваться на точном и надежном инженерном расчете, приводящем архитекторов и строителей к пониманию статики конструкции и возможной опасной ее динамике, поэтому в магистратуре уделяется должное внимание и классическим дисциплинам, таким как «Линейная теория тонких оболочек» (лектор – проф. С.Н. Кривошاپко), «МКЭ и вариационно-разностный метод» (лектор – проф. В.Н. Иванов), «Теория упругости» (лектор – проф. В.Н. Иванов), «Нелинейная теория упругих оболочек» (лектор – проф. В.П. Агапов, МГСУ) и др.

Магистерская программа, включает также базовые и вариативные расчетные дисциплины общенаучного цикла, такие как «Математическое моделирование» (доц. Ф.В. Рекач), «Устойчивость и динамика упругих систем» (проф. С.Н. Кривошاپко и доц. М.И. Рынковская), «Уравнения математической физики» (проф. А.Л. Скубачевский), а также большой набор дисциплин по выбору, например, «История строительной механики и выдающиеся ученые-механики» (лектор – доц. С.Л. Шамбина) [9], «Компьютерная графика» (лектор – доц. В.А. Романова). Как видно из представленных выше

сведений, занятия в магистратуре проводят высококвалифицированные специалисты в соответствующих областях не только из РУДН, но и из МГСУ, МГУПС (МИИТ).

В настоящее время профессорско-преподавательским составом кафедры прочности материалов и конструкций РУДН подготовлены учебно-методические пособия и справочники, практически по всем дисциплинам магистратуры [4, 6-10]. В научно-технических журналах опубликовано большое количество пилотных научно-популярных и обзорных статей [11-14], содержание которых вошло во многие лекции и интерактивные практические занятия, или стали базой для дальнейших научно-исследовательских работ студентов, или темой их магистерских диссертаций. Несколько обзорных статей написаны профессорами кафедры совместно с зарубежными учеными в рамках совместных научно-образовательных программ [15].

Кафедра обладает хорошей материально-технической базой для проведения учебных лабораторных и научно-исследовательских работ (рисунок 3). В состав кафедры входят лаборатории «Сопротивления материалов» и «Деталей машин и механизмов», а также компьютерный класс на 15 рабочих мест.



Рисунок 1 – Выступление к.т.н., доц. Новака Ю.В. на межвузовском семинаре



Рисунок 2 – Компьютерный класс



Рисунок 3 – Лаборатория «Сопротивления материалов»

Научный руководитель магистерской программы – д-р техн. наук, профессор, почетный работник высшего профессионального образования РФ С.Н. Кривошапко. Область профессиональной деятельности выпускников магистратуры: научно-исследовательская и научно-педагогическая, следовательно, предполагаемая сфера деятельности выпускников магистратуры – НИИ, проектные организации, архитектурные бюро, проектирующие и изучающие стержневые пространственные структуры и тонкостенные оболочки, а также вузы архитектурно-строительного направления.

Хорошей помощью студентам магистратуры является созданный на базе кафедры межвузовский научный семинар «Геометрия и расчет тонких оболочек неканонической формы», учредителем которого являются 8 университетов Москвы, Волгограда, Казани и Йошкар-Олы (<http://shell-sem.narod.ru>). На семинаре выступают известные ученые, поэтому результаты их исследований интересны и обогащают знаниями, как состоявшихся ученых, так и аспирантов, магистрантов и студентов.

Создание магистратуры на кафедре Прочности материалов и конструкций в РУДН по специализации "Архитектура, геометрия и расчет большепролетных пространственных структур и оболочек" имеет своей целью поддержать и повысить интерес к использованию пространственных конструкций у молодежи, а для этого необходимо снабдить молодых архитекторов и инженеров-строителей фундаментальными и специальными передовыми знаниями по данному направлению, подготовить молодых ученых к самостоятельному творческому поиску, к экспериментальным и теоретическим исследованиям в области строительства и архитектуры, на примерах выдающихся архитекторов [16, 17] и инженеров [18]. Необходимо вдохновить их на создание новаторских, простых и изящных, надежных и долговечных пространственных большепролетных строительных конструкций.

Научный энтузиазм и надежда на возрождение мощной российской школы инженеров-расчетчиков и талантливых архитекторов вдохновили ППС кафедры Прочности материалов и конструкций РУДН на открытие подобной магистратуры [19, 20].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bradshaw R., Campbell D., Gargari M., Mirmiran A., and Tripeny P. Special structures. Past, present, and future// Journal of Structural Engineering. – June 2002. – P. 691-701.
2. Kourkoutas Vas. Parametric Form Finding in Contemporary Architecture. – A master's thesis submitted for the degree of "MS". – Vienna, June 2007 (Continuing Education Center, Austria). – 82 p.
3. Кривошапко, С.Н. О возможностях оболочечных сооружений в современной архитектуре и строительстве [Текст] // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2013. – № 1. – С. 51-56.
4. Кривошапко, С.Н. История развития архитектуры пространственных структур и оболочек с элементами расчета [Текст]: Учебно-методический комплекс. – М.: Изд-во РУДН, 2014. – 104 с.
5. Krivoshapko S.N., Ivanov V.N. Encyclopedia of Analytical Surfaces. – Springer International Publishing Switzerland, 2015. – 752 p.
6. Кривошапко, С.Н. Аналитические поверхности в архитектуре зданий, конструкций и изделий [Текст]: Учебно-методический комплекс. – М.: Изд-во РУДН, 2013. – 94 с.
7. Иванов, В.Н. Аналитические методы расчета оболочек неканонической формы [Текст]: Монография / В.Н. Иванов, С.Н. Кривошапко. – М.: Изд-во РУДН, 2010. – 542 с.
8. Кривошапко, С.Н. Аналитические поверхности в архитектуре зданий, конструкций и изделий [Текст]: Монография / С.Н. Кривошапко, И.А. Мамиева. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2012. – 328 с.
9. Шамбина, С.Л. История строительной механики и известные ученые-механики: учебно-методический комплекс [Текст]. – М.: Изд-во РУДН, 2014. – 104 с.
10. Романова, В.А. Компьютерная графика. Визуализация поверхностей в системе AutoCAD, MathCAD, Mathematica [Текст]: Учебно-методический комплекс. – М.: Изд-во РУДН, 2014. – 153 с.
11. Krivoshapko S.N. Research on general and axisymmetric ellipsoidal shells used as domes, pressure vessels, and tanks// Applied Mechanics Reviews. – November 2007. – Vol. 60, № 6. – P. 336-355.
12. Кривошапко, С.Н. Возможности конических поверхностей применительно к архитектуре зданий и конструкций [Текст] / С.Н. Кривошапко, И.А. Мамиева // Монтажные и специальные работы в строительстве. – 2011. - № 9. – С. 2-8.
13. Кривошапко, С.Н. Геометрия, расчет и проектирование конструкций в форме циклических поверхностей [Текст]: Обзорная информация / С.Н. Кривошапко, В.Н. Иванов. – Сер. «Строительные материалы и конструкции», вып. 2. – М.:ОАО «ВНИИТПИ», 2010. – 61 с.
14. Романова, В.А. Особенности изображения процесса образования поверхностей в системе AutoCAD// Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2012. - № 4. – С. 3-5.
15. Krivoshapko S.N., G. L. Aïssè Gbaguidi. Developable shell product made by parabolic bending of thin metal slabs// Journal of the Ghana Institution of Engineers. – Vol. 6-7, Num 1 December, 2009. – P. 51-56.
16. Nines E.M., Billington D.P. Anton Tedesko and the introduction of thin shell concrete roofs in the United States// Journal of Structural Engineering. – 2004. – 130(11). – P. 1639-1650.
17. Antuña Bernardo Joaquín. The evolution of the work of Eduardo Torroja: Shell roofs with and without reinforcement rings// Proc. of the Second Int. Congress on Construction History, Cambridge University, 29.03-02.04.2006. – P. 179-194.
18. Шухов, В.Г. Избранные труды. Строительная механика [Текст]. – М.: Наука, 1977. – 193 с.
19. Мамиева, И.А. Научные школы инженерного факультета [Текст] // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2009. - № 4. – С.3-9.
20. Кривошапко, С.Н. Вузовская строительная наука и строительное образование [Текст] / С.Н. Кривошапко, И.А. Мамиева // Монтажные и специальные работы в строительстве. – 2013. – № 10. – С. 20-26.

Мамиева И.А.

Российский университет дружбы народов, Москва

Зав. лабораторией

E-mail: i_mamieva@mail.ru

I. MAMIEVA

**ON TEACHING OF SPECIALISTS IN ARCHITECTURE,
GEOMETRY, AND STRENGTH ANALYSIS OF LARGE-SPAN SPACE
STRUCTURES AND SHELLS**

In 2012, the innovation magistrate was created on the basis of the Department of Strength of Material and Structures of Peoples' Friendship University of Russia. The creation of the magistrate was necessitated for the training of engineering and scientific personnel dealing with design of large-span space lattice and shell structures because of rising interest to this problem.

Keywords: *large-span space lattice and shell structures, shell, architecture, geometry of surface, shell analysis, reinforced concrete shell, wooden shell, computer complex.*

BIBLIOGRAPHY

1. Bradshaw R., Campbell D., Gargari M., Mirmiran A., and Tripeny P. Special structures. Past, pre-sent, and future// Journal of Structural Engineering. – June 2002. – P. 691-701.
2. Kourkoutas Vas. Parametric Form Finding in Contemporary Architecture. – A master's thesis submitted for the degree of "MS". – Vienna, June 2007 (Continuing Education Center, Austria). – 82 p.
3. Krivoshapko, S.N. O vozmozhnomykh obolocheknykh sooruzheniy v sovremennoy arkhitekture i stroitel'stve [Tekst] // Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruksiy i sooruzheniy. – 2013. – № 1. – S. 51-56.
4. Krivoshapko, S.N. Istoriya razvitiya arkhitektury prostranstvennykh struktur i obolochek s elementami rascheta [Tekst]: Uchebno-metodicheskiy kompleks. – M.: Izd-vo RUDN, 2014. – 104 s.
5. Krivoshapko S.N., Ivanov V.N. Encyclopedia of Analytical Surfaces. – Springer International Publishing Switzerland, 2015. – 752 p.
6. Krivoshapko, S.N. Analiticheskiye poverkhnosti v arkhitekture zdaniy, konstruksiy i izde-lyiy [Tekst]: Uchebno-metodicheskiy kompleks. – M.: Izd-vo RUDN, 2013. – 94 s.
7. Ivanov, V.N. Analiticheskiye metody rascheta obolochek nekanonicheskoy formy [Tekst]: Monografiya / V.N. Ivanov, S.N. Krivoshapko. – M.: Izd-vo RUDN, 2010. – 542 s.
8. Krivoshapko, S.N. Analiticheskiye poverkhnosti v arkhitekture zdaniy, konstruksiy i izde-lyiy [Tekst]: Monografiya / S.N. Krivoshapko, I.A. Mamiyeva. – M.: Knizhnyy dom «LIBROKOM», 2012. – 328 s.
9. Shambina, S.L. Istoriya stroitel'noy mekhaniki i izvestnyye uchenyye-mekhaniki: uchebno-metodicheskiy kompleks [Tekst]. – M.: Izd-vo RUDN, 2014. – 104 s.
10. Romanova, V.A. Komp'yuternaya grafika. Vizualizatsiya poverkhnostey v sisteme AutoCAD, MathCAD, Mathematica [Tekst]: Uchebno-metodicheskiy kompleks. – M.: Izd-vo RUDN, 2014. – 153 s.
11. Krivoshapko S.N. Research on general and axisymmetric ellipsoidal shells used as domes, pressure vessels, and tanks// Applied Mechanics Reviews. – November 2007. – Vol. 60, № 6. – P. 336-355.
12. Krivoshapko, S.N. Vozmozhnosti konicheskikh poverkhnostey primenitel'no k arkhitekture zdaniy i konstruksiy [Tekst] / S.N. Krivoshapko, I.A. Mamiyeva // Montazhnyye i spetsial'nyye raboty v stroitel'stve. – 2011. - № 9. – S. 2-8.
13. Krivoshapko, S.N. Geometriya, raschet i proyektirovaniye konstruksiy v forme tsiklicheskikh poverkhnostey [Tekst]: Obzornaya informatsiya / S.N. Krivoshapko, V.N. Ivanov. – Ser. «Stroitel'nyye ma-terialy i konstruksii», vyp. 2. – M.: OAO «VNIINTPI», 2010. – 61 s.
14. Romanova, V.A. Osobennosti izobrazheniya protsessa obrazovaniya poverkhnostey v sisteme AutoCAD// Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruksiy i sooruzheniy. – 2012. - № 4. – S. 3-5.
15. Krivoshapko S.N., G. L. Aïssè Gbaguidi. Developable shell product made by parabolic bending of thin metal slabs// Journal of the Ghana Institution of Engineers. – Vol. 6-7, Num 1 December, 2009. – P. 51-56.
16. Nines E.M., Billington D.P. Anton Tedesko and the introduction of thin shell concrete roofs in the United States// Journal of Structural Engineering. – 2004. – 130(11). – P. 1639-1650.
17. Antuña Bernardo Joaquin. The evolution of the work of Eduardo Torroja: Shell roofs with and without reinforcement rings// Proc. of the Second Int. Congress on Construction History, Cambridge University, 29.03-02.04.2006. – P. 179-194.
18. Shukhov, V.G. Izbrannyye trudy. Stroitel'naya mekhanika [Tekst]. – M.: Nauka, 1977. – 193 s.
19. Mamiyeva, I.A. Nauchnyye shkoly inzhenernogo fakul'teta [Tekst] // Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruksiy i sooruzheniy. – 2009. - № 4. – S.3-9.
20. Krivoshapko, S.N. Vuzovskaya stroitel'naya nauka i stroitel'noye obrazovaniye [Tekst] / S.N. Krivoshapko, I.A. Mamiyeva // Montazhnyye i spetsial'nyye raboty v stroitel'stve. – 2013. – № 10. – S. 20-26.

I. Mamieva

Peoples' Friendship University of Russia, Moscow

Head of laboratory

E-mail: i_mamieva@mail.ru

Уважаемые авторы!
Просим Вас ознакомиться с основными требованиями
к оформлению научных статей

- Представляемый материал должен быть **оригинальным, не опубликованным ранее** в других печатных изданиях.
- Объем материала, предлагаемого к публикации, измеряется страницами текста на листах **формата А4** и содержит от **4 до 9 страниц**; все страницы рукописи должны иметь сплошную нумерацию.
- Статья должна быть набрана шрифтом Times New Roman, размер 12 pt с одинарным интервалом, текст выравнивается по ширине; абзацный отступ – 1,25 см, правое поле – 2 см, левое поле – 2 см, поля внизу и вверху – 2 см.
- Статья предоставляется в **1 экземпляре** на бумажном носителе и в электронном виде (по электронной почте или на любом электронном носителе).
- В одном сборнике может быть опубликована только **одна статья одного автора**, включая соавторство.
- **Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.**
- Если статья возвращается автору на доработку, исправленный вариант следует прислать в редакцию повторно, приложив письмо с ответами на замечания рецензента. Доработанный вариант статьи рецензируется и рассматривается редакционной коллегией вновь. Датой представления материала считается дата поступления в редакцию окончательного варианта исправленной статьи.
- Аннотации всех публикуемых материалов, ключевые слова, информация об авторах, списки литературы будут находиться в свободном доступе на сайте соответствующего журнала и на сайте Российской научной электронной библиотеки – РУНЭБ (Российский индекс научного цитирования).

В тексте статьи не рекомендуется применять:

- обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;
- для одного и того же понятия различные научные термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;
- произвольные словообразования;
- сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии, соответствующими стандартами.
- Сокращения и аббревиатуры должны расшифровываться по месту первого упоминания (вхождения) в тексте статьи.

Обязательные элементы:

- **заглавие (на русском и английском языке)** публикуемого материала должно быть точным и емким, слова, входящие в заглавие, должны быть ясными сами по себе, а не только в контексте; следует избегать сложных синтаксических конструкций, новых словообразований и терминов, а также слов узкопрофессионального и местного значения;
- **аннотация (на русском и английском языке)** описывает цели и задачи проведенного исследования, а также возможности его практического применения, указывает, что нового несет в себе материал; рекомендуемый средний объем – 500 печатных знаков;
- **ключевые слова (на русском и английском языке)** – это текстовые метки, по которым можно найти статью при поиске и определить предметную область текста; обычно их выбирают из текста публикуемого материала, достаточно 5-10 ключевых слов.
- **список литературы**, на которую автор ссылается в тексте статьи.

Право использования произведений предоставлено авторами на основании п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации.

С полной версией требований к оформлению научных статей
Вы можете ознакомиться на сайте www.gu-unpk.ru

Учредитель журнала
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Государственный университет –
учебно-научно-производственный комплекс»
(ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»)

Адрес учредителя журнала
302020, г. Орел, ул. Наугорское шоссе, 29

Контактные данные учредителя
+7 (4862) 42-00-24
www.gu-unpk.ru
E-mail: unpk@ostu.ru

Адрес редакции
302006, г. Орел, ул. Московская, 77.

Контактные данные редакции
+7 (4862) 73-43-49
www.gu-unpk.ru/science/journal/sir
E-mail: str_and_rek@mail.ru

Материалы статей печатаются в авторской редакции

Право использования произведений предоставлено авторами на основании
п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации

Технический редактор С.Ю. Савин
Компьютерная верстка С.Ю. Савин

Подписано в печать 23.09.2016 г.
Формат 70×108 1/16. Печ. л. 7,5.
Тираж 400 экз.
Заказ №_____

Отпечатано с готового оригинал-макета на полиграфической
базе ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»
302030, г. Орел, ул. Московская, 65.