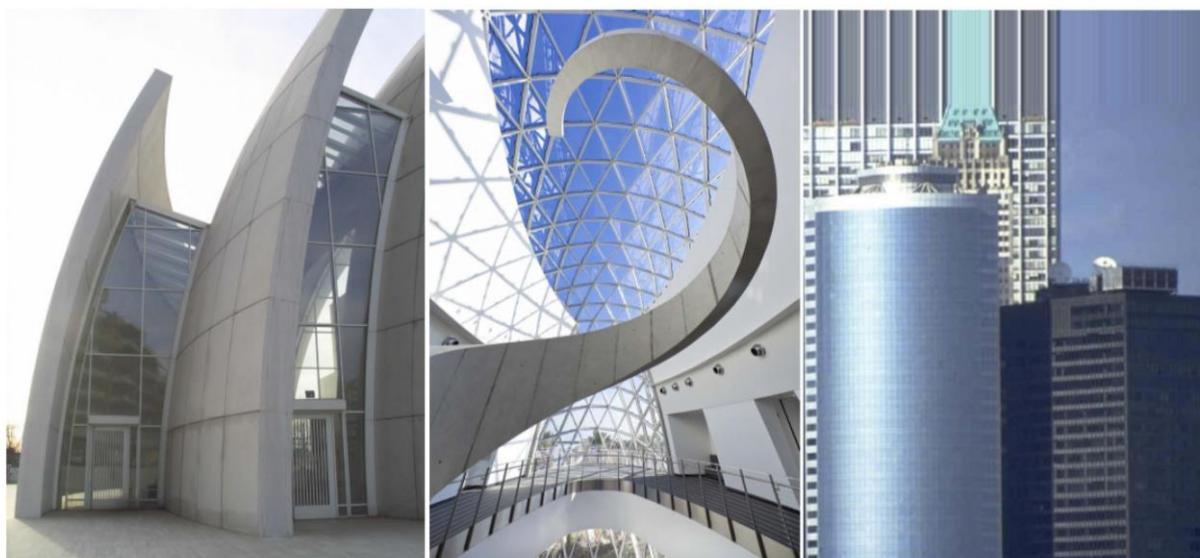


ISSN 2309-7434
Выпуск №2 (8), 2016

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г. И. Носова»

Институт строительства, архитектуры и искусства



Архитектура. Строительство. Образование.

Научно-технический и производственный журнал

Магнитогорск 2016

Учредитель журнала/Journals founder

ФГБОУ ВО «МГТУ им Г.И. Носова»/Nosov Magnitogorsk State Technical University

Председатель редсовета/Head of the Editorial Board

Михаил Борисович Пермяков, директор института строительства, архитектуры и искусства, ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», зав. каф. строительного производства, доцент, канд. техн. наук, доктор Ph.D. / **Mikhail Borisovich Permjakov**, Director of Civil Engineering, Architecture and Art Institute, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Head of the department Building Manufacture, associate professor, candidate of Technical Sciences, Ph.D.

Главный редактор/Editor-In-Chief

Эльвира Петровна Чернышова, заместитель директора института строительства, архитектуры и искусства по научной работе и международной деятельности, ФГБОУ ВО «МГТУ им Г.И. Носова», доцент, канд. философ. наук, член СПбПО, член СД России / **Elvira Petrovna Chernyshova**, Vice-director of Institute of Civil Engineering, Architecture and Art for Research and International Affairs, Nosov Magnitogorsk State Technical University, associate professor, candidate of Philosophical Science, the member of St. Petersburg Psychological Union, the member of the Russian Design Union

Редакционная коллегия/Editorial Board

- профессор, доктор техн. наук, зав. каф. проектирования зданий и строительных конструкций **Анатолий Леонидович Кришан** (ФГБОУ ВО «МГТУ им Г.И. Носова», Магнитогорск) / full professor, doctor of Technical Sciences, head of the department of Building Design and Constructions **Anatoly Leonidovich Krishan**;
- профессор, доктор техн. наук **Михаил Саулович Гаркави** (ЗАО «Урал-Омега», Магнитогорск) / full professor, doctor of Technical Sciences **Michael Saulovich Garkavi** (Closed joint-stock company «Ural-Omega», Magnitogorsk);
- Dr.-Ing. **Фишер Ханс-Бертрам**, Веймарский строительный университет (Германия) / Dr.-Ing. **Fischer Hans Bertram**, Bauhaus University Weimar;
- профессор, доктор техн. наук, ректор ФГБОУ ВО «КГАСУ», **Рашид Курбангалеевич Низамов** / full professor, doctor of Technical Sciences, rector of Kazan State University of Architecture and Engineering **Rashid Kurbangaleevich Nizamov**;
- профессор, доктор техн. наук **Александр Федорович Бурьянов** (НИУ «МГСУ», Москва) / full professor, doctor of Technical Sciences **Alexander Fedorovich Buryanov** (Moscow State University of Civil Engineering);
- Acad. Ph.D., full professor **Никола Цекич**, Университет в Нише, факультет строительства и архитектуры (Сербия) / Acad. Ph.D., full professor **Nikola Cekić**, University of Nis, Faculty of Civil Engineering and Architecture in Nis (Serbia);
- доктор Ph.D., assistant professor, **Милан Танич**, Университет в Нише, факультет строительства и архитектуры (Сербия) / Ph.D., assistant professor **Milan Tanić**, University of Nis, Faculty of Civil Engineering and Architecture in Nis (Serbia);
- доктор Ph.D., associate professor **Даница Станкович**, Университет в Нише, факультет строительства и архитектуры (Сербия) / Ph.D., associate professor **Danica Stanković**, University of Nis, Faculty of Civil Engineering and Architecture in Nis (Serbia);
- профессор, доктор техн. наук, зав. каф. строительных материалов ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет» **Равиль Зуфарович Рахимов** (ФГБОУ ВО «КГАСУ», Казань) / full professor, doctor of Technical Sciences, head of the department of Building Materials, Kazan State University of Architecture and Engineering **Ravil Zufarovich Rahimov**;
- доцент, к.п.н. **Ольга Михайловна Веремей** (ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», Магнитогорск) / associate professor, candidate of Pedagogical Science **Olga Mikhailovna Veremey**.

Авторы опубликованных материалов несут **ответственность** за содержание статей, достоверность приведенных сведений, точность данных по цитируемой литературе и за использование в статьях данных, не подлежащих открытой публикации/**Authors** of published materials **are responsible** for the content of the articles, accuracy of the information, data and literature cited in the articles as well as for the use of the data which is not subject to public release.

Редакция может опубликовать статьи в порядке обсуждения, не разделяя точку зрения автора/**Editors** can publish articles as a discussion, not sharing the view of the author.

Редакция не несет ответственности за содержание рекламы и объявлений/**Editors** take no responsibility for the content of advertising.

Перепечатка и воспроизведение статей, рекламных и иллюстрированных материалов возможны лишь с письменного разрешения главного редактора/**Reprinting** and reproduction of articles, advertising and illustrative materials is possible only with written permission of the chief editor.

СОДЕРЖАНИЕ / CONTENT

HAIYANG WANG, XIAOXIONG ZHA, CHENGYONG WAN, FANG WANG, YIXIANG LIU Application of sea sand concrete material on composite columns	3
Х.А. БЕНАИ, М.Б. ПЕРМЯКОВ, Э.П. ЧЕРНЫШОВА, Т.В. РАДИОНОВ / H.A. BENAI, M.B. PERMYAKOV, E.P. CHERNYSHOVA, T.V. RADIONOV Формирование динамической структуры архитектурных объектов при комплексной реконструкции / The formation of dynamic structure of architectural objects during complex reconstruction	20
Р.Н. ЛИПУГА, Е.И. БАРКАЛОВА / R.N. LIPUGA, K.I. BARCALOVA Ранние православные храмы в донецкой области на примере святогорского монастыря / Early orthodox temples in donetsk region on the example of svyatogorsk monastery	27
А.Л. КРИШАН, Р.Р. САБИРОВ, Е.А. ТРОШКИНА / A.L. KRISHAN, R.R. SABIROV, E.A. TROSHKINA Упрощенный расчет прочности центрально сжатых трубобетонных колонн с продольным армированием бетонного ядра / Simplified calculation of the strength of centrally compressed concrete filled steel tube columns with longitudinal reinforcement of concrete core	36
Д.А. ДЖЕРЕЛЕЙ / D.A. DJERELEY Отечественный и зарубежный опыт реновации истощенных предприятий угольной промышленности / Local and foreign experience of depleted coal enterprises renovation	43
М.А. ЧЕРНЫШ / M.A. CHERNYSH Особенности регенерации объектов исторической застройки / The features recovery of facilities of historical buildings	52
С.А. НИЩЕТА, К.В. МАРКОВ / S.A. NISCHETA, K.V. MARKOV Повреждаемость мостовых кранов / Damageability of bridge cranes	58
М.А. АСТАФЬЕВА / M.A. ASTAFEVA Анализ существующих методик расчета трубобетонных колонн со спиральным армированием бетонного ядра / Analysis of existing methods for calculating cfstc with spiral reinforcement of concrete core	66
С.А. НИЩЕТА, Э.Л. ШАПОВАЛОВ / S.A. NISCHETA, E.L. SHAPOVALOV Строительная сталь и температура / Construction steel and temperature	74

УДК 624.016

HAIYANG WANG, Ph.D., Harbin Institute of Technology Shenzhen Graduate School, School of Civil and Environment Engineering, Shenzhen, China

XIAOXIONG ZHA, Ph.D., Professor, Harbin Institute of Technology Shenzhen Graduate School, School of Civil and Environment Engineering, Shenzhen, China

CHENGYONG WAN, Ph.D. student, Harbin Institute of Technology Shenzhen Graduate School, School of Civil and Environment Engineering, Shenzhen, China

FANG WANG, Master, Harbin Institute of Technology Shenzhen Graduate School, School of Civil and Environment Engineering, Shenzhen, China

YIXIANG LIU, Ph.D., Harbin Institute of Technology Shenzhen Graduate School, School of Civil and Environment Engineering, Shenzhen, China

APPLICATION OF SEA SAND CONCRETE MATERIAL ON COMPOSITE COLUMNS

Abstract: In this paper, we investigate the possibility of using sea sand concrete material in place of river sand concrete material directly in composite structures named Concrete Filled Steel Tubular Columns (CFSTC). The results show that corrosion thickness is small and can be neglected. To prove the result, experiment and multi-physics finite element analysis of the corrosion process of the Sea Sand Concrete Filled in Steel Tubular Columns were also conducted. All the results have indicated that sea sand concrete material can be directly used in CFSTC.

Key words: sea sand concrete material, concrete filled steel tubular columns (CFSTC), corrosion, experiment, finite element analysis (FEA).

1. Introduction

With the development of construction industry, more and more river sand is needed for producing concrete. It is now a concern that more sustainable source of sand must be identified owing to the limit river sand resource. Sea sand is one of the options which have large reserves.

However, the chloride ions in sea sand, which may result in corrosion of steel reinforcement, have prevented immediate use of them as substitutes of the river sand. It is known that the collapse of the buildings in the Turkey's earthquake in 1998 was partially due to the use of unwashed sea sand [1] in the concrete. The chloride ions present in sea sand, however, make its application potentially threatening to the durability of concrete structures made using it [2-12]. Common sense suggests that sea sand must be cleaned by freshwater before it is used in reinforced concrete. However, the cost for doing this is high and it also brings second pollution. So the best way is to find a method to use the sea sand material directly. Since the corrosion needs three conditions: chloride ion, continuous penetration of water and oxygen, so limiting the supply of oxygen and water is the good possible way to use the sea sand directly.

Being of many advantages, concrete filled steel tubular structures has been widely used in China and the National Code for Design of Concrete Filled Steel Tubular Structures has been finished in China in 2013 [13, 14]. Since the steel tube provides a nature barrier to isolate the sea sand concrete material from interacting with oxygen [15], it is expected that the rate of corrosion caused by the chloride ions in sea sand will be significantly reduced, which could make the sea sand a viable substitute to the river sand without incurring additional construction cost, see Fig 1.

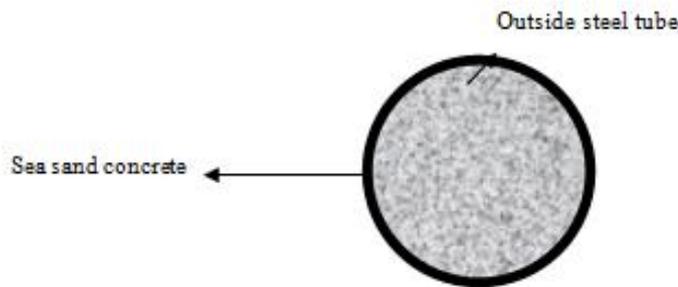


Fig. 1. Cross section diagram of CFST

This paper attempts to assess the possibility of using sea sand concrete material as a substitute of river sand concrete material by investigating the corrosion rate of CFST columns with sea sand in the concrete. After a certain theoretical analysis, experimental and numerical studies are carried out.

2. Theoretical analysis

Corrosion process can be expressed as the following chemical equation:



From the equation above, the iron and oxygen consumption meets the following relationship,

$$m_{\text{Fe}} = 2m_{\text{O}_2}. \quad (1)$$

If we take circular concrete material filled steel tubular as an example, and let the concrete outer diameter be D_c , column height, L , oxygen content in concrete, C_{O_2} , then the total mass of oxygen in member can be expressed as:

$$m_{\text{O}_2} = \frac{\pi D_c^2}{4} LC_{\text{O}_2} / PM(\text{O}_2).$$

Assumptions: external oxygen cannot penetrate steel tube into concrete material, when oxygen existing in concrete material filled steel tube is exhausted, there is:

$$m_{\text{Fe}} = 2 \times \frac{\pi D_c^2}{4} LC_{\text{O}_2} / PM(\text{O}_2).$$

That is, the total mass consumption of iron:

$$M_{Fe} = PM(Fe) \times m_{Fe} = 2 \times \frac{\pi D_c^2}{4} L C_{o_2} \frac{PM(Fe)}{PM(O_2)} = \frac{7\pi D_c^2}{8} C_{o_2} L. \quad (2)$$

If corrosion type is general corrosion, the average corrosion thickness of steel will be:

$$d_{av} = \frac{V}{\pi D_c L} = \frac{M_{Fe}}{\pi D_c L \rho_s} = \frac{7 D_c}{8 \rho_s} C_{o_2}. \quad (3)$$

In which, ρ_s is the density of steel, taking 7850 kg/m^3 , $PM(Fe)/PM(O_2) = 56/32$.

It has been found that the maximum penetration of the localized attack on steel embedded in concrete material containing chlorides is equivalent to about four to eight times the average penetration of the attack on the overall reinforced surface^[16]. Solid sea-sand concrete material filled steel tube always applies in the airtight conditions, the external oxygen and water vapor are not easy to get inside, beyond that the dry-wet alternate cycle is long, which is not conducive to ion migration. Compared to reinforced concrete exposed to the atmosphere directly, oxygen and water etc. can penetrate to steel surface through the protective layer of reinforced concrete to maintain the cathode reaction, however, the condition of corrosion in concrete material filled steel tube is more demanding, the corrosion rate is lower, and the probability of occurrence of pitting is also lower, the ratio of the maximum depth of pitting and average corrosion depth is smaller than the reinforced concrete. Therefore, if corrosion type is pitting corrosion, the maximum corrosion depth of steel will be:

$$d_{max} = 8d_{av} = 7 D_c C_{o_2} / \rho_s. \quad (4)$$

The derivation process of square concrete filled steel tube is the same as circular concrete material filled steel tube. So, the total mass consumption of iron can be expressed as:

$$M_{Fe} = \frac{7B_c^2}{2} C_{o_2} L. \quad (5)$$

If corrosion type is general corrosion, the average corrosion thickness of steel will be:

$$d_{av} = \frac{7B_c}{8\rho_s} C_{o_2}. \quad (6)$$

In which, B_c is the concrete side.

If corrosion type is pitting corrosion, the maximum depth of pitting corrosion of steel will be:

$$d_{max} = 8d_{av} = 7 B_c C_{o_2} / \rho_s. \quad (7)$$

To calculate the corrosion depth, it is necessary to know the value of oxygen content in concrete material. Oxygen in concrete material comes from air. The percentage of oxygen

concentration in air is about 21.7%, which is converted to mass concentration of 0.31. At the same time, according to "JGJ55-2000 specification for mix proportion design of ordinary concrete", air content of concrete material should not exceed 7%. In the actual mix proportion design, air content of concrete admixture without air-entraining agent is set to 1%, the concentration of oxygen in concrete material equals to air content multiplied by concentration of oxygen in air. Therefore:

- 1) The oxygen concentration in concrete should not exceed $0.0217 \text{ kg} / \text{m}^3$;
- 2) The oxygen concentration of concrete admixture without air-entraining agent is $0.0031 \text{ kg} / \text{m}^3$.

Based on the analysis above, steel consumption per unit length and corrosion thickness of different diameter (length) concrete material filled steel tube can be calculated respectively according to oxygen concentration of 0.0031 and 0.0217, see Table 1 and Table 2:

Table 1

Corrosion thickness of different diameter circular CFST

Concrete outer diameter D_c /mm	Steel consumption per unit length (kg/mm)		Average corrosion thickness (mm)		Maximum depth of pitting	
	Oxygen concentration (kg / m^3)		Oxygen concentration (kg / m^3)		Oxygen concentration (kg / m^3)	
	0.0031	0.0217	0.0031	0.0217	0.0031	0.0217
200	0.0434	0.3040	6.91E-05	4.84E-04	5.53E-04	3.87E-03
300	0.0977	0.6839	1.04E-04	7.26E-04	8.29E-04	5.81E-03
400	0.1737	1.2158	1.38E-04	9.68E-04	1.11E-03	7.74E-03
500	0.2714	1.8997	1.73E-04	1.21E-03	1.38E-03	9.68E-03
600	0.3908	2.7356	2.07E-04	1.45E-03	1.66E-03	1.16E-02
700	0.5319	3.7234	2.42E-04	1.69E-03	1.94E-03	1.35E-02
800	0.6948	4.8633	2.76E-04	1.94E-03	2.21E-03	1.55E-02
900	0.8793	6.1551	3.11E-04	2.18E-03	2.49E-03	1.74E-02
1000	1.0856	7.5989	3.46E-04	2.42E-03	2.76E-03	1.94E-02
1100	1.3135	9.1946	3.80E-04	2.66E-03	3.04E-03	2.13E-02
1200	1.5632	10.9423	4.15E-04	2.90E-03	3.32E-03	2.32E-02
1300	1.8346	12.8421	4.49E-04	3.14E-03	3.59E-03	2.52E-02
1400	2.1277	14.8938	4.84E-04	3.39E-03	3.87E-03	2.71E-02

Table 2

Corrosion thickness of different length square CFST

Concrete side length B_c /mm	Steel consumption per unit length (kg/mm)		Average corrosion thickness (mm)		Maximum depth of pitting	
	Oxygen concentration (kg/m^3)		Oxygen concentration (kg/m^3)		Oxygen concentration (kg/m^3)	
	0.0031	0.0217	0.0031	0.0217	0.0031	0.0217
200	0.0553	0.3870	6.91E-05	4.84E-04	5.53E-04	3.87E-03
300	0.1244	0.8708	1.04E-04	7.26E-04	8.29E-04	5.81E-03
400	0.2211	1.5480	1.38E-04	9.68E-04	1.11E-03	7.74E-03
500	0.3455	2.4188	1.73E-04	1.21E-03	1.38E-03	9.68E-03
600	0.4976	3.4831	2.07E-04	1.45E-03	1.66E-03	1.16E-02
700	0.6773	4.7408	2.42E-04	1.69E-03	1.94E-03	1.35E-02
800	0.8846	6.1921	2.76E-04	1.94E-03	2.21E-03	1.55E-02
900	1.1196	7.8369	3.11E-04	2.18E-03	2.49E-03	1.74E-02
1000	1.3822	9.6752	3.46E-04	2.42E-03	2.76E-03	1.94E-02
1100	1.6724	11.7069	3.80E-04	2.66E-03	3.04E-03	2.13E-02
1200	1.9903	13.9322	4.15E-04	2.90E-03	3.32E-03	2.32E-02
1300	2.3359	16.3510	4.49E-04	3.14E-03	3.59E-03	2.52E-02
1400	2.7090	18.9633	4.84E-04	3.39E-03	3.87E-03	2.71E-02

Through theoretical analysis shows, if external oxygen cannot penetrate steel tube into concrete material, and the corrosion type is general corrosion or pitting, since the oxygen concentration in concrete material is limited, when oxygen is consumed completely, the average corrosion thickness of steel tube is very small, which can be neglected. Therefore, if the two basic assumptions above established or satisfied, sea-sand concrete material can be applied to CFST directly without special treatment.

3. Finite Element numerical predictions

3.1 Prediction formula of corrosion current densities

Liu and Weyers [17] studied the corrosion of reinforced concrete and proposed the following formula for predicting the corrosion current densities

$$\ln 1.08i_{corr} = 8.37 + 0.618 \ln(1.69Cl) - 3034/T - 0.000105R_c + 2.32 \times t^{-0.215}, \quad (8)$$

where i_{corr} – corrosion current densities ($\mu A/cm^2$);

Cl – content of chloride ion (Kg / m^3);

T – Kelvin Temperature (K);

t – corrosion time (year);

R_c – Ohmic resistance of concrete (Ω).

On the basis of equation (8), Yang [18] proposed an alternative formula to calculate the corrosion current density.

$$\ln i_{corr} = 8.617 + 0.618 \ln \left[Cl \left(\frac{1}{0.0274t^{0.9293}} + 6.2526 \right) \right] - 3034 / T - 0.0142R_c^1, \quad (9)$$

where R_c^1 – ohmic resistance per unit area concrete (Ω / cm^2).

From Liu and Weyers [17], the corrosion rate of reinforced concrete (V_{corr}), content of chloride ion (Cl) and corrosion time (t) are related as follows,

$$V_{corr} = \eta \ln \left[Cl \left(\frac{1}{\alpha t^\beta} + \gamma \right) \right] \quad (10)$$

Yang [18] estimated the values of α , β , γ and η through a regression analysis and recommended that: $\alpha=0.027$, $\beta=0.9293$, $\gamma=6.2526$ and $\eta=0.618$.

Assuming that for the sea sand material CFST columns, the relationship of V_{corr} , Cl and t is similar to that of the internally reinforced concrete, while an additional constant K_1 is introduced to include the effect of the steel tube confinement and the effect of the sea sand concrete material, as shown in the equation below.

$$V_{corr} = \eta \ln \left[K_1 Cl \left(\frac{1}{\alpha t^\beta} + \gamma \right) \right] \quad (11)$$

The proposed values [17, 18] of the ohmic resistance of per unit area concrete (R_c^1) in the above formulas are $35 \Omega / cm^2$ and $42 \Omega / cm^2$, respectively, for concrete material with 0.5% and 0.2% concentrations of Cl^- . The value of K_1 is estimated below through linear interpolation of the test results.

Since the magnification factor applied to the rate of corrosion measured from Gecor 6 is 8, the actual corrosion current densities of Case 3 are $0.12 \times 8 = 0.96 \mu A / cm^2$ for 0.5% concentrations of Cl^- and $0.09 \times 8 = 0.72 \mu A / cm^2$ for 0.2% concentrations of Cl^- , respectively, where $0.09 \mu A / cm^2$ and $0.12 \mu A / cm^2$ are the respective measured values from the tests. Considering $T=293K$ and $t=0.329y$, the following two equations are obtained for the concrete material with Cl^- concentrations of 0.5% and 0.2%, respectively.

$$\left\{ \begin{array}{l} \ln 0.84 = 8.617 + 0.618 \ln \left[K_1 \cdot 2.36 \cdot \left(\frac{1}{0.0274 \left(\frac{120}{365} \right)^{0.9293} + 6.2526} \right) \right] - 3034/T - 0.0142 \cdot 35 \\ \ln 0.63 = 8.617 + 0.618 \ln \left[K_1 \cdot 0.944 \cdot \left(\frac{1}{0.0274 \left(\frac{120}{365} \right)^{0.9293} + 6.2526} \right) \right] - 3034/T - 0.0142 \cdot 42 \end{array} \right. \quad (12)$$

From equation (12), K_1 is approximately equal to 0.15.

Substitution of the obtained K_1 into Eq. (9) yields

$$\ln i_{corr} = 8.617 + 0.618 \ln \left[0.15 \cdot Cl \left(\frac{1}{0.0274 t^{0.9293} + 6.2526} \right) \right] - 3034/T - 0.0142 \cdot R_c^1 \quad (13)$$

Eq. (13) can be used to predict corrosion current density of sea sand CFST columns.

3.2 The finite element simulation

To further validate the theoretical formulas derived in the last section, multi-phase finite element is used to simulate the corrosion of the sea sand material CFST columns subject to the conditions specified by Cases (2) and (3). The air and oxygen may penetrate into the steel tube through the flaws of the columns. Therefore, it is the steam flux (water flux) that controls the corrosion of the inner wall of the steel tube. The corrosion current density is in proportion to the water flux that can be calculated as follows [19, 20].

$$N_0 = \omega \times i_d, \quad (14)$$

where

$$i_d = nFD \cdot \frac{c}{\delta}, \quad (15)$$

and i_d – corrosion current density ($A \cdot m^{-2}$);

n – number of consumed electrons of per unit molar water in the cathode;

F – Faraday constant ($C \cdot mol^{-1}$);

D – diffusion coefficient of water ($m^2 \cdot s^{-1}$);

c – concentration of water ($mol \cdot m^{-3}$);

δ – diffusion layer thickness of Nernst thermal principle, which is related to the conditions of fluid mechanics and concentration of chloride ion;

N_0 – water flux ($mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$);

ω – internal conversion coefficient of units of water flux and corrosion current density ($mol \cdot s^{-1} / A$), $\omega = 5.2 \times 10^{-6}$.

The water flux can be simulated by the multi-phase finite element solution of the following equation.

$$\frac{\varepsilon_{ts} \partial c}{\partial t} + \nabla \cdot (-D \nabla c) = R - \bar{u} \cdot \nabla c, \quad (16)$$

where ε_{ts} – time correlation coefficient;

c – concentration ($mol \cdot m^{-3}$);

t – time (s);

D – diffusion coefficient ($m^2 \cdot s^{-1}$);

R – reaction rate ($mol \cdot m^{-3} \cdot s^{-1}$);

\bar{u} – velocity of every orientation ($m \cdot s^{-1}$).

In the simulation, R is zero because there is only diffusion and no reaction in concrete material. \bar{u} is set to zero because any flow of water at both ends is very limited. ε_{ts} is assumed to be 1. Thus, equation (16) is reduced as:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \nabla \cdot (-D \nabla c) = 0 \quad (17)$$

The general geometric, model meshing and calculated result of the sea sand material columns are shown in Fig.2. In the simulation, the diffusion coefficient is set to be $2.0 \times 10^{-11} m^2 \cdot s^{-1}$. The initial concentration of C is set to be $60 mol \cdot m^{-3}$ for both Cases 2 and 3.

The boundary conditions used in the modeling for the columns are presented in Tabs. 3-4.

Table 3

The boundary conditions of Case 2 in the simulation

Boundary condition	A2-a ($mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)	A2-b ($mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)	A2-c ($mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)
Top	$1.5 \times 4.012 \times 10^{-8} \times 0.871$	$3.6 \times 4.012 \times 10^{-8} \times 0.871$	$5 \times 4.012 \times 10^{-8} \times 0.871$
Bottom	$1.5 \times 4.012 \times 10^{-8} \times 0.0763$	$3.6 \times 4.012 \times 10^{-8} \times 0.0763$	$5 \times 4.012 \times 10^{-8} \times 0.0763$
Transverse surface	$1.5 \times 4.012 \times 10^{-8} \times c$	$3.6 \times 4.012 \times 10^{-8} \times c$	$5 \times 4.012 \times 10^{-8} \times c$

Table 4

The boundary condition of Case 3 in the simulation

Boundary condition	A3-a ($mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)	A3-b ($mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)	A3-c ($mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)
Top	$1.0 \times 4.012 \times 10^{-8} \times 0.0382$	$2.0 \times 4.012 \times 10^{-8} \times 0.0382$	$3 \times 4.012 \times 10^{-8} \times 0.0763$
Bottom	$1.0 \times 4.012 \times 10^{-8} \times 0.0382$	$2.0 \times 4.012 \times 10^{-8} \times 0.0382$	$3 \times 4.012 \times 10^{-8} \times 0.0763$
Transverse surface	$1.0 \times 4.012 \times 10^{-8} \times c$	$2.0 \times 4.012 \times 10^{-8} \times c$	$3 \times 4.012 \times 10^{-8} \times c$

The columns are divided into 1273 prism element, and every element has 4 nodes, which is shown in Fig. 2. The FE and experimental results of Cases (2) and (3) after exposed to the environment for four months are shown and compared in Table 5.

Table 5

The comparison of corrosion current density ($\mu A / cm^2$)

ID	Experiments	Finite element simulation
A2-a	2.30	2.18
A2-b	4.80	4.83
A2-c	6.40	6.55
A3- a	0.43	0.49
A3-b	0.77	0.77
A3-c	0.97	0.82

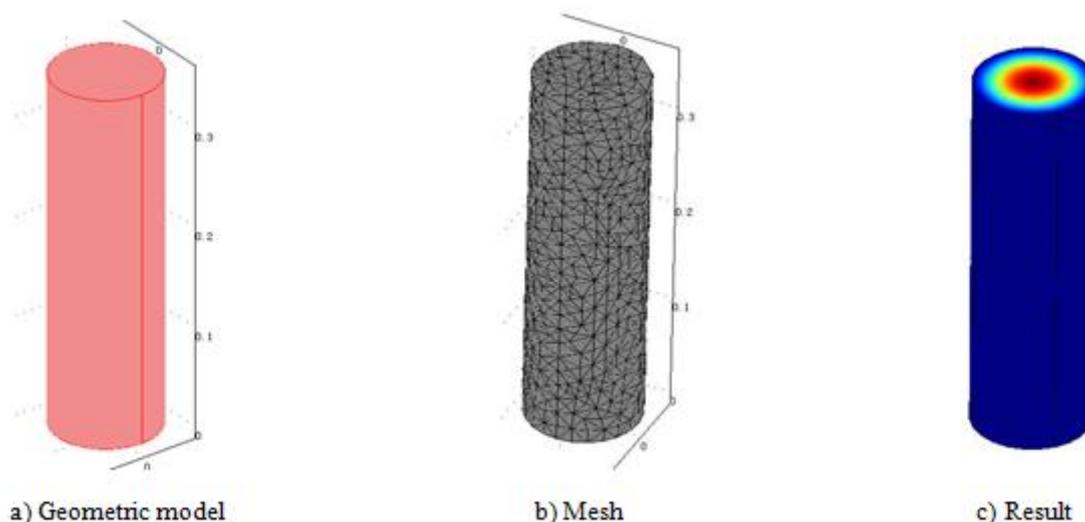


Fig. 2. FE model meshing and calculated result

The ten years corrosion current density of finite element simulation is compared with the equation (13) in Figs. 3 and 4, respective for the cases.

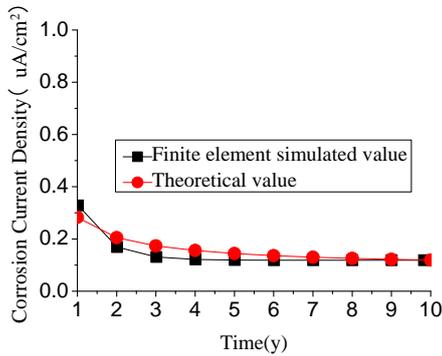


Fig. 3. The comparison of A3-b

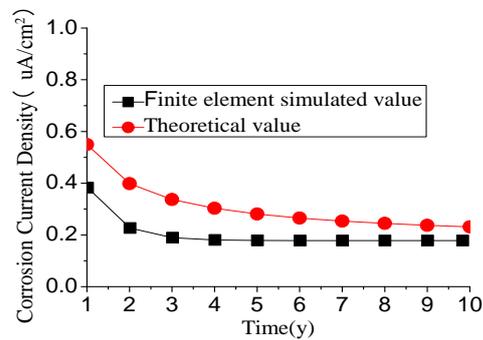


Fig. 4. The comparison of A3-c

It can be seen from the comparisons that the FE simulations agree with the theoretical solutions, both of which show that the current density drops significantly in the first two years and keeps at an almost constant level for the rest life of the columns.

4. Experimental investigations

In order to verify the above theoretical analysis, and to study the effect of sea sand material with various concentrations of Cl^- , sodium chloride (NaCl) was dissolved in fresh water and added to the cement with river sand to create sea sand concrete material in a laboratory environment. The composition comprised cement 639 kg/m^3 , fresh water 246 kg/m^3 , fine aggregate 472 kg/m^3 and coarse aggregate 934 kg/m^3 with various concentrations of Cl^- . Selected samples of the CFST columns with sea and river sand are shown in Table 6. Generally speaking, the concentrations of Cl^- in the sea sand material are different at different locations. Two representative concentrations of Cl^- (0.2% and 0.5%) are studied in this paper, where the concentrations of Cl^- are calculated as the mass ratio of Cl^- and the fine aggregates. For comparisons, columns with river sand concrete material of the same composition as the above were also tested. The details of the three types of CFST columns are shown in Table 6.

Table 6

Properties of the CFST columns				
Column	Size of Steel Tube (mm)	Sand	Concentrations of Cl^- (%)	Content of Cl^- (Kg/m^3)
1	108×4×350	River sand	0	0
2	108×4×350	Sea sand	0.2	0.944
3	108×4×350	Sea sand	0.5	2.36

Three identical columns were made for each type of the three columns in Table 3 and were tested under different environmental conditions. The columns with different Cl- concentrations were tested first to evaluate the influence of water on corrosion by submerging the entire columns in fresh water (Case 1 and Fig. 5). There were then tested for the influence of the combined action of water and oxygen, when the concrete material was in contact with water from the top end and exposed to the air from the top end and the base (Case 2 and Fig. 6). The columns were finally tested to simulate real buildings scenarios, where, due to the protection of the steel tubes and at both ends, the concrete material had very limited contact with water and oxygen (Case 3 and Fig. 7).

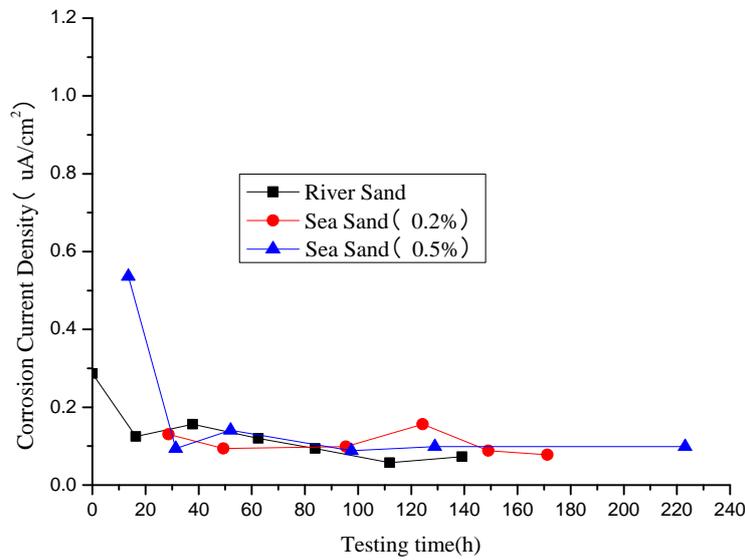


Fig. 5. Case 1: Corrosion current densities when columns have full contact with water

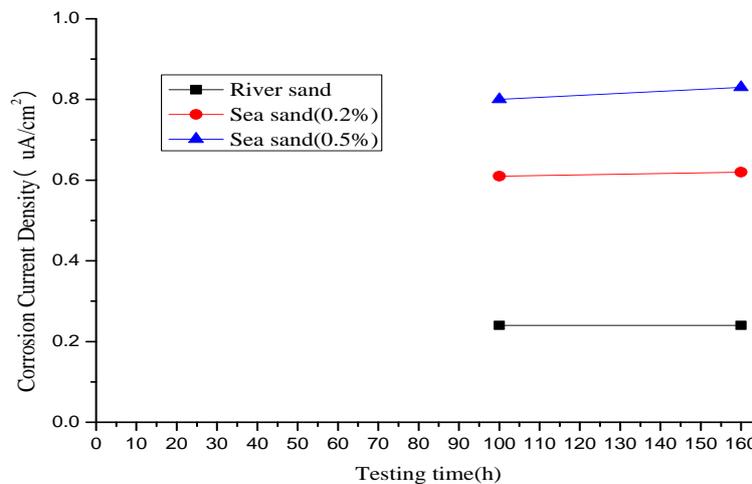


Fig. 6. Case 2: Corrosion current densities when columns are partially exposed to water and air

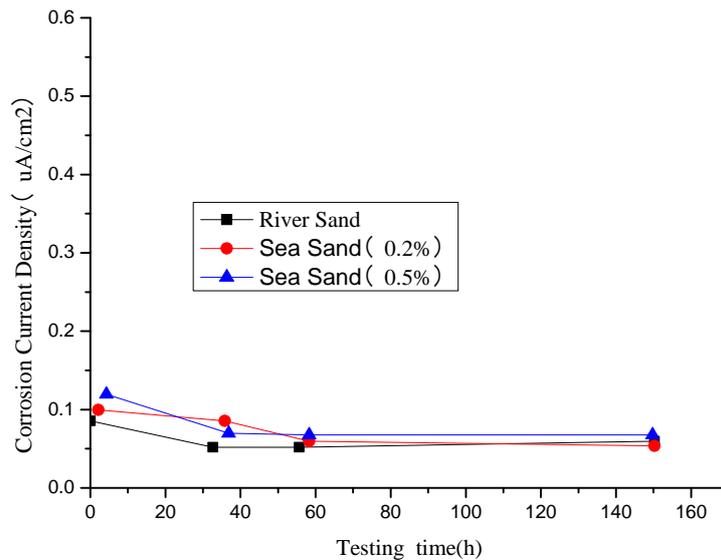


Fig. 7. Case 3: Corrosion current densities when columns have very limited contact with water and air

The laboratory settings for the above tests are shown in Fig. 8. The corrosion current densities were measured after the concrete had cured for 120 days, when the corrosion current densities had become steady. The corrosion current densities were measured by Gecor6 (see Fig. 9), by which the polarization resistance and then the corrosion rate were obtained. Briefly, the tests required polarizing an electrode between about -20mV and +20mV relative to the steady state corrosion potential. The slope of the resulting curve at the corrosion potential is the polarization resistance. The experimental results are shown in Figs. 5, 6 and 7, where comparisons are made for steel tubes filled with concrete material having different levels of CI.



Fig. 8. Corrosion of samples of A1, A2 and A3 series



Fig. 9. Apparatus (Gecor6) of corrosion current densities

From Fig. 5, it is evident that at the early stage the corrosion current density of the tested columns with a higher level of Cl^- concentration is always greater, which indicates that the higher the concentration of Cl^- is in the concrete material, the higher the corrosion rate of steel tubes will be. However, the corrosion rates of all the three columns are leveled and approaching to the rate of river sand filled column. This was attributed to the fact that the oxygen in the concrete mixture introduced during the course of construction had been virtually consumed for the early stage corrosion and the oxygen available from the surrounding water have minimum influence on the corrosion process of the steel tubes.

Fig. 6 shows the corrosion current density of the columns that have noticeable contact with both water and oxygen. It appears that the corrosion current densities are rather stable and are significant different for the three concrete mixtures. Obviously, the steel tubes filled with river sand are the best and concrete material with a higher concentration of Cl^- should be avoided. The test results suggest that sea sand concrete mixtures are not suitable for CFST columns that are subject to several weather or environmental conditions, such as using as bridge components.

Fig. 7 shows that the current densities of the well protected columns are quite similar to those of Fig. 5, especially after the corrosion rate is stabilized; there is no significant difference between the columns with or without using sea sand in the concrete material. In this case the interaction with oxygen was blocked out due to the confinement of the steel tubes and insulation measures taken at the two ends of the columns.

From Figs. 5, 6 and 7, the most unfavorable situations are when the columns had substantial exposure to both water and air (Fig. 6). The test results suggest also that sea sand material can be used as an alternative to river sand material as long as its exposure to the open air is limited, even when the surrounding condition is very wet. Under this condition, the level of Cl^- concentration in the concrete material only affects the early stage corrosion, while the columns

long term behavior is almost identical to that of steel tube columns filled with river sand material.

On the basis of the measured corrosion current densities of the columns, the depth of corrosion penetration of the steel tube can be calculated according to Faraday's laws of electrolysis [15, 21, 22]. A corrosion time of 10 years is considered here as an indication of their long term performance. The actual corrosion is set to eight times of the corrosion that is measured from Gecor6 [17]. The calculated depth of corrosion penetration and the corrosion ratio from the test data are as follows, where the cases with 0.5% Cl⁻ concentrations are considered.

a) The depth of corrosion penetration of the columns tested for Fig. 5

The corrosion depth [16]:

$$h = \frac{Mi_{corr}t}{F\gamma} = 3.72 \times 10^{-5} \times 0.1 \times 10^{-6} \times 8 \times 10 \times 365 \times 24 \times 3600 = 9.36 \times 10^{-3} \text{ cm} \quad (18)$$

The corrosion ratio

$$\alpha = \frac{h}{H} = \frac{9.36 \times 10^{-3}}{0.4} = 2.32\%, \quad (19)$$

where h – corrosive depth of the steel tube (cm);

M – relative atomic weight ($g \cdot mol^{-1}$);

i_{corr} – averaged corrosion current density ($A \cdot cm^{-2}$);

t – time (s);

F – Faraday constant ($96485C \cdot mol^{-1}$) [23, 24];

γ – density of steel ($g \cdot cm^{-3}$);

H – thickness of steel (cm);

α – corrosive ratio.

b) The depth of corrosion penetration the columns tested for Fig. 6

The corrosion depth:

$$h = \frac{Mi_{corr}t}{F\gamma} = 3.72 \times 10^{-5} \times 0.8 \times 10^{-6} \times 8 \times 10 \times 365 \times 24 \times 3600 = 75.52 \times 10^{-3} \text{ cm}. \quad (20)$$

The corrosion ratio:

$$\alpha = \frac{h}{H} = \frac{75.52 \times 10^{-3}}{0.4} = 19.2\%. \quad (21)$$

c) The depth of corrosion penetration of the columns tested for Fig. 7

The corrosion depth:

$$h = \frac{Mi_{corr}t}{F\gamma} = 3.72 \times 10^{-5} \times 0.05 \times 10^{-6} \times 8 \times 10 \times 365 \times 24 \times 3600 = 4.72 \times 10^{-3} \text{ cm.} \quad (22)$$

The corrosion ratio:

$$\alpha = \frac{h}{H} = \frac{4.72 \times 10^{-3}}{0.4} = 1.2\%. \quad (23)$$

From the above calculations, it can be seen that the corrosion depths of the cases (1) and (3) are very small. It is expected that the small reduction in the steel thickness will not reduce the bearing capacity of the CFST column significantly. From the experiments and the above calculations, it can be concluded that to reduce the overall construction cost of the CFST columns, it is not always necessary to clean the sea sand when they are added to cement for using as the infill of well-sealed steel tubes. However, cautions are necessary at the design and construction stages in order to minimize unnecessary exposure of the concrete to the open air.

5. Conclusion

In this paper the corrosion effect of using sea sand concrete material directly in CFST columns has been studied through limit analysis, experiments and finite element modeling. The study quantitatively evaluated the possibility of using sea sand concrete material as a substitute to river sand concrete material in steel tube columns. It has been found that the steel tube and concrete can prevent the external water and oxygen from penetrating to the concrete and the corrosion from the chloride ion of sea sand is small. The results were validated by comparisons with the test results and multi-physics finite element simulation. The paper shows that sea sand does not need to be cleaned, which can be directly used in CFST column if the infill concrete material is well protected by the steel tube.

References

1. İsmail H.Ç. (2005). Experimental evaluation of buildings damaged in recent earthquakes in Turkey. *Eng Fail Anal* 12(3): 440-452.
2. Tumidajski P.J., Chan G.W. (1996). Boltzmann-Matano analysis of chloride diffusion into blended cement concrete. *J Materials in Civil Eng* 8(4): 195-200.
3. Amey S.L., Johnson D.A., Miltenberger M.A., Hamid F. (1998). Predicting the service life of concrete marine structure: an environmental methodology. *ACI Mater J* 95(2): 205-214.
4. Mangat P.S., Molloy B.T. (1994). Prediction of long term chloride concentration in concrete. *Mater Struct* 27(6): 338-346.

5. Kamali S., Bernard F., Abriak N.E., Degrugilliers P. (2008). Marine dredged sediments as new materials resource for road construction. *Waste Manage* 28(5): 919-928.
6. Colin D. (2003). Valorisation de sédiments fins de dragage en technique routière. Doctoral thèses. Université de Caen, France.
7. Dubois V., Abriak N.E., Zentar R., Ballivy G. (2009). The use of marine sediments as a pavement base material. *Waste Manage* 29(2): 774-782.
8. Zentar R., Dubois V., Abriak N.E. (2008). Mechanical behaviour and environmental impacts of a test road built with marine dredged sediments. *Resour Conserv Recycling* 52: 947-954.
9. Levacher D., Sanchez M., Duan Z., Le G.C. (2008). Propriétés physiques et hydrauliques de sédiments marins en vue de réutilisation en remblais. *Xèmes J. Natl. Génie Côtier*. Sophia, Antipolis, 761-774.
10. Levacher D., Colin D., Perroni A.C., Duan Z., Sun L. (2006). Recyclage et valorisation de sédiments fins de dragage à usage de matériaux routiers. *IXème J. Natl. Génie Civil–Génie Côtier*, Brest, France, 603-612.
11. Maher A., Douglas W.S., Jafari F. (2006). Field placement and evaluation of stabilized dredged material (SDM) from the New York-New Jersey Harbor. *Mar Georesour Geotechnol* 24: 251-263.
12. Maher A., Bennert T., Jafari F., Douglas W.S., Gucunski N. (2004). Geotechnical properties of stabilized dredged material from New York-New Jersey Harbor. *Transport. Res. Record J. of the Transport. Res. Board*, 1874(1): 86-96.
13. Chinese Standard. (2014). Technical Code for Concrete Filled Steel Tubular Structures. China Building Industry Press, GB 50936-2014. BeiJing, China. (in Chinese).
14. Zha X.X. (2011). Hollow and solid concrete filled steel tubular structure. China Science Press, Beijing, China. (in Chinese).
15. Kodur V.K.R., Wang Y.C. (2001). Performance of high strength concrete filled steel columns at ambient and elevated temperatures. In *Proceedings of the 9th international symposium and Euroconference on tubular structures IX*. Duesseldorf, Germany: 445-452.
16. Gonzalez J.A., Andrade C., Alonso C., et al. (1995). Comparison of rates of general corrosion and maximum pitting penetration on concrete embedded steel reinforcement. *Cement Concrete Res* 25(2): 257-264.
17. Liu T., Weyers R.W. (1998). Modeling the dynamic corrosion process in chloride contaminated concrete structures. *Cement Concrete Res* 28(3): 365-379.

18. Yang J.J. (2003). Model on the steel corrosion rate in uncracked concrete under chloride environment. Master degree thesis of Shanghai Jiaotong University, China. (in Chinese).

19. Hans B. (2005). Corrosion in Reinforced Concrete Structures. CRC Press, New York, USA.

20. Li F.M., Yuan Y.S., Ji Y.S., Jiang J.H. (2008). The Corrosion Kinetics of Steel Bars Embedded in Concrete. J China University of Mining & Techno 37(4): 565-569. (in Chinese).

21. Bazant Z.P. (1977). Physical model for steel corrosion in concrete sea structures: application. ASCE J Struct Division 105(6): 1155-1166.

22. Chung L., Jay Kim J., Yi S. (2008). Bond strength prediction for reinforced concrete members with highly corroded reinforcing bars. Cement & Concrete Comp 30: 603-611.

23. Jung W.Y., Yoon Y.S., Sohn Y.M. (2003). Predicting the remaining service life of land concrete by steel corrosion. Cement Concrete Res 33(5): 663-677.

24. Carl H. H., Andrew H., Wolf V. (1998). Electrochemistry. Wiley-VCH, New York, 301-305.

УДК 72.01

Х.А. БЕНАИ, профессор, доктор архитектуры, декан архитектурного факультета ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка, Украина

М.Б. ПЕРМЯКОВ, доцент, кандидат технических наук, доктор Ph.D., директор института строительства, архитектуры и искусства ФГБОУ ВО «Магнитогорский Государственный технический университет им. Г.И. Носова», заведующий кафедрой строительного производства

Э.П. ЧЕРНЫШОВА, доцент, кандидат философских наук, член СПбПО, член Союза Дизайнеров России, заместитель директора института строительства, архитектуры и искусства по научной работе и международной деятельности, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

Т.В. РАДИОНОВ, доцент, кандидат архитектуры, заместитель декана архитектурного факультета ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка, Украина

ФОРМИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ АРХИТЕКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ КОМПЛЕКСНОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ

Аннотация: Фактор времени показывает, что ничего в мире не может существовать вечно, но все же срок эксплуатации в контексте объектов, подлежащих реконструктивным мероприятиям, может быть существенно увеличен. А это характеризует то, что авторы статьи выносят на рассмотрение вопросы, связанные с динамическим преобразованием архитектурных объектов с различной типологической структурой, подвергающиеся комплексной реконструкции. Дополнительно освещаются некоторые аспекты, решаемые при условии привлечения специалистов из смежных областей науки.

Ключевые слова: динамическая архитектура, конструкция формы, преобразование, сохранение, усовершенствование, адаптация, философия восприятия, синтез.

H.A. BENAI, Professor, doctor of Architecture, Dean of Architectural Faculty, Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture, Makeyevka, Ukraine

M.B. PERMYAKOV, Associate Professor, candidate of Technical Sciences, Ph.D., Director of Civil Engineering, Architecture and Art Institute, Nosov Magnitogorsk State Technical University

E.P. CHERNYSHOVA, Associate Professor, candidate of Philosophical Science, the member of St. Petersburg Psychological Union, the member of the Russian Design Union, Vice-director of Institute of Civil Engineering, Architecture and Art for Research and International Affairs, Nosov Magnitogorsk State Technical University

T.V. RADIONOV, Associate Professor, candidate of Architecture, Deputy Dean of Architectural Faculty, Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture, Makeyevka, Ukraine

THE FORMATION OF DYNAMIC STRUCTURE OF ARCHITECTURAL OBJECTS DURING COMPLEX RECONSTRUCTION

Abstract: The time factor shows that there is nothing in the world can exist forever, but a lifetime in the context of objects under reconstructive interventions can be significantly increased. And it

characterizes what the authors bring to the consideration of issues related to the dynamic transformation of architectural objects with different typological structure during complex reconstruction. Additionally, some aspects which being solved under the condition of involving experts from related fields of science are highlighted.

Key words: dynamic architecture, forms design, transformation, preservation, improvement, adaptation, philosophy of perception, synthesis.

Постановка проблемы. На сегодняшний день практически все страны постсоветского пространства столкнулись с проблемами организации архитектурной среды городов, в особенности крупнейших и крупных в контексте современного обновления облика и как следствие, решение насущных проблем с типовыми объектами архитектуры. Ранее в научных публикациях авторов рассматривались вопросы преобразования типовой архитектурной среды, ее модернизации, усовершенствования, но не учитывались более весомые и значимые вопросы, которые непосредственно связаны с динамикой архитектурной среды городов. Безусловно, это очень сложный вопрос, нуждающийся в комплексной проработке. Мировая архитектурная практика в области реконструкции зданий и сооружений показывает, что искусство инженерии продвигается со стремительными результатами, которые в том числе преподносят всему миру красоту, эстетику и целостность восприятия архитектурного ансамбля. Поэтому авторы статьи, основываясь на множественных и значимых исследованиях авторов, занимающихся подобной проблематикой, обращают особое внимание на процессы преобразования архитектурных объектов при реконструктивных действиях, как на архитектурно-градостроительном уровне, так и на идейно-художественном, эстетическом и безусловно идеологическом, который основывается на социальных постулатах.

Постановка задач исследования. С целью получения положительных результатов исследования, авторы научной публикации ставят основные задачи исследования, которые позволят предметно и конструктивно рассматривать определенные вопросы, касающиеся реконструкции зданий и сооружений:

1. Определить теоретическую и практическую структуру научного исследования, которые являются основополагающими в конкретном случае;
2. Исследовать методологическую структуру исследования на предмет ранее полученных результатов других авторов;
3. Определить терминологический аппарат работы в области динамического преобразования архитектурных объектов при реконструкции;

4. Предварительно сформулировать первые предложения и рекомендации, касающиеся некоторых аспектов формирования динамической структуры архитектурных объектов, которые нуждаются либо подвергаются реконструкции, особенно комплексной, в различных регионах постсоветского пространства.

Ссылаясь на вышеизложенные задачи, следует отметить, что процесс формирования динамической структуры зданий и сооружений, которые подвергаются реконструкции, зависит от множества факторов и условий, создаваемых как для отдельно стоящих объектов, так и для групп в целом.

Основной материал. Рассматривая проблемы, связанные с динамическим преобразованием зданий и сооружений, либо архитектурной среды в комплексном контексте, приемлемо освещать теоретические и практические аспекты данного процесса.

Теоретическая структура. Заключается в том, что термин динамика имеет достаточно вариативные разъяснения, все зависит от того, какому разделу науки он присущ. В конкретном случае, авторы рассматривают динамику и ее проявления в архитектурно-градостроительном аспекте восприятия и познания. Теоретически можно предположить, что объекту различного типологического назначения в условиях реконструкции возможно придать новую более усовершенствованную форму, что создает так называемую формообразующую конструкцию, которая будет придавать уже иное восприятие объекту на всех его уровнях. Также следует отметить, что в теории возможно определить вариативность будущих научных решений, которые будут объективно отвечать современным требованиям, предъявляемым к объектам в процессе реконструкции. Необходимо подчеркнуть, что процесс формирования динамической структуры зданий при реконструкции как с теоретической, так и с практической точки зрения должен рассматриваться с учетом градостроительных условий застройки, а также с учетом всех архитектурно-художественных характеристик, участвующих в подобных процессах.

Практическая структура. Отличительно от теоретической структуры, практическая часть содержит более точные и весомые характеристики, которые впоследствии воплощаются в реализацию изначально определенных замыслов. Практическая часть формирования динамической структуры зданий и сооружений, которые подвергаются реконструкции, должна отвечать в первую очередь всем нормативно-правовым требованиям того региона, где осуществляется реконструкция, не противоречить уже сформированной архитектурной среде, которой присущи такие понятия как: стиль, гармония, ансамбль, цветовое решение, композиционно-

художественное решение, конструктивно-технические составляющие. Дополнительно авторы отмечают, что практическая часть динамического переустройства объектов архитектуры должна вписываться в архитектурный ансамбль (квартала, улицы, района, города, мегаполиса и т.д.), преумножать уже сформированное пространство, и в то же время должна учитывать современные мировые тенденции, которые придают объекту реконструкции после выполнения всех проектных и строительных мероприятий определенную узнаваемость и архитектурную значимость.

Методологической структурой научного направления в области исследований динамических процессов в архитектуре является достаточно уникальный и значимый перечень ранее полученных результатов известных авторов и их научных трудов, в частности работы: Сапрыкиной Н.А., Гайдученя А.А., Акбаралиева Р.Ш., Мироненко В.П., Цуриковой Е.А., Ненашевой О.А., Ибрагимова И.А., Метленкова Н.Ф., Лапшиной Е.Г, Масловой Н.А., Черницына В.А., Ибрагимова И.А., Лебедева В.А, Терехова И.Г. [1, 4, 6, 8, 9].

Необходимо отметить, что результаты авторов, которые перечислены в статье, получили мировую известность и являются основополагающими. В частности Сапрыкина Н.А. в своей работе указывает на то, что в условиях динамического преобразования здания адаптируются в условиях архитектурной среды – с этим безусловно можно согласиться, так как объект является частью целого (общества, города, а также философии восприятия его как творения).

Особого внимания заслуживает научная работа Арбакалиева Р.Ш. «Фактор времени в формообразовании объектов динамической архитектуры», в которой автор подчеркивает и акцентирует, что время – это формообразующая категория в архитектуре. Безусловно и принципиально важно, что на это обращают внимание. Так как временной характер архитектурных объектов подчеркивает еще раз их значимость, а зачастую придает объекту вторую жизнь в условиях эксплуатации.

Методологическим связующим между научно-практической и теоретической частью является все же терминологический аппарат, который позволяет более предметно и достоверно определять характер исследований, границы и методологические составляющие.

На современном этапе развития архитектуры и ее научных направлений, возникают трансформативные процессы не только в объектах (здания и сооружения), но и в терминологии. Например, ранее зачастую использовался термин *кинетическая архитектура* означающий направление архитектуры, в котором здания сконструированы

таким образом, что их части могут двигаться относительно друг друга, не нарушая общую целостность структуры [5]. На сегодняшний день этот термин воспринимается и используется уже как динамическая архитектура. Но в данном случае этот термин является основоположником большого и уникального направления в архитектуре – динамическая архитектура, которая будет направлена на взаимодействие с окружающей средой.

Авторы статьи, основываясь на вышеизложенном материале, а также исследованиях авторов, посвятивших свои труды динамическому преобразованию в архитектуре, предлагают:

1. Предварительно выполнять комплексный анализ методологической структуры современных исследований, которые посвящены процессам динамического преобразования архитектурных объектов, подвергающихся реконструкции;

2. Рассматривать процесс реконструкции комбинированно: архитектурно-градостроительные аспекты совместно с конструктивно-техническими, которые позволят более предметно оценивать варианты проектных решений и могут быть в последствии реализованы на практике во многих регионах постсоветского пространства;

3. Учитывать фактор действительности [10] в философском восприятии архитектурных решений с динамической составляющей при реконструкции, как на архитектурном, так и на градостроительном уровнях.

Выводы. Исследования показали, что теоретическая и практическая составляющие динамических процессов в архитектуре при реконструкции основываются на методологической сути решения проблемы. Отдельного внимания заслуживает научная работа Гельфонд А.Л. и Дуцева М.В., в которой рассмотрен архитектурно-художественный синтез в архитектуре, проявляющийся через диалог «человек-архитектура» [3], вызывающий определенные эмоции, ощущения, а также придающий определенные «фрактальные» [7] очертания архитектурным объектам.

Процессы формирования динамической структуры архитектурных объектов при реконструкции могут и должны формироваться на начальных стадиях исследования, так как это может существенно сократить время на поиск идеи и выбор правильного решения, применимого к конкретно заданному объекту, либо к группе объектов, которые подвергаются или нуждаются в реконструктивных мероприятиях, а также размещены в сложных градостроительных условиях [2].

Установлено, что насущные проблемы, связанные с поиском гармоничных объемно-пространственных решений объектов архитектуры, при реконструкции

указывают на то, что современные технологии позволяют специалистам рассматривать объекты более детально и разнопланово.

Это в первую очередь заключается в компьютерном моделировании идеи, ее качественной обработке и, как следствие, в комплексном научном обосновании выбранного решения, которое позволит удовлетворить визуальные потребности человека, являющиеся неотъемлемыми и приоритетными с социальной точки зрения.

Но все же решающим элементов динамической структуры архитектурного объекта при реконструкции является характер изменения здания и его адаптация к окружающей, зачастую сформировавшейся архитектурной среде.

Список источников

1. Акбаралиев, Р.Ш. Принципы построения гибких архитектурных пространств [Текст] / Р.Ш. Акбаралиев // Архитектура и градостроительство стран Центральной Азии в новом тысячелетии: тр. межд. научно-практич. конф. – Бишкек: КРСУ, 2010. – С. 101-107.

2. Бенаи, Х.А. Динамическое преобразование объектов типовой застройки в условиях реконструкции [Текст] / Х.А. Бенаи, И.Г. Балюба, Т.В. Радионов // Журнал ДонНАСА «Современное промышленное и гражданское строительство» Макеевка. – 2016. – Том 12, Номер 1. – С. 5-12.

3. Гельфонд, А.Л. Архитектурно-художественный синтез как средство диалога [Текст] / А.Л. Гельфонд, М.В. Дуцев // Приволжский научный журнал. Н. Новгород: ННГАСУ, 2010. – № 4. – С. 147-152.

4. Гайдученя, А.А. Динамическая архитектура: основные направления развития, принципы, методы [Текст] / А.А. Гайдученя. – Киев: Будивельник, 1983.

5. Кинетическая архитектура [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Кинетическая_архитектура.

6. Мироненко, В.П. Анализ современных тенденций и подходов к проблеме проектирования динамической архитектуры [Текст] / В.П. Мироненко, Е.А. Цурикова // Проблемы архитектуры и градостроительства Вестник ДонНАСА: Макеевка. – 2014. – Вып. 2 (106).

7. Радионов, Т.В. Фрактальная архитектура как новейший потенциал, участвующий в реконструкции городской среды [Текст] / Т.В. Радионов, А.Г. Самченко // Архитектура. Строительство. Образование. – 2015. – № 2 (6). – С. 119-124.

8. Сапрыкина, Н.А. Основы динамического формообразования в архитектуре [Текст]: учебник для вузов / Н.А. Сапрыкина. – М.: Архитектура-С, 2005. – 312 с.

9. Сапрыкина, Н.А. Динамическая адаптация архитектурных объектов [Текст]: дис. ... док. арх. : 18.00.02 – Архитектура зданий и сооружений / Н.А. Сапрыкина. – Москва, 1999.

10. Чернышова, Э.П. Эксперимент в архитектурно-дизайнерском проектировании среды, как целеобразующий метод формирования действительности [Текст] / Э.П. Чернышова, А.Д. Григорьев // Архитектура. Строительство. Образование. – 2013. – С. 96-106.

11. Чернышова, Э.П. Феноменология архитектурной формы: влияние архитектурно-пространственных форм на психику человека [Текст] / Э.П. Чернышова // Сборник научных трудов SWorld «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития». – Выпуск 3. – Т. 49. – Одесса: КУПРИЕНКО, 2013. – С. 59-62.

12. Чернышова, Э.П. Формирование колористической среды селитебной зоны современных городов [Текст] / Э.П. Чернышова, А.Д. Григорьев // Жилищное строительство. – 2012. – № 5. – С. 13-15.

13. Чернышова, Э.П. Понятие комфорта в городской среде: роль дизайна [Текст] / Э.П. Чернышова // Архитектура. Строительство. Образование. – 2015. – № 2 (6). – С. 124-129.

УДК 72.03 (477)

Р.Н. ЛИПУГА, кандидат архитектуры, доцент кафедры архитектурного проектирования и дизайна архитектурной среды ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка, Украина

Е.И. БАРКАЛОВА, студентка архитектурного факультета ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка, Украина

РАННИЕ ПРАВОСЛАВНЫЕ ХРАМЫ В ДОНЕЦКОЙ ОБЛАСТИ НА ПРИМЕРЕ СВЯТОГОРСКОГО МОНАСТЫРЯ

Аннотация: В статье рассматриваются главные особенности архитектурно-пространственной и планировочной организации ранних православных храмов на примере Святогорского монастыря. Также выявляются некоторые природные особенности местности и приводятся сведения из истории, благодаря которым возможно охарактеризовать исторические и географические условия строительства и развития монастыря, формирования развитой структуры помещений в массиве меловых гор.

Ключевые слова: архитектурно-пространственная организация, монастырь, планировка.

R.N. LIPUGA, candidate of Architecture, Assistant Professor of the department of Architectural Engineering and Design of Architectural Environment, Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture, Makeyevka, Ukraine

K.I. BARCALOVA, Student of the Architectral Faculty, Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture, Makeyevka, Ukraine

EARLY ORTHODOX TEMPLES IN DONETSK REGION ON THE EXAMPLE OF SVYATOGORSK MONASTERY

Abstract: The main features of architectural and spatial planning organization of early Orthodox churches on the example of Svyatogorsk monastery are being discussed in this article. Also some of the natural features of the area and the historical information is being provided in the article, thanks to which it is possible to characterize the historical and geographical conditions for the constructing and developing of the monastery and the forming of a developed structure of space in the array of Cretaceous mountains.

Key words: architectural and spatial organization, the monastery, planning.

Постановка проблемы. История Донбасса столь же многогранна, сколь и культурное наследие, оставленное на просторах нашей родной земли. Святогорский монастырь, ныне именуемый Святогорской лаврой, является одним из древнейших православных монастырей не только на территории Донбасса, но и на землях Православной Руси. Он отличается интересной историей создания, а также значим в истории развития Донецкого региона в целом. Характерны отличительные особенности

организации композиционно-планировочной структуры, что в некотором смысле выделяет монастырь среди других древнейших православных сооружений.

Свято-Успенская Святогорская лавра является одним из значимых духовных центров нашего края. Святые горы во все времена привлекали людей творческих: художников, поэтов, писателей. Монастырь – один из важнейших памятников архитектуры и истории Донбасса, храмы и пещеры которого помнят ту непростую жизнь нашего народа ещё со времён царствования врагов на просторах крымских земель. Его постройки могут рассказать о культуре православных людей, об их особенном взгляде на формирование не только конструкции, но и архитектурного облика православной святыни.

Архитектура православных храмов Славянского монастыря служит живым доказательством многогранности культурного развития Донбасса. И обращение к наследию в наше время может сыграть очень важную роль в формировании правильной патриотической позиции молодёжи, её представлении о жизни, верованиях и быте предков. Погружение в познание исторического аспекта культурного развития также будет способствовать расширению кругозора людей и мотивированию к исследованию истории родного края.

Основной материал. Формирование комплекса Святогорского монастыря на землях Донбасса происходило во времена заселения бескрайних полей украинским казачеством и создания сторож Московской державы на территориях, граничивших с Крымским ханством, в начале XVI века. Упоминается тогда ещё Святогорская крепость, которая значится в реестре Донецких сторож 1571 года под пятым номером, в Никоновской летописи.

Известны несколько версий происхождения Славяногорского монастыря. Одно из преданий гласит, что первыми поселенцами Святогорска были иноки Киево-Печерской Лавры, разрушенной ордами Батыя в 1240 г. Именно часть монахов, которым удалось спастись от неволи, ушла на берега Северского Донца и основала Святогорский монастырь. К правдивости этого предания склоняет тот факт, что названия здешних храмов схожи с названиями храмов Киево-Печерской Лавры [5].

Другое предание гласит, что Святогорская обитель основана иноками Святой Афонской Горы. Говорили, будто бы однажды афонские монахи, которые плыли в Россию, ошибочно приняли устье Дона за Днепровский лиман, и, продвигаясь вверх по реке, вошли в реку Северский Донец. Живописная местность и белые меловые горы поразили их, и поэтому монахи решили уединиться в этих местах. Эта версия

подтверждается погребением монахов по афонскому обычаю. Только на Афоне существовал обычай, по которому ровно через три года после смерти монаха откапывали из могилы; кости собирали в отдельные помещения, а черепа устанавливались в монашеских кельях. Такой способ захоронения завели у себя и древние монахи Святогорья. Наконец, третьи историки приводят веские доводы о том, что Святогорский монастырь первоначально возник как оборонительный пункт на юге страны и служил нашим предкам надёжной защитой от набегов враждебных кочующих племён. Именно с этой целью в меловых горах были вырыты тайные подземные ходы и пещеры. Некоторые историки предполагают, что Святогорск был основан еще до татаро-монгольского нашествия, т.е. до середины XIII столетия. Вполне допустимо, что в те далекие времена здесь был основан и монастырь [9].

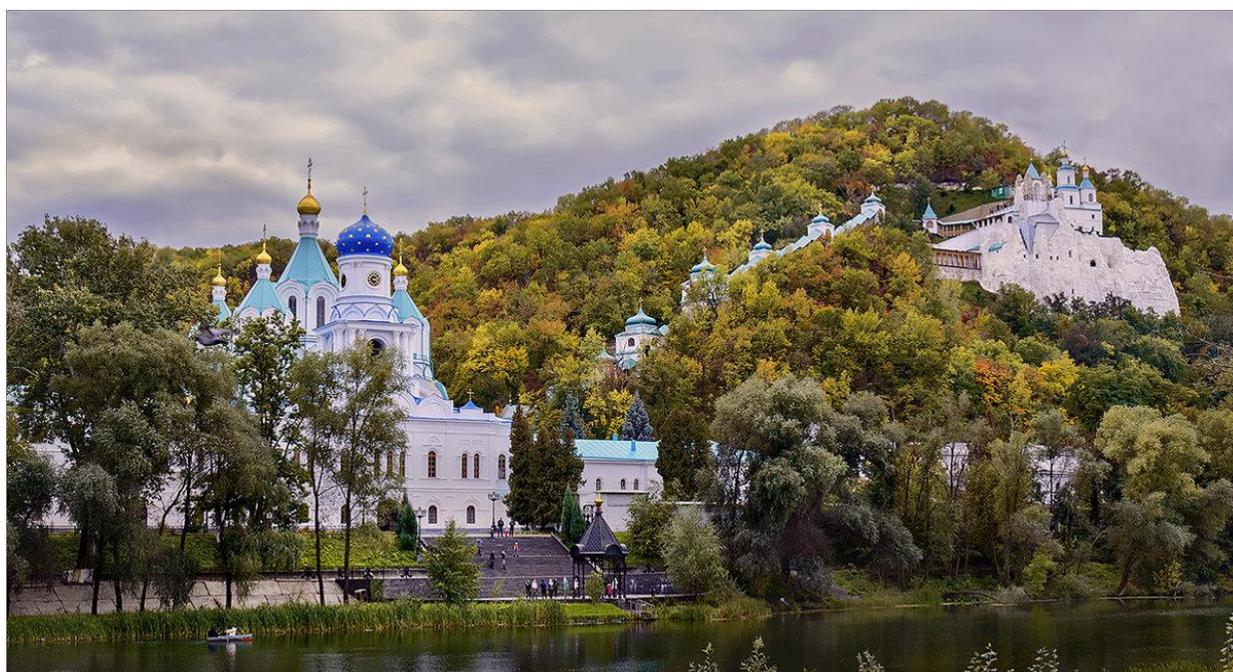


Рис. 1. Святогорский монастырь в Донецкой области

В крепость стекались сведения о готовящихся и уже осуществлённых набегах, о направлении движения и численности вражеских войск. Русские и украинские пленники бежали сюда из плена, из невольничьих рынков, ведь здесь они были обеспечены защитой и местом для ночлега. Они пересказывали новости о намерениях татар. В связи с этим была издана специальная грамота, согласно которой нельзя было задерживать вновь прибывших с важными вестями пленников в монастыре [2].

Издrevле монастырь жил своими трудами. Главным источником доходов был перевоз через реку Северский Донец, который находился в монастырских урочищах выше Святогорской обители. В XVI веке этот перевоз, согласно заметке С. Герберштейна, носил

название "Великий Перевоз" и был, по существу, единственной переправой в этих краях. По этой причине он помогал не только людям, которые занимались охотой, промыслами и прочим, но также и послам иностранных государств, из-за чего проходившая здесь дорога носила название «Посольский шлях». В середине 60-х годов XVII в. перевоз был переведен в городок Маяцкий, а вместо него государство выплачивало обители ежегодную компенсацию [1].

Несмотря на несовсем благоприятные условия жизни, обитель радушно принимала под свой кров всех, кто нуждался в ее помощи. Она была некоторого рода богадельней, где находили себе приют раненые, бежавшие пленники и странники. Нравственное влияние монастыря было так велико, что даже воровские черкасы приходили туда на покаяние и богомолье. В охраняемую самой природой крепость, как уже упоминалось, возможно было попасть только через перекидной мост, который поднимался и опускался при помощи специально установленного в крепости механизма, а специальные ходы связывали её со сложным лабиринтом меловых пещер. На случай осады были прорыты несколько тайных подземных ходов; а по внешнему обводу вала, на котором, словно птичьи гнезда, размещались бойницы, проходил ров. Защитники крепости, нередко сражаясь плечом к плечу с её населением, не раз обращали врагов в бегство.

После походов Петра I татарские набеги прекратились. Святогорская крепость утратила свое оборонное значение и полностью перешла во владение монахов, которые наладили здесь образцовое хозяйство: купили большие мельницы на реке Оскол, приобрели хутор Осинец под Купянском, вместе с крепостными крестьянами, возвели ряд хозяйственных построек. Святогорская крепость, которая по указу Правительства Российской державы вплоть до конца XVII века находилась под усиленной охраной, занимала весьма удачное для обороны место. С севера её укрывала отвесная скала, а с напольной стороны оберегала глухая меловая гряда. Именно древние меловые горы, хранящие древние храмы, одни из первых храмов Православной Руси, говорят человечеству о древней духовной истории нашего края. Именно внешняя опасность с юга, прежде всего с территории Крымского ханства, продиктовала необходимое условие формирования монастыря внутри меловой скалы. Развитая структура формировалась в течение всего XVII века и представляла собой пятиярусный комплекс сооружений пещерного типа. Согласно информации исследователей, храм, кельи и трапезная первых монахов находились на втором ярусе пещер и сохранились по сегодняшний день.

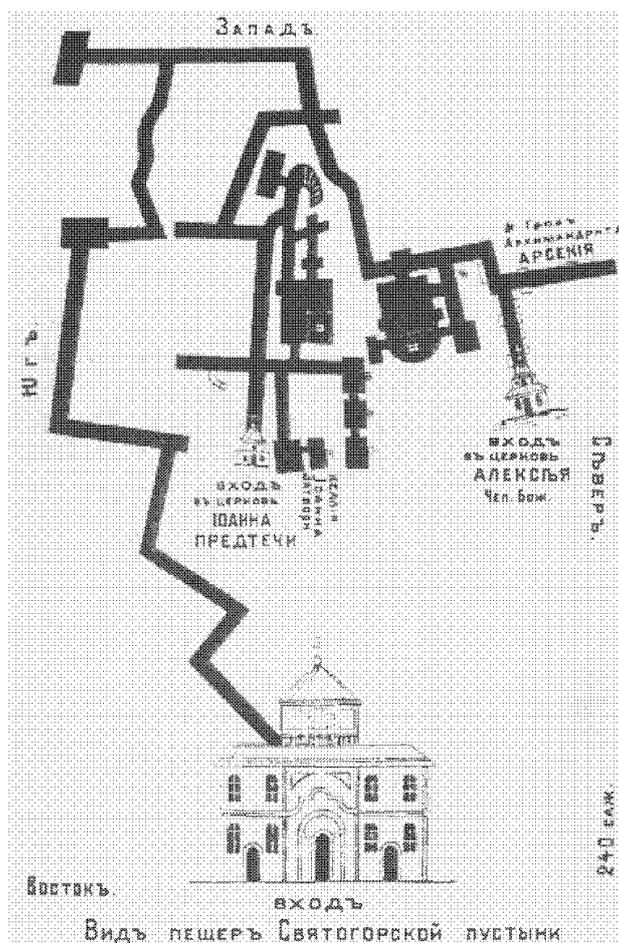


Рис. 2. План пещер Святогорского монастыря

В планово-пространственной композиции монастыря центральным является Иоанно-Предтеченский храм, который до середины XIX века именовался церковью Пресвятой Богородицы. Именно он считается первым Святогорским храмом.

Особенностью Иоанно-Предтеченского храма является наличие мелового столба, на который опирается свод пещеры высотой 3,5 м, в центре помещения. В северной стене храма, обращённой к реке Северский Донец, прорублены два оконных отверстия. В стене восточной вырублены две ниши, центральная из которых символизирует место престола, а левая – жертвенник. С этим связана другая особенность храма – отсутствие алтарной перегородки и абсиды. Строительство так называемых монастырей с «безалтарными храмами» в истории храмового пещерного строительства неразрывно связано с первоначальным периодом возникновения христианства и на территории Киевской Руси. В средневековых монастырях-пустынях, скрывавшихся от людских глаз в лесных массивах, монахи-аскеты соотносили место спасения своей души с образом «пещеры-горницы», последнего пристанища тела Христа – «гроба Господня» [4]. При таком своеобразном понимании образа пещеры, как таковой, выделение алтарной части не являлось обязательным условием формирования структуры храма. Ведь сам храм и

является алтарём, а, как уже упоминалось, ниша в восточной части является престолом. Это и свидетельствует об иных канонах строительства храмового помещения в древние времена. Что касается мелового столба, этому тоже можно найти объяснение религиозного характера. Символика этого элемента, не отвечающего канонам строительства церкви, связана с мироощущением средневекового черноризца: знамения свыше, как правило, являлись в образе огненного столба.

Со временем первоначальная архаическая форма пещерного храма уступает место утвердившимся канонам построения церквей, согласно которым алтарная преграда с иконостасом и вратами являются обязательными элементами планово-композиционного решения молитвенного помещения.

От Иоанно-Предтеченского храма разветвляются лабиринты тротуаров и келий [3]. В западной части храм имеет два входа, один из которых проложен через пристройку для мирян, а второй соединяет другие ходы. Один небольшой тротуар соединяет его с квадратной трапезной, севернее которой шёл проход на верхний третий ярус пещер, где располагалась Успенская церковь. Второй проход ведёт к нижнему ярусу пещер с Алексеевской пещерной церковью традиционного планово-пространственного решения. Алтарная часть Алексеевской церкви была отделена от основного пространства пилястрами, на которые опирается арка, где крепится иконостас.

Комплекс пещерных сооружений XVII века в меловой скале не является единственным памятником подземного типа Святогорского монастыря. Известно, что в XIX веке на склонах Святых Гор, как иногда называют эту местность, можно было заметить остатки одиночных пещерных помещений, вырубленных в меловой гряде. Наиболее известным примером является церковь преподобных затворников Антония и Феодосия, об истории которой известно было мало вплоть до 1846 года. Единственным свидетельством существования пещеры, которая была засыпана землёй, служит одиночный провал. В 1844-1845 годах пещера была очищена, следовательно, обнаружены и следы постройки-церкви. Вследствие дополнительных исследований, которые проводились уже в девяностые годы XX века, историки обнаружили следы кирпичной кладки XVII века, а также первоначальную уже небезызвестную планировочную структуру «безалтарного храма».

С конца 70-х – в начале 80-х годов XVII века заканчивается пещерный период Святогорского монастыря. Строительство крепостей непосредственно рядом с монастырём, а также формирование Изюмского и Харьковских полков способствовало укреплению границ. Сооружаются жилые и хозяйственные постройки под

скалой наряду с деревянной церковью святых апостолов Петра и Павла в 1679 году – первые наземные сооружения монастыря. Петропавловский храм был построен в традициях украинской деревянной народной архитектуры XVI-XVIII веков, стилистические особенности которой известны как украинское барокко. Сооружение представляло собой трёхчастную деревянную церковь срубной конструкции с тремя верхами. Над центральной частью, алтарём и западным приделом виднелись три главы, центральная из которых возвышалась над двумя другими. Петропавловский храм просуществовал недолго в связи с губительными для него пожарами и обвалом мелового утёса.

Другим примером украинского барокко, настоящей жемчужиной монастыря, является Николаевский храм на меловой скале. Отличительная его особенность – удивительное композиционное единство мелового утёса, храма и окружающего его живописного горного ландшафта. В своем композиционно-плановом решении он восходит к трёхкамерным деревянным украинским церквям. Оригинально построение частей храма. Алтарная часть вырублена из меловой породы. К ней пристроена центральная часть из кирпича. Западная часть с колокольной не сохранилась, поскольку была разрушена в годы гражданской войны. Обращают на себя внимание оконные проёмы разных размеров, присутствующие на северном фасаде. Маленькие, прямоугольные – бойничные – более ранние. Проёмы больших размеров были сделаны позже. Это связано с тем, что храм впоследствии не раз восстанавливался и перестраивался. Особый интерес вызывает соединение в одном памятнике зодчества двух материалов – мела и кирпича. Храм действительно будто вырастает из холодной меловой скалы, являясь её величественной вершиной. Исследования показали неразрывную связь алтаря храма, который, как упоминалось, был вырублен из меловой скалы, с пещерным комплексом утёса. Это означает, что на этом месте до конца XVII века находился ещё один пещерный храм, Успенский, который был удалён от внешних меловых стен утёса и находился в глубине, за меловой стеной.

Сохранившийся рисунок меловой скалы с пещерами, датированный 1679 годом, также указывает на Успенскую церковь, которая находилась на месте построенного позже Николаевского храма [3]. После обрушения меловой стены и разрушения верхних частей утёса с пещерами третьего-пятого ярусов на месте Успенского пещерного храма не было ничего. Единственным указанием на существование некогда здесь церкви были сохранившиеся ниши восточной стены. Восстановление осуществлялось уже в формах наземных храмов из дерева и кирпича.

Новый Успенский собор заложили в 1859 году на месте старого. Строили его 9 лет по проекту петербургского академика архитектуры, ученика Жилярди А.М. Горностаева. Использование византийских форм и традиций в русском зодчестве характерно и для Успенского собора в Святогорском монастыре. Он представляет собой каменное монументальное здание кубовидной формы, увенчанное пятью восьмигранными главами с высокими шатрами и декоративными луковицами. Известны размеры собора: по протяжённости с запада на восток длина 42 метра, высота с крестами достигала 53 метров. Несмотря на всю свою массивность, собор кажется чрезвычайно легким.

Подкупольная часть расписана фресковой живописью, в центре находилось неповторимое произведение искусства – иконостас и икона Николая Чудотворца. Византийская иконография создала аскетический облик этого святого, негиблого ревнителя веры, отрешенного от мирской суеты. Трепет и благоговение вызывал у верующих тонкий изможденный лик иерарха. Он считается покровителем обездоленных, на его поддержку может рассчитывать каждый страждущий. Интересно, что собор возводился под руководством простого владимирского крестьянина, не имевшего технического образования, Ерёмина Я.С.

ВЫВОД

Формирование развитой структуры помещений в массиве меловых гор продиктовано природными особенностями местности, а также историческими условиями, в которых развивался наш край. Первые сооружения, принадлежащие самому первому периоду жизни обители, – как жилые помещения, так и церкви Славяногорского монастыря, были пещерными. К ним относятся: пещерная часовня, две усыпальницы, находящиеся на разных ярусах, пещерный храм, освященный в XIX веке в честь Рождества Иоанна Предтечи (в древности здесь, на меловом столпе, был обретен иноками чудотворный образ святителя Николая), храм святителя Николая на скале, подземная церковь преподобных Антония и Феодосия Киево-Печерских, кельи внутри скалы. Композиционно-планировочная структура пещер свидетельствует о существовании здесь некогда обители общежительного типа с количеством монашествующих до 20 человек. В ходе тщательных исследований археологами и историками были выявлены отличительные особенности планово-пространственной организации первых православных храмов удивительного Славяногорского монастыря. Безусловно, среди них следует отметить наличие в Святогорском храме мелового столба, что обусловлено определёнными особенностями взгляда на храм как на нечто связующее между Небом и людьми, а также его принадлежность к так называемым «безалтарным храмам».

До конца XVII века монастырь не имел ни одного наземного сооружения. Только в это время были заложены первые наземные храмы у подошвы скалы: в 1679 году был построен храм в честь апостолов Петра и Павла, а в 1708 году – новый каменный Успенский собор. Прослеживается стиль украинского барокко. В XIX веке Святые Горы стали центром богомолья не только для юга России, Дона и Кавказа, но и для севера, откуда также приходило множество паломников, которые заходили в обитель по пути из Воронежа в Киев.

Список источников

1. Бойко И.А. Славяногорск: Путеводитель. – Донецк: Донбасс, 1981. – 200 с.
2. Дедов В.Н. Святогорский историко-архитектурный заповедник: Путеводитель. – Донецк: Донбасс, Ваш имидж., 2007. – С. 46.
3. Дедов В.Н. Святые горы. От забвения к возрождению. – К.: «Полиграфкнига». – 1995. – С.48.
4. Иванова Н.И., Шабельник Н.М. Славяногорский историко-архитектурный заповедник: Путеводитель. – Донецк: Донбасс. – 1983.
5. История монастыря. Святогорск [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://svyatogorsk.com/h_lavra.
6. Немирович-Данченко В.И. Святые горы. Очерки и впечатления. – Славянск: Печатный двор. – 2002. – С. 59.
7. Свято-Успенская Святогорская Лавра [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zabytki.in.ua/ru/253/svyato-uspenskaya-svyatogorskaya-lavra>.
8. Спасенко К.Ф., Сквозь даль годов: Очерки литературной биографии Донбасса. – Донецк: Донбасс. – 1969. – С. 167.
9. Ліпуга Р.М. Историко-етнографічні аспекти регіону, як передумові розвитку храмової архітектури в Донецькій області // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, ХОТВАБУ, 2011. – № 63. – 9 с.
10. Чернышова Э.П. Феноменология архитектурной формы: влияние архитектурно-пространственных форм на психику человека // Сборник научных трудов SWorld «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития». – Выпуск 3. – Т. 49. – Одесса: КУПРИЕНКО, 2013. – С. 59-62.
11. Чернышова Э.П. Аллегоризм и символика православного храма // Сборник статей Международной научно-практической конференции «Фундаментальные проблемы науки». – Уфа: Аэтерна, 2015. – С. 168-170.

УДК 624.075.23

А.Л. КРИШАН, профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой проектирования зданий и строительных конструкций, Институт строительства, архитектуры и искусства, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

Р.Р. САБИРОВ, старший лаборант кафедры проектирования зданий и строительных конструкций, Институт строительства, архитектуры и искусства, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

Е.А. ТРОШКИНА, кандидат технических наук, доцент кафедры строительного производства, Институт строительства, архитектуры и искусства, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

УПРОЩЕННЫЙ РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ ЦЕНТРАЛЬНО СЖАТЫХ ТРУБОБЕТОННЫХ КОЛОНН С ПРОДОЛЬНОМ АРМИРОВАНИЕМ БЕТОННОГО ЯДРА

Аннотация: В статье предлагается упрощенная методика определения прочности коротких центрально сжатых трубобетонных колонн, имеющих продольное армирование бетонного ядра. Приведен краткий анализ известных методик расчета. Использование в упрощенных инженерных расчетах теоретически полученных авторами формул позволяет получить лучшую сходимость с экспериментальными данными по сравнению с рассмотренными ранее. Предложенная методика расчета является универсальной и может быть использована для трубобетонных колонн с различной формой поперечного сечения, изготовленных из тяжелого или мелкозернистого бетона.

Ключевые слова: трубобетонная колонна, центральное сжатие, продольное армирование, методика расчета, прочность, деформативность, предельные усилия.

A.L. KRISHAN, Full Professor, doctor of Technical Sciences, head of the department of Building Design and Constructions, Institute of Civil Engineering, Architecture and Art, Nosov Magnitogorsk State Technical University

R.R. SABIROV, Senior Assistant of the department of Building Design and Constructions, Institute of Civil Engineering, Architecture and Art, Nosov Magnitogorsk State Technical University

E.A. TROSHKINA, candidate of Technical Sciences, Associate Professor of department of Building Production, Institute of Civil Engineering, Architecture and Art, Nosov Magnitogorsk State Technical University

SIMPLIFIED CALCULATION OF THE STRENGTH OF CENTRALLY COMPRESSED CONCRETE FILLED STEEL TUBE COLUMNS WITH LONGITUDINAL REINFORCEMENT OF CONCRETE CORE

Abstract: The article proposes a simplified method of determining the strength of a short centrally compressed concrete filled steel tube columns with longitudinal reinforcement of concrete core. Are given a brief analysis of the known calculation methods. The use in simplified engineering calculations the formulas theoretically obtained by the authors allows to obtain the best convergence with

experimental data in comparison with previously considered. The proposed calculation method is universal and can be used for concrete filled steel tube columns with different cross-sectional shape that made of a heavy or fine-aggregate concrete.

Key words: concrete filled steel tube column, central compression, longitudinal reinforcement, calculation method, strength, deformability, breaking stress.

Благодаря многочисленным преимуществам конструктивного, технологического и экономического характера трубобетонные колонны (ТБК) получают широкое распространение в строительной отрасли [1, 2, 3]. При этом конструкция ТБК постоянно совершенствуется. Например, в ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова» выполняются исследования таких колонн, изготовленных с предварительным обжатием бетонного ядра и использованием высокопрочной продольной арматуры [4].

Расчет несущей способности трубобетонных колонн (ТБК) имеет ряд специфических особенностей. В основном они связаны со сложным напряженным состоянием бетонного ядра и стальной оболочки [5, 6]. В работе [3] показано, что наиболее точные расчеты таких конструкций можно выполнять на основе нелинейных деформационных моделей. Однако такие расчеты отличаются повышенной сложностью и требуют разработки специальных компьютерных программ.

Для осуществления инженерных расчетов на стадии технико-экономического обоснования проектируемых объектов желательно использовать относительно простые методики, при этом позволяющие получать достаточно надежные результаты. Известные методики расчета прочности [7, 8, 9, 10, 11] ТБК основаны на методе предельных усилий. Все они имеют существенный недостаток – используют эмпирические формулы для определения прочности и деформативности бетонного ядра. Рассчитать прочность предварительно обжатой ТБК усовершенствованной конструкции по этим методикам практически невозможно. В данной работе предлагается упрощенный (инженерный) расчет прочности коротких центрально сжатых ТБК на основании основных зависимостей, полученных теоретическим путем. Это делает предлагаемую методику расчета прочности более универсальной и заметно повышает точность расчетов.

Для расчета центрально сжатых ТБК по методу предельных усилий условие прочности может быть записано в виде

$$N \leq \varphi(\gamma_c \alpha_b R_b A + \beta_p R_{s,p} A_p + \sigma_{sc} A_{s,tot}), \quad (1)$$

где R_b, A – расчетное сопротивление бетона сжатию и площадь его поперечного сечения;

$R_{s,p}, A_p$ – расчетное сопротивление стальной трубы растяжению и площадь ее поперечного сечения;

$\sigma_{sc}, A_{s,tot}$ – сжимающее напряжение и суммарная площадь поперечного сечения продольной арматуры;

γ_c – масштабный коэффициент;

α_b – коэффициент, учитывающий упрочнение бетонного ядра за счет возникающего бокового давления σ_b ;

β_p – коэффициент, учитывающий работу стальной трубы-оболочки в условиях сложного напряженного состояния;

φ – коэффициент продольного изгиба (для коротких колонн $\varphi = 1$).

В работе [4] теоретическим путем выведены формулы для определения прочности объемно сжатого бетона и напряжения осевого направления в стальной оболочке в предельном состоянии. Используя результаты этой работы, получим выражения для вычисления коэффициентов α_b и β_p . В частности, коэффициент упрочнения бетонного ядра можно вычислить по формуле

$$\alpha_b = 1 + 0,5(\bar{\sigma} - 1) + \sqrt{\left(\frac{\bar{\sigma} - 2}{4}\right)^2 + \frac{\bar{\sigma}}{b}}, \quad (2)$$

где $\bar{\sigma}$ – относительная величина бокового давления со стороны стальной оболочки на бетонное ядро в предельном состоянии $\bar{\sigma} = \sigma_b / R_b$.

Величина относительного бокового давления $\bar{\sigma}$ для сжатых коротких трубобетонных элементов круглого поперечного сечения, находящихся в стадии предельного равновесия, вычисляется по формуле

$$\bar{\sigma} = 0,48e^{-(a+b)} \rho^{0.8}, \quad (3)$$

где ρ – конструктивный коэффициент трубобетона, вычисляемый по формуле

$$\rho = \frac{R_{s,p} A_p}{R_b A}; \quad (4)$$

a, b – коэффициенты материала, влияющие на степень увеличения прочности всесторонне сжатого бетона и устанавливаемые на основании опытов (для тяжелого бетона $b=0,118$, для мелкозернистого $b=0,16, a=0,5b$).

Использование формул (2)-(4) позволяет учитывать влияние на искомые параметры не только уровня бокового давления, но и структурных особенностей самого бетона, что важно для получения более достоверных решений при использовании бетонов различных видов.

При длительном действии нагрузки величина расчетного сопротивления бетона в формулах (1) и (4) умножается на коэффициент γ_{bI} , значение которого рекомендуется принимать:

$$\text{- при } N_l < 0,9N \quad \gamma_{bI}=0,9;$$

$$\text{- при } N_l \geq 0,9N \quad \gamma_{bI}=0,85,$$

где N – расчетное сжимающее усилие от действия всех нагрузок;

N_l – расчетное усилие от действия постоянных и длительных нагрузок.

При расчетах прочности ТБК квадратного, прямоугольного или кольцевого поперечного сечения формула (2) немного корректируется за счет введения соответствующих коэффициентов [12].

Опыт практического применения ТБК показывает, что их поперечное сечение может иметь достаточно большие размеры (1,0...1,5 м и более). В этой связи при определении прочности бетона не следует игнорировать масштабный фактор. По крайней мере, не может быть сомнений, что большой массив бетона, к тому же изолированный стальной оболочкой от контакта с окружающей средой, к возрасту 28 суток наберет меньшую (среднюю по поперечному сечению) прочность по сравнению с контрольными эталонными кубами или призмами из этого бетона.

Величина коэффициента γ_c , учитывающего масштабный фактор, вычисляется в зависимости от диаметра бетонного ядра d_b согласно рекомендациям работы [4].

При определении коэффициента β_p в формуле (1) учитывается условие, что боковое давление оказывает существенное влияние не только на прочность бетонного ядра ТБК, но и на величину напряжения осевого направления в стальной оболочке σ_{pz} . С использованием условия текучести Генки-Мизеса для плоского напряженного состояния можно записать следующую формулу

$$\sigma_{pz} = R_b \left(\sqrt{\rho^2 - 3\bar{\sigma}^2} - \bar{\sigma} \right) \frac{A}{A_p}. \quad (5)$$

На основании формулы (5) получена зависимость для вычисления коэффициента β_p

$$\beta_p = \frac{\sqrt{\rho^2 - 3\bar{\sigma}^2} - \bar{\sigma}}{\rho}. \quad (6)$$

Третье слагаемое формулы (1) учитывает вклад в несущую способность конструкции сжимающего усилия продольной арматуры бетонного ядра. Сжимающее напряжение σ_{sc} в продольной арматуре определяется из условия совместного деформирования этой арматуры с бетонным ядром. Относительная деформация укорочения ε_{b00} в вершине диаграммы деформирования объемно сжатого бетона определяется по теоретически полученной формуле

$$\varepsilon_{b00} = \varepsilon_{b0} \alpha_b^2 \left[1 - \nu_{bu} \left(1 - \frac{1}{\alpha_b} \right) \right], \quad (7)$$

в которой ε_{b0} и ν_{bu} – величина относительной деформации и коэффициент упругости в вершине диаграммы деформирования одноосно сжатого бетона.

При классе бетона по прочности на осевое сжатие B относительную деформацию бетона ε_{b0} , ‰ при осевом сжатии рекомендуется находить по формуле

$$\varepsilon_{b0} = 1,2 + 0,16\sqrt{B}. \quad (8)$$

Коэффициент упругости ν_{bu} вычисляется по формуле

$$\nu_{bu} = \frac{R_b}{\varepsilon_{b0} E_b}, \quad (9)$$

в которой E_b – начальный модуль упругости бетона.

При использовании арматуры с физическим пределом текучести сжимающее напряжение в ней находится по формуле

$$\sigma_{sc} = \varepsilon_{b00} E_s \leq R_s, \quad (10)$$

где E_s – модуль упругости стали продольной арматуры;

R_s – расчетное сопротивление продольной арматуры растяжению.

В связи с повышенной деформативностью бетонного ядра ТБК здесь имеется возможность эффективного использования высокопрочной арматуры. При усилении бетонного ядра продольной высокопрочной арматурой с условным пределом текучести сжимающее напряжение в ней находится согласно рекомендациям СП 63.13330.2012:

- при деформациях $\varepsilon_{b00} \leq \varepsilon_{s1}$ – по формуле (11);

- при деформациях $\varepsilon_{s1} < \varepsilon_{b00} \leq 0,015$

$$\sigma_{sc} = \left(0,9 + 0,1 \frac{\varepsilon_{sc} - \varepsilon_{s1}}{\varepsilon_{s0} - \varepsilon_{s1}} \right) \cdot R_s \leq R_s, \quad (11)$$

где значения относительных деформаций

$$\varepsilon_{sc} = \varepsilon_{b00}, \quad \varepsilon_{s1} = 0,9R_s/E_s, \quad \varepsilon_{s0} = R_s/E_s + 0,002.$$

Расчет предварительно обжатых ТБК также производится по приведенным выше формулам с заменой R_b на сопротивление осевому сжатию бетона, твердеющего под давлением – R_{bp} . Для нахождения R_{bp} рекомендуется использовать формулу

$$R_{bp} = R_b + 0,3\alpha\sqrt{\Delta f\sigma_{bro}}, \quad (12)$$

в которой α и Δf – коэффициенты, определяемые согласно рекомендациям [12];

σ_{bro} – расчетная величина предварительного обжатия.

Относительная величина бокового давления стальной оболочки на бетон в предельном состоянии с учетом предварительного обжатия находится по формуле

$$\bar{\sigma} = 0,48e^{-(a+b)}\rho^{0,8} + \frac{\sigma_{bro}}{R_{bp}}. \quad (13)$$

Для оценки эффективности предложенной методики выполнялось сопоставление опытных и расчетных разрушающих нагрузок коротких центрально сжатых ТБК. Причем рассматривались колонны как с предварительным обжатием бетонного ядра, так и изготовленные по традиционной технологии. Часть опытных образцов ТБК имела продольное армирование бетона, в том числе высокопрочными стержнями. Всего было сопоставлено 111 результатов ранее исследованных образцов колонн. В результате этого сопоставления определен коэффициент вариации вектора ошибок, который составил порядка 11 %. Для инженерной методики такая точность расчета может быть признана хорошей.

Таким образом, предложена универсальная методика инженерного расчета прочности коротких центрально сжатых ТБК. Методика дает возможность получать более достоверные расчетные данные без использования эмпирических формул.

Список источников

1. L-H. Han L-H., Li W., BJORHOVDE R. Developments and advanced applications of concrete filled steel tubular (CFST) structures // *Journal of Constructional Steel Research.* – № 100. – 2014. – pp. 211-228.
2. Jayasooriya R., Thambiratnam D.P., Perera N.J. Blast response and safety evaluation of a composite column for use as key element in structural systems // *Engineering Structures.* – Vol. 61, № 1. – 2014. – pp. 31-43.
3. Кришан А.Л. Трубобетонные колонны для многоэтажных зданий // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений.* – 2009. – № 4. – С. 75-80.
4. Кришан А.Л. Универсальная формула для определения прочности бетонного ядра трубобетонные колонн // *Архитектура. Строительство. Образование.* – 2015. – № 1 (5). – С.40-45.
5. Bruneau M., El-Bahey S., Fujikura S., Keller D. Structural Fuses and Concrete-Filled Steel Shapes for Seismic and Multi-Hazard Resistant Design // *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering.* – Vol. 44 (1). – 2011. – pp. 44-52.
6. Choi E., Park S.-H., Cho B.-S., Hui D. Lateral reinforcement of welded SMA rings for reinforced concrete columns // *Journal of Alloys and Compounds.* – 577S. – 2013. – pp. 756-759.
7. Bergmann R., Matsui C., Meinsma, Dutta D. Design guide for concrete filled hollow section columns under static and seismic loading. Verlag TUV Rheinland, Germany. – 1995. – 68 p.
8. Georgios G., Lam D. Axial capacity of circular concrete-filled tube columns // *Journal of Constructional Steel Research.* – № 60. – 2004. – pp. 1049-1068.
9. Fattah A.M. Behavior of concrete columns under various confinement effects // *A Dissertation ... doctor of philosophy. College of Engineering. Kansas State University. Manhattan. Kansas.* – 2012. – 399 p.
10. Lea S.H., Uya B., Kimb S., Choib Y., Choi S. Behavior of high-strength circular concrete-filled steel tubular (CFST) column under eccentric loading // *Journal of Constructional Steel Research.* – № 67. – 2011. – pp. 1-13.
11. Nishiyama I., Morino S., Sakino K., Nakahara H. Summary of Research on Concrete-Filled Structural Steel Tube Column System Carried Out Under The US-JAPAN Cooperative Research Program on Composite and Hybrid Structures. – Japan. 2002. – 176 p.
12. Krishan A.L., Krishan M.A., 2014. Strength of axially loaded concrete-filled steel tubular columns with circular cross-section // *Advances of Environmental Biology.* – Vol. 8, № 6. – May 2014. – pp. 1991-1994, http://www.aensiweb.com/aeb_online.html.

УДК 711:622

Д.А. ДЖЕРЕЛЕЙ, ассистент кафедры архитектурного проектирования и дизайна архитектурной среды ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка, Украина

ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ И ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ РЕНОВАЦИИ ИСТОЩЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Аннотация: Статья посвящена изучению различных подходов к реновации истощенных угольных предприятий, рассмотрению на примерах отечественной и мировой практики методов решения проблемы реновации и развития депрессивных промышленных регионов.

Ключевые слова: реновация промышленных территорий, закрытие угледобывающих предприятий, преобразование пространств, территориальное планирование, депрессивные регионы.

D.A. DJERELEY, Assistant of the department of Architectural Engineering and Design of Architectural Environment, Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture, Makeyevka, Ukraine

LOCAL AND FOREIGN EXPERIENCE OF DEPLETED COAL ENTERPRISES RENOVATION

Abstract: Article studies the different approaches of the depleted coal enterprises renovation, consider the examples of local and world practice methods for solving problems of renovation and development of depressed industrial regions.

Key words: renovation of industrial areas, the closure of coal mines, converting spaces, territorial planning, depressed regions.

Проблема дальнейшего использования промышленных комплексов, исчерпавших свой ресурс, является актуальной для всех угледобывающих регионов мира.

Наглядным показателем уменьшения количества угледобывающих предприятий является статистика численности работающих под землей: только в странах ЕС она сократилась за последние 10 лет с 1,8 млн. человек до 100 тыс.

Из-за неконкурентоспособности европейского угля были закрыты шахты Бельгии, Португалии, Франции. В Германии горнодобывающая промышленность становится все более убыточной, например, в бывшей ГДР, проводится реструктуризация, в результате которой добыча угля должна составить 70 млн. тонн в год против 300 млн. тонн в год. В Испании угольная промышленность снизила объемы своего производства до 18 млн тонн и может сократиться до 12 млн. тонн.

Угольная промышленность Восточной Европы также переживает значительный спад, с начала 1990-х годов добыча угля в регионе снизилась на четверть. В Румынии, например, отрасль полностью датируется государством.

Истощение месторождений и высокая себестоимость добычи привели к тому, что закрываются шахты восточных месторождений США, уголь которых вытесняется более дешевым углем с Запада. В результате реструктуризации планируется закрыть большое число мелких шахт Китая. По мере истощения месторождений в старых районах угледобычи происходят сдвиги в размещении отрасли в новые районы Австралии, где на новые месторождения уже перемещено порядка 30 шахт.

Доля стран бывшего СССР в общемировом производстве угля снизилась с 9,5% в 2000 г. до 7,3% в 2010 г. и продолжает снижаться. Только в России число убыточных шахт выросло за один год с 33 до 37. Всего 13 компаний из 50 имеют прибыль [1, 2, 3, 4].

Из всех госпредприятий Украины, добывающих коксующийся уголь, убыточными являются около 80%, производимых энергетический уголь – свыше 90%. Если в Донецкой области в 1971 г. было добыто 107,1 млн. тонн, то в 1990 г. — лишь 80,5 млн. тонн угля, в Луганской области угледобыча снизилась с 74 до 51,6 млн. тонн [5, 6].

Создавшаяся ситуация, связанная с массовым закрытием шахт в угледобывающих регионах, особенно в моногородах, породила проблему «депрессивных территорий» и привела к необходимости диверсификации исчерпавших свой ресурс угольных предприятий [7, 8].

В исследованиях, посвященных этому вопросу, особо подчеркивается, что этот процесс влечет за собой множество сложных и трудноразрешимых проблем [9, 10].

Прежде всего, отмечается, что это требует больших бюджетных расходов. Например, в среднем, на ликвидацию одной средней шахты на Донбассе уходит 143,091 млн. гривен [11].

Африканский департамент по вопросам водных ресурсов и лесов в течение последнего десятилетия потратил более 120 млн. долларов только на очистку загрязнений, вызванных брошенными или ликвидированными шахтами.

Общий объем расходов на ликвидацию исчерпавших ресурс угольных предприятий Австралии, как ожидается, составит около 80 млн. долларов в год и 1000 млн. долларов в течение 15 лет. Аналогичные расходы ожидаются в Канаде и Соединенных Штатах Америки. Согласно расчетам, И. Луниной и К. Фон Хиршхаузена и др., в Польше средние расходы по закрытию одной шахты составляют около 50 млн. долл.

В число расходов, затрачиваемых на ликвидацию исчерпавшей ресурс угольной шахты, входят расходы на демонтаж оборудования, разборку линий электропередач и связи, на мероприятия по сносу зданий на поверхности, герметизации шахтных стволов, ликвидации шурфов, стволов и водоотливов. Расходов требуют природоохранные мероприятия, предполагающие техническое решение проблем водоотлива, меры по предотвращению взрывов и газовых выбросов. Наибольший удельный вес в издержках, связанных с закрытием шахт, составляют расходы на социально-экономическую защиту увольняемых работников [10].

Поскольку в самых различных регионах мира создалась напряженная обстановка, связанная с проблемами закрытия исчерпавших свой ресурс нерентабельных угольных предприятий, становится ясным, что для решения этого вопроса требуются новые знания, принципы, стандарты. Одним из наиболее перспективных направлений является разработка способов и направлений реновации производства, диверсификации его деятельности с переходом на новый, высокотехнологический уровень.

Как показывает передовой опыт ряда стран, подлежащие ликвидации угольные предприятия имеют ценные инфраструктурные компоненты, которые могут использоваться в дальнейшем при их реновации, но вместо этого, нередко просто уничтожаются для переработки на вторсырье. Перспективна и комплексная реконструкция промышленных и близлежащих к ним территорий для создания многофункциональной развитой городской среды [12, 13, 14].

Все вышесказанное привело к значительному повышению интереса к опыту реновации промышленных предприятий, в том числе и предприятий угольной промышленности. Анализ этого опыта показывает, что он весьма разнообразен и существенно отличается в странах передовой экономики и депрессивных регионах.

Так, восстановление, музеефикация и перепрофилирование угольных объектов как фактора возрождения среды стало частью урбанистического направления промышленной революции Великобритании, когда только в 1990-х годах были законсервированы около 40% шахт в Манчестере, Бирмингеме, Западном Йоркшире. Результатом реновации угольных предприятий Великобритании стало создание более тридцати научных технопарков, многие из которых теперь охраняются ЮНЕСКО. Произведено функциональное перепрофилирование территорий заводов и шахт в объекты культурно-бытового обслуживания: гольф-клубы, спортивные объекты, рекреационные территории, торговые центры, музеи, выставочные центры, галереи искусств, памятники индустриального наследия, которые сейчас привлекают туристов со всего мира. Эти

мероприятия помогли стране решить не только проблему безработицы, но и ряд экологических проблем. Новые университеты и научные центры стали одним из путей решения проблемы изменения курса развития бывших когда-то депрессивными угольных регионов [15, 16, 17].

В Германии выполняется огромная работа по санированию и перепрофилированию крупных углепромышленных предприятий. Там созданы четыре национальных парка, десятки «зеленых зон» отдыха, многие города заново озеленены. В этом регионе появился ряд предприятий машиностроения, легкой промышленности, торговли, культуры и быта. Одним из главных направлений развития этого региона стало создание новых высших учебных заведений, в которых постепенно формируется новая техническая и гуманитарная элита страны, повышается уровень образования и происходит переквалификация старой рабочей силы. На территории шахт Бохума, созданы большой ботанический сад, музей искусств, университетская библиотека. Путем частичной реконструкции застройки и перепланировки помещений были созданы музейные и выставочные комплексы с сетью объектов общественного назначения. В регионе создано более 60 технологических (научно-технических) центров, вокруг которых появилось около 35 тыс. новых рабочих мест [18, 19].

Разнообразные приемы по реновации территории угледобывающих объектов показывает опыт Китая. На базе закрытых угольных предприятий там создаются культурные парки, большая площадь отведена под сельскохозяйственные угодья, создано много рыбных прудов, создаются железнодорожные станции, большие базы для отдыха и образования. Объекты, расположенные на территории бывших шахт, используются для создания нового центра города, новых жилых площадей с созданием хороших условий для жизни и общения [20].

Угледобывающие регионы Австралии располагают обширным опытом организации зеленых площадок, культурных ландшафтов, национальных парков (Австралийские Альпы) на базе закрывающихся угольных предприятий. Согласно национальному стандарту Австралии «Стратегические рамки для закрытия шахт – ANZMEC» 1999 года, если подлежащая реновации структура или здание не требует дорогостоящего технического обслуживания, они должны быть адаптированы для повторного использования [21].

В России перенос зарубежного опыта реновации в этой области столкнулся с значительными ограничениями, связанными с экономической ситуацией. Тем не менее, в ее научной среде идет разработка научного обоснования создания новых

высокоэффективных и рентабельных промышленных предприятий на основе применения наукоемких технологий и вновь создаваемого инновационного потенциала. Так, в рамках проекта создания Кузбасского технопарка планируется построить здания общей площадью 80,8 тыс. кв. метров и инфраструктуру на 826 млн. рублей – офис дирекции технопарка, общественный центр с офисами резидентов и объектами обслуживания, деловой и экспозиционный центры с конференц-залом, многоуровневую парковку на 500 автомобилей, экспериментально-образовательные и лабораторные корпуса.

Уже имеются примеры новых подробно разработанных технологий, например, использования шахт для утилизации твердых бытовых отходов города [22, 23].

В Украине и в Молдове накоплен опыт создания предприятий по сбору метана, массового промышленного выращивания грибов в старых подземных выработках шахты, в них началось размещение объектов общественного назначения [24]. Макеевским Научно-исследовательским Институтом (МакНИИ) ведется разработка проекта по комплексной переработке породных отвалов с получением сплавов алюминия, редкоземельных металлов, концентрата железа, германия, угля и строительных материалов. Донецкий ботанический сад Академии наук Украины обладает опытом озеленения территорий угольных предприятий. Институт экономики промышленности национальной академии наук Украины в докладной записке «Анализ состояния и прогноз развития промышленности и занятости населения г. Донецка» (2008 г.) рекомендует на закрываемых шахтах размещать пневмо-аккумулирующие газотурбинные электростанции, предприятия по утилизации шахтного метана и отходов угледобычи и углеобогащения, водоугольного топлива и др.

План реконструкции и новые направления развития угледобывающего старопромышленного региона отражены в государственных программах Польши. В этой стране была разработана стратегия развития угольного региона до 2020 года [25].

Начав ее реализацию, промышленные города и их население получили уникальные историко-культурные заповедники. Город Катовице постепенно стал центром банковских операций страны. Развивались предприятия малого и среднего бизнеса, сектор услуг. Открываются новые отрасли производства: радио, телевизионного и телекоммуникационного, медицинского и оптического оборудования, сборка компьютеров и вычислительной техники. Одной из особенностей города является новое направление в виде развития туристического бизнеса. На территории закрытой шахты "Katowice-Kleofas" построен "Силезия сити-центр". В перспективе на бывших

промышленных территориях планируется создание технопарка, нескольких торговых центров, строительство стадиона [3].

Приведенные выше примеры способов реновации закрывающихся угольных предприятий мира показывают, что при правильном планировании подвергшиеся реновации промзоны закрывающихся угольных предприятий могут стать катализаторами развития современного города в соответствии с его запросами и стратегическими целями.

В последние годы, в трудах Лукьяновой О.В., Дрожжина Р.А. и других исследователей уже начинают рассматриваться проблемы диверсификации горных предприятий в условиях нестабильной экономики. Они показывают, что в условиях экономической нестабильности для предприятий угольной отрасли, когда практически невозможно привлечение внешних инвестиций, успешная реновация может быть осуществлена за счет внутренних резервов [26].

В этом направлении уже проводятся не только региональные научные исследования, но и разработаны международные проекты, например, «Будущее старопромышленных городов и регионов Центральной и Восточной Европы» («FOCUS»), который внедрялся в рамках научной программы INTERREG II С, Европейская Программа ООН «Реструктуризация промышленности в европейских странах с переходной экономикой» и др.

Идея не разрушения, а нового использования существующих промышленных объектов для последующего нового строительства, получила развитие в последние 30-40 лет. Ее развитию посвящены труды Ю.П. Бочарова, Е.Д. Белоусова, И.А. Фомина, М.М. Кушниренко, В.А. Красильникова, Ю.В. Лубенченко, И.П. Иевлевой и др. Реновация производственных мощностей угольных шахт и их адаптация к городской среде рассматриваются в работах А. Мамлеева, Г. Черкасова, Г. Агранович, М.М. Канунникова, других ученых и проектных групп.

Главными выводами этих исследований можно назвать то, что использование многих закрывающихся угольных предприятий в новой функции открывает перспективы в значительно более короткие сроки и с более низкой стоимостью проводить реконструкцию, чем новое строительство. Бывшие угольные предприятия необходимо рассматривать как ценные и перспективные объекты, диверсификация и реновация которых – один из наиболее коротких и эффективных путей рационального использования внутренних резервов.

На сегодняшний день уже можно констатировать тенденцию к уменьшению объемов нового строительства на освободившихся территориях и более рациональному

использованию готовых ресурсов, остающихся на базе закрывающихся шахтных предприятий. Просматривается увеличение акцента на перепрофилирование предприятий в сторону безотходных производств, создания научно-производственных комплексов в целях коренного улучшения в них условий труда, учебы, быта, обслуживания и отдыха населения [12].

В то же время, анализ показывает, что различные компоненты, входящие в инфраструктуру истощенных угледобывающих предприятий, являются еще недостаточно оцененными резервами. Для успешного решения способов реновации предприятий, особенно в депрессивных горнопромышленных районах, нужны новые подходы. В их основу должен быть положен тот факт, что оставленная после закрытия шахты ее развитая инфраструктура достаточно перспективна в плане дальнейшего использования в иных направлениях деятельности и обладает ценным внутренним потенциалом.

Список источников

1. Плакиткина, Л.С. Мировые тенденции развития каменного угля и энергоёмкость его использования [Текст] / Л.С. Плакиткина // «МАЙНИНГ + ГЕО / Глюкауф». – 2012. – № 2. – С. 48-54.
2. Плакиткина, Л.С. Современное состояние и тенденции развития угольной промышленности в странах бывшего СССР [Текст] / Л.С. Плакиткина // Горная Промышленность. – 2012. – № 5. – С. 4.
3. Paszcza, H. Procesy restrukturyzacyjne w polskim górnictwie węgla kamiennego w aspekcie zrealizowanych przemian i zmiany bazy zasobowej / Henryk Paszcza // Górnictwo i Geoinżynieria. – Rok 34. Zeszyt 3. – 2010. – pp. 63-81.
4. Горкина, Т.И. Угольная промышленность мира. Региональные аспекты развития [Текст] / Т.И. Горкина // География. – 2009. – №18. – С. 7-10.
5. Анализ состояния и прогноз развития промышленности и занятости населения г. Донецка [докладная записка] / Институт экономики промышленности Национальной академии наук Украины. – Донецк, 2008. – С. 155.
6. Пек, Ф. Оценка рисков в Донецком бассейне [Текст] / Ф. Пек // ENVSEC ЮНЕП ГРИД Арендал. – 2008. – С. 171.
7. Ильин, И.А. Экономика городов: региональный аспект развития [Текст] / И.А. Ильин. – М.: Наука, 1982. – 207 с.
8. О структурной перестройке угольной промышленности [Текст]: Указ президента Украины от 7 февраля 1996 г. №116 // Урядовый курьер. – 1996, 19 февр. – № 27-28.

9. Принципы деятельности в горнодобывающей отрасли [Электронный ресурс]: Документ Европейского банка реконструкции и развития. Утвержден Советом директоров на заседании 17 октября 2012 г. / Режим доступа: <http://www.ebrd.com/downloads/policies/sector/min>.

10. Jarosz, J. Prawne i ekonomiczne aspekty procesu likwidacji kopalńwęgla kamiennego w Polsce / Jarosz Jacek. – Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energi Polskiej Akademii Nauk, 75. – 2009. – pp. 59-69.

11. Зеленев, Ю.В. Экономико-правовые, экологические и социальные проблемы закрытия шахт [Текст] / Ю.В. Зеленев, Ю.И. Бията, В.Н. Артамонов // Збірка доповідей IV регіональної конференції «Комплексне використання природних ресурсів» (12 грудня 2011 р.). – Донецьк: ДонНТУ, – 2011. – с. 94-99.

12. Егорушкина, Т.Н. Обоснование направлений диверсификации предприятий угольной промышленности [Текст]: автореф. дис. канд. экон. наук: 08.00.05 / Т.Н. Егорушкина. – Тула, 2002. – 24 с.

13. Метляева, О.П. Рациональное использование территорий промышленных узлов [Текст] / О.П. Метляева. – М.: Стройиздат, 1980. – 108 с.

14. Старкова, Н.В. Эффективные методы комплексного подхода к реновации промышленных территорий [Текст] / Н.В. Старкова, И.Ю. Грин // Новые идеи нового века. Современные тенденции и проблемы развития и реконструкции в архитектуре и градостроительстве. – 2015. – Том 2. – С. 231-233.

15. Hartree, R. The bulletin of the association for industrial archaeology / Richard Hartree. – № 146. – 2008. – pp.1-9.

16. Шаповалов, А.К. Предпринимательские зоны – неоконсервативный инструмент региональной политики Великобритании [Текст] / А.К. Шаповалов // Изв. ВГО. – 1986. – № 3. – С. 228-235.

17. Butt, J. Industrial Archaeology in the British Isles / J. Butt, I. Donnachie. – London: Paul Elek Ltd., 1979. – 307 p.

18. Клюттер, Х. Структурные изменения в угольной промышленности Рурского региона [Текст] / Х. Клюттер // Регион: экономика и социология. – 1997. – № 2. – С. 147-159.

19. Ниссер, М. Мировое индустриальное наследие: опыт изучения и организации работы, достижения последних лет [Текст] / М. Ниссер // Сохранение индустриального наследия: мировой опыт и российские проблемы. – Екатеринбург, 1994. – С. 42.

20. Chang Jiang. Redevelopment of Industrial Wasteland Based on Renewal of Mining Cities / Chang Jiang, Feng Shanshan, Tang Jianjun // 42nd ISoCaRP Congress 2006.

21. Australia New Zealand Minerals and Energy Council Submission to the House of Representatives Inquiry into increasing value adding to Australian Raw Materials. – December 1999. – pp. 1-19.

22. Абрамкин, Н.И. Обоснование технологий комплексного освоения бурогольных месторождений [Текст]: автореф. дис. док. тех. наук / Н.И. Абрамкин. – Москва, 2008.

23. Абрамкин, Н.И. Обоснование параметров технологической схемы размещения и сжигания отходов в подземном пространстве закрываемых шахт [Текст] / Н.И. Абрамкин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: Изд. МГГУ, 2000. – Вып. 3. – С. 115-116.

24. Гайворонский, Е.А. Особенности типологии и архитектуры объектов подземной урбанистики в Донецком регионе [Текст] / Е.А. Гайворонский, А.М. Югов // Современное промышленное и гражданское строительство. – 2015. – Том 11. – № 2. – С. 65-79.

25. Restrukturyzacja górnictwa węgla kamiennego w Polsce – realizacja pierwszego etapów ramach możliwości finansowych”, przyjęty przez Radę Ministrów w dniu 15 marca 1993 roku. Katowice 2020: Strategia rozwoju miasta. Rada miasta Katowice. – Katowice, 2007. – 94 p.

26. Лукьянова, О.В. Разработка технико-экономической модели рационального природопользования на основе реструктуризации и диверсификации угледобывающих предприятий [Текст]: автореф. канд. экон. Наук: 08.00.19 / О.В. Лукьянова. – Владивосток: 2000. – 178 с.

УДК 711+719

М.А. ЧЕРНЫШ, кандидат архитектуры, доцент кафедры архитектурного проектирования и дизайна архитектурной среды ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка, Украина

ОСОБЕННОСТИ РЕГЕНЕРАЦИИ ОБЪЕКТОВ ИСТОРИЧЕСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

Аннотация: Статья посвящена анализу основных принципов регенерации объектов исторической застройки в сложившихся градостроительных условиях. Рассмотрены концепции реконструкции, реновации, регенерации, реставрации, восстановления как памятников архитектуры и градостроительства, так и объектов ценной исторической застройки. Показана важность дальнейшего углубленного изучения и анализа объектов исторической застройки с целью ее сохранения и восстановления, а также дальнейшего правильного внедрения современной архитектуры в исторические кварталы и районы города.

Ключевые слова: регенерация, реновация, реставрация, реконструкция, историческая застройка, ценная архитектура.

M.A. CHERNYSH, candidate of Architecture, Associate Professor of the department of Architectural Engineering and Design of Architectural Environment, Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture, Makeyevka, Ukraine

THE FEATURES RECOVERY OF FACILITIES OF HISTORICAL BUILDINGS

Abstract: This article analyzes the basic principles of objects regeneration of historic buildings in the existing urban development conditions. The concept of reconstruction, renovation, regeneration, restoration, recovery the monuments of architecture and urban planning, as well as objects of valuable historical buildings have been reviewed. The importance of further in-depth study and objects analysis of historic buildings with a view to the preservation and restoration, as well as the further proper introduction of modern architecture in the historic neighborhoods and areas of the city was shown.

Key words: regeneration, renovation, restoration, reconstruction, historical buildings, valuable architecture.

Постановка проблемы. Сложившаяся историческим путем городская среда находится в процессе непрерывного развития, преобразования исторической застройки, что требует охраны, реконструкции, реновации как памятников архитектуры и градостроительства, так и объектов ценной исторической застройки.

Зачастую реконструкции подвергаются памятники архитектуры и градостроительства в центральных частях крупных городов. Однако уже давно следует обратить особое внимание и на периферийную зону. На территориях крупных городов, исторических, промышленных, сохранились объекты архитектуры и градостроительства, которые памятниками не являются, но представляют ценность в сохранении исторической

принадлежности отдельных районов. Именно из-за недостаточного внимания к отдельным районам города за последние 10-летия утрачено большое количество объектов ценной исторической застройки. За пределами выявленных и научно обоснованных исторических ареалов расположены исторические комплексы, ансамбли, градостроительные территории, жилые образования и т.д. фрагментировано, тем самым затрудняется их выявление и последующее сохранение [3]. Проблема заключается в слабой изученности историко-архитектурного наследия.

Постановка целей исследования. Целью данной публикации является анализ основных принципов и приемов регенерации объектов исторической застройки. Анализ понятий реконструкция, реновация, регенерация, реставрация в архитектурной практике сохранения и восстановления объектов исторического наследия и того, как эти процессы применяются в исследовании объектов архитектуры и градостроительства имеющих ценность.

Основной материал. Основными приемами сохранения и восстановления объектов культурно-исторического наследия в архитектурной практике являются: реконструкция; реновация; реставрация; регенерация; рекультивация.

Реконструкция (от лат. – назад, строение) – перестройка существующих объектов архитектуры, связанная с их усовершенствованием, повышением технико-экономического уровня, улучшением условий эксплуатации. Процесс реконструкции предполагает проведение строительных работ с целью изменения технико-экономических показателей объекта, повышения эффективности его использования, предусматривающих: реорганизацию исторического объекта, изменение размеров и технических показателей, капитальное строительство и т.д. Если речь идет о реконструкции памятника архитектуры или объекта ценной исторической застройки, то необходимо создать условия для их дальнейшего эффективного использования, восстановить прежний облик (если это требуется), сохранить дух эпохи [2].

Реставрация – восстановление разрушенных, поврежденных, утраченных или искаженных памятников архитектуры и градостроительства с целью сохранения их исторического и художественного значения. Этот процесс является составной частью охраны памятников истории, архитектуры, культуры. Процесс реставрации предполагает восстановление памятников архитектуры с учетом их исторического прошлого и аутентичности. На сегодняшний день, этот процесс все больше приближается к восстановлению подлинного, первоначального вида объектов архитектуры [8].

Реновация (от лат. – обновление) – процесс улучшения структуры объектов. Освобождение территории, снос зданий и сооружений, извлечение из подземного пространства инженерных коммуникаций для обеспечения возможности нового строительства вне зависимости от степени сохранности расположенных объектов [7].

Рекультивация – комплекс мер по улучшению окружающей среды, восстановление свойств, функций средового пространства по средствам архитектуры и градостроительства [3, 6].

Регенерация – восстановление утраченных, разрушенных частей, элементов объектов архитектуры и градостроительства, композиционной целостности исторических районов города, их центров, отдельных архитектурных ансамблей и комплексов, зданий и сооружений. Основными задачами процесса регенерации являются: сохранение традиционных планировочных и композиционных характеристик культурно-исторической среды; увеличение функциональной направленности городской исторической среды; восстановление утраченных объектов [6].

Использование рассмотренных процессов на сегодняшний день несколько затруднено. Это связано с рядом факторов, прежде всего с выполнением законодательных норм в области охраны и сохранения памятников архитектуры и градостроительства. Однако, этих процессов недостаточно для полноценного исследования и дальнейшего восстановления утраченных исторических объектов, в том числе памятников архитектуры и градостроительства, объектов, претендующих на получение такого статуса и ценной исторической застройки.

Каждый архитектурный объект исторической застройки расположен в структуре городской среды. Архитектурная среда является градостроительной составляющей, основой архитектурно-пространственной среды объектов исторического наследия, без которой они утратят свое значение [2, 4].

Процесс регенерации предполагает сохранение, как отдельных особенностей зданий, комплексов, так и архитектурно-пространственной среды, в которой расположены ценные объекты архитектуры и градостроительства [4, 5]. В таком случае процесс регенерации будет целостным (рис. 1).



Рис. 1. Этапы исследования объектов исторического наследия

На основе анализа процессов сохранения и восстановления объектов культурно-исторической среды промышленных, исторических городов, были сформулированы принципы регенерации исторических объектов архитектуры и градостроительства [6]. Эти принципы учитывают следующие особенности: градостроительные, функционально-пространственные, конструктивно-технические, композиционно-художественные, объемно-планировочные, инженерно-технические (рис. 2).

Рассмотренные принципы и приемы регенерации исторического наследия учитывают практически все составляющие объемно-планировочных, градостроительных, конструктивных и технико-экономических характеристик как отдельных объектов архитектуры и культуры, так и целых комплексов и градостроительных ансамблей, представляющих ценность в историко-архитектурном контексте (рис. 3).

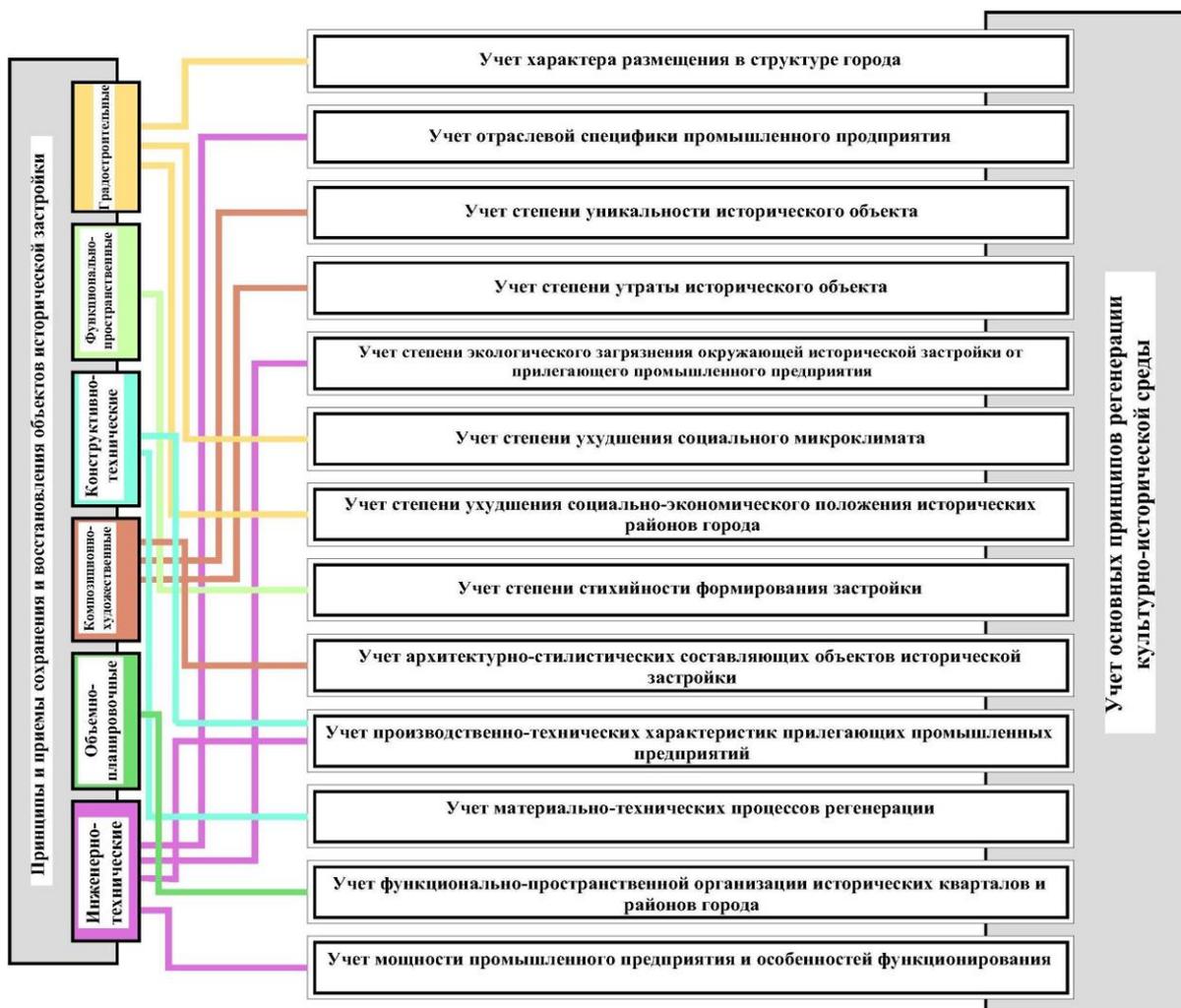


Рис. 2. Классификация принципов и приемов регенерации исторических объектов архитектуры и градостроительства



Рис. 3. Сохранение и восстановление градостроительного контекста объектов исторического наследия

Выводы. Главной задачей регенерации культурно-исторического наследия в городах промышленного, исторического и культурного типов является оценка исторической архитектурно-пространственной среды на основе анализа градостроительной структуры. Архитектурное изучение и исследование памятников архитектуры и фоновой ценной застройки невозможно без циклов инженерно-технических и архитектурно-градостроительных изысканий.

Требования к сохранению и восстановлению исторической среды города предусматривают историко-архитектурное обоснование объектов архитектуры и градостроительства, которые представляют собой ценность, сохранение и восстановление градостроительной структуры и архитектурно-пространственной среды.

Список источников

1. Иконников, А.В. Искусство, среда, время (Эстетическая организация городской среды) [текст] / А.В. Иконников. – М.: Сов. худож., 1985. – 336 с.
2. Щенков, А.С. Основы реконструкции исторических городов [текст]: учеб. пособие / А.С. Щенков. – М.: Московский архитектур. ин-т (гос. академия), 2008. – 154 с.
3. Волкова, Т.Ф. Реабилитация городской жилой среды. Социально-градостроительный аспект [текст]: учеб. пособие / Т.Ф. Волкова. – Пенза : ПГУАС, 2014. – 116 с.
4. Шепелев, Н.П. Реконструкция городской настройки [текст]: учеб. для строит. спец. вузов / Н.П. Шепелев, М.С. Шумилов. – М.: Васш. шк., 2000. – 271 с.
5. Хасиева, С.А. Архитектура городской среды [текст]: учеб. для вузов / С.А. Хасиева. – М.: Стройиздат, 2001. – 200 с.
6. Черныш, М.А. Регенерация культурно-исторической среды промышленного города (на примере города Макеевки): Автореф... дис. канд. арх. – Макеевка: ДонНАСА, 2014. – 24 с.
7. Реновация [электронный ресурс]: материал из Википедии – свободной энциклопедии. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B5%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F>. – Загл. с экрана.
8. Реставрация [электронный ресурс]: материал из Википедии – свободной энциклопедии. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%B2%D1%80%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F>. – Загл. с экрана.

УДК 621.86.01

С.А. НИЩЕТА, доцент, кандидат технических наук, кафедра проектирования зданий и строительных конструкций, Институт строительства, архитектуры и искусства, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

К.В. МАРКОВ, начальник отдела экспертизы зданий и сооружений ООО «Комплексное проектирование», г. Магнитогорск

ПОВРЕЖДАЕМОСТЬ МОСТОВЫХ КРАНОВ

Аннотация: В статье приведены результаты обследования несущих и вспомогательных конструкций мостовых кранов грузоподъемностью от 5+5 т. до 500/100/20 т., работающих в пролетах кислородно-конвертерного и электросталеплавильного цехов. Выявлены характерные повреждения. Даны рекомендации по их устранению.

Ключевые слова: обследование, мостовой кран, тележка, концевая балка, главная балка, стальной настил, ограждение, дефекты, трещины.

S.A. NISCHETA, Associate Professor, candidate of Technical Sciences, department of Building Design and Constructions, Institute of Civil Engineering, Architecture and Art, Nosov Magnitogorsk State Technical University

K.V. MARKOV, Head of the Expert Department of Buildings and Structures, LTD "Complex Projecting", Magnitogorsk

DAMAGEABILITY OF BRIDGE CRANES

Abstract: The article presents the observation results of bearing and protecting constructions for the bridge cranes with the lift capacity from 5 + 5 tons to 500/100/20 tons, which operate in the crane spans of oxygen-converter and electric-furnace works. The specific defects and damages have been detected. Recommendations to dispose them have been given.

Key words: observation, bridge crane, crab, end beam, main beam, steel decking, protecting railing, defects, cracks.

В процессе интенсивной эксплуатации мостовые краны получают различного рода повреждения, которые с течением времени накапливаются и могут привести к аварийным ситуациям с тяжелыми последствиями [1-4]. Авторами данной статьи в период с 2015 по 2016 годы были проведены обследования металлических конструкций 60-ти мостовых кранов сталеплавильного производства грузоподъемностью от $Q=5+5$ т. до $Q=500/100/20$ т. в соответствии с методическими указаниями РД [5]. Выявление дефектов и повреждений производилось на тележках мостовых кранов, главных балках или фермах, концевых балках; осматривались узлы их сопряжения, а также узлы крепления угловых буск и балансиров [6, 7]. Кроме того, фиксировались разрушения жестких и упругих

упоров, расположенных на мостах кранов. Исследованиями, проведенными на мостовых кранах различной грузоподъемности, установлены закономерности увеличения горизонтальных нагрузок на подкрановые балки, тупиковые упоры и колонны, вызванные перекосами колес и мостов кранов из-за накопленных повреждений [3, 8-10]. Повышенные динамические воздействия приводят к разрушению узлов крепления подкрановых балок к колоннам и тупиковых упоров [8, 10].

При анализе паспортных данных 60-ти мостовых кранов выявлено следующее: в 1980 – 1989 годах на машиностроительных заводах изготовлен 21% кранов, в 1990 – 1999 годах – 1%, в 2000 – 2009 годах – 28%. Наибольшее число кранов изготовлено на заводе «СИБТЯЖМАШ», г. Красноярск – 33%. В г. Харьков изготовлено 12% кранов, в Финляндии - 13%, в Германии – 3%.

Мостовые краны сталеплавильного производства грузоподъемностью до 50 т. составляют 34,4%, от 50 до 150 т. – 42,6%, свыше 150 т. – 23%, в том числе, грузоподъемностью 500/100/20 т. – 6,6%.

В результате статистической обработки 145 выявленных дефектов и повреждений можно произвести их классификацию по трем группам. К первой группе относятся повреждения несущих конструкций мостовых кранов аварийного характера:

1) Трещины в местах крепления угловых боек к концевым балкам или балансирам мостовых кранов.

2) Трещины в узлах сопряжения главных и концевых балок.

Примеры перечисленных повреждений приведены на рис. 1-2.



Рис. 1. Трещины в сварных швах концевой балки мостового крана грузоподъемностью $Q=16+16$ т.



Рис. 2. Трещины в узле сопряжения главной и концевой балок мостового крана грузоподъемностью Q=50/10 т.

Трещины в узлах крепления угловых буск к концевым балкам обнаружены на двух мостовых кранах (1,4%), в узлах сопряжения главных и концевых балок – на пяти (3,4%).

Ко второй группе относятся дефекты и повреждения оборудования, установленного на мостовых кранах:

- 1) Повреждения элементов крепления кабин.
 - 2) Истирание тросами защитных кожухов барабанов лебедок и бортовых элементов на тележках кранов.
 - 3) Разрушение креплений рельсов, установленных на главных балках мостовых кранов.
 - 4) Ослабление натяжения болтов крепления угловых буск.
 - 5) Отсутствие, деформирование или ослабление крепления сбрасывающих устройств.
 - 6) Отсутствие или повреждение упругих упоров.
 - 7) Отсутствие болтов в монтажных соединениях.
 - 8) Деформирование ребер жесткости.
 - 9) Повреждение или отсутствие опорных стоек под домкраты.
 - 10) Разрушение лакокрасочного покрытия, коррозия металла.
- Наиболее характерные повреждения приведены на рис. 3-6.

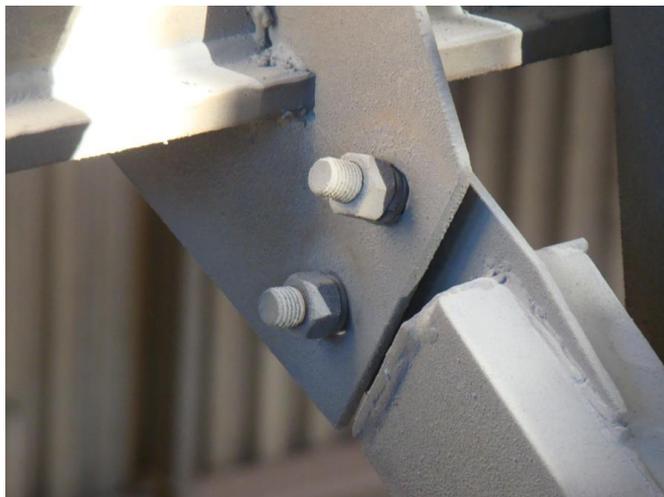


Рис. 3. Ослабление болтового соединения крепления кабины



Рис. 4. Отсутствие сбрасывающей рамки и повреждение упругого элемента



Рис.5. Разрушение упора мостового крана



Рис. 6. Разрушение лакокрасочного покрытия и поверхностная коррозия нижнего пояса главной балки

Дефекты элементов крепления кабин выявлены в двух случаях (1,4%), повреждения концевых упоров тележек – 3,4%, упругих упоров мостовых кранов – 8,3%. Отсутствие сбрасывающих устройств составляет 17,2%, Остальные повреждения не превышают 1%.

К третьей группе относятся повреждения, представляющие опасность для персонала при проведении обслуживания мостовых кранов и выполнении ремонтно-восстановительных работ:

- 1) Отсутствие или деформирование элементов перильного ограждения на тележках, концевых балках и площадках обслуживания мостовых кранов.
- 2) Разрушение креплений лестниц и переходных площадок.
- 3) Разрушение сварных швов крепления стального настила.
- 4) Вырезы в стальном настиле площадок обслуживания.
- 5) Отсутствие крышек, заглушек и люков.

Наиболее характерные повреждения приведены на рис. 7–11.



Рис. 7. Отсутствие среднего элемента перильного ограждения



Рис. 8. Деформирование перильного ограждения тележки



Рис. 9. Деформирование лестницы и отсутствие сбрасывающей рамки



Рис. 10. Разрушение сварного шва настила площадки обслуживания



Рис. 11. Вырезы в стальном настиле

Повреждения перильного ограждения на тележках, концевых балках и площадках обслуживания в совокупности составляют 27,6%, разрушение лестниц – 6,2%, отсутствие сварных швов крепления настила и вырезы в настиле – 12,4%.

Выводы и рекомендации

Из обследованных 60-ти мостовых кранов сталеплавильного производства повреждения выявлены у 53-х кранов (88,3%).

Повреждения первой группы аварийного характера составляют 4,8%, второй группы – 42,4%, третьей группы 51%.

Наиболее повреждаемыми являются элементы перильного ограждения (27,60%), сбрасывающие диафрагмы или рамки (17,2%), упоры с упругими элементами (11,7%).

Рекомендуется своевременно устранять выявленные повреждения.

При выполнении сварочных работ рекомендуется не допускать превышения катетами угловых швов наименьшей толщины соединяемых элементов. Наружную поверхность сварных швов после сварки обязательно тщательно зачищать.

Список источников

1. Пермяков М.Б., Ницета С.А. Повреждаемость конструкций и причины аварий зданий в металлургической промышленности // Предотвращение аварий зданий и сооружений. – Магнитогорск, 2003. – С. 5-8.
2. Ницета С.А., Финогенов С.В. Исследование воздействий мостовых кранов на стальные колонны промышленных зданий // Предотвращение аварий зданий и сооружений. – Магнитогорск, 2001. – С. 55-58.
3. Ницета С.А. Исследование воздействий мостовых кранов на стальные колонны промышленных зданий: Дисс. ... канд. техн. наук. – М., 1983. – 168 с.
4. Ницета С.А., Марков К.В., Ницета А.С. Ограниченные аварийные разрушения с тяжелыми последствиями // Архитектура. Строительство. Образование. – 2014. – № 1 (3). – С. 233-238.
5. РД 10-112-5-97. Методические указания по обследованию грузоподъемных машин с истекшим сроком службы. Часть 5. Краны мостовые и козловые. – М., 1997. – 77 с.
6. Гохберг М.М. Металлические конструкции подъемно-транспортных машин. – М.: Машиностроение, 1969. – 520 с.
7. Богуславский П.Е. Металлические конструкции грузоподъемных машин и сооружений. – М.: МАШГИЗ, 1961. – 520 с.
8. Повышение долговечности металлических конструкций промышленных зданий. Под ред. А. И. Кикина. – М.: Стройиздат, 1984. – С. 30-96
9. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения. Под ред. Перельмутер А.В. – М.: ИАСВ, 2007. – С. 63-118.
10. Пичугин С.Ф. Крановые нагрузки на строительные конструкции. – Полтава: ООО «АСМИ», 2014. – 504 с.
11. Пермяков М.Б., Чернышова Э.П., Пермякова А.М. Предотвращение аварий эксплуатируемых зданий и сооружений // Сборник научных трудов Sworld «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития». – Одесса: КУПРИЕНКО, 2013. – Т. 50. – № 3. – С. 38-43.

УДК 624.075.23

М.А. АСТАФЬЕВА, аспирант, кафедра проектирования зданий и строительных конструкций, Институт строительства, архитектуры и искусства, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДИК РАСЧЕТА ТРУБОБЕТОННЫХ КОЛОНН СО СПИРАЛЬНЫМ АРМИРОВАНИЕМ БЕТОННОГО ЯДРА

Аннотация: В статье представлен краткий анализ существующих методик расчета трубобетонных колонн отечественных и зарубежных ученых. Все эти методики носят эмпирический или полумэмпирический характер и имеют весьма ограниченную область применения. Обосновывается необходимость разработки новой методики расчета прочности коротких трубобетонных колонн со спиральным армированием бетонного ядра квадратного и круглого поперечного сечения, адекватно отражающей их специфические особенности.

Ключевые слова: трубобетонные колонны, спиральное армирование, расчет прочности.

M.A. ASTAFEVA, Post-Graduate Student, department of Building Design and Constructions, Institute of Civil Engineering, Architecture and Arts, Nosov Magnitogorsk State Technical University

ANALYSIS OF EXISTING METHODS FOR CALCULATING CFSTC WITH SPIRAL REINFORCEMENT OF CONCRETE CORE

Abstract: This article presents a brief analysis of the existing methods of calculation of concrete filled steel tube columns of Russian and foreign scientists. Basically, the existing methods are empirical or semi-empirical in nature and have a very limited scope. Thus, it is necessary to develop a method of calculation the strength of short concrete filled steel tube columns with spiral reinforcement of concrete core (SRCFST) with square and circular cross-section, which adequately reflects their specific characteristics.

Key words: concrete filled steel tube columns, spiral reinforcement, strength calculation.

Применение трубобетонных колонн (ТБК) в различных областях строительства становится все более востребованным. По сравнению с железобетонными конструкциями при одинаковом расходе материалов они обеспечивают не только увеличение несущей способности, но и сокращение сроков возведения зданий. ТБК сочетают в себе положительные свойства стальных и железобетонных материалов – высокую прочность, жесткость и пластический характер разрушения. Эти свойства и способность поглощать повышенное количество энергии позволяют трубобетонным колоннам эффективно сопротивляться сейсмическим нагрузкам [1, 2], что было доказано в результате анализа последствий землетрясения Hansin – Awaji в Японии в 1995 году. Вследствие этого

землетрясения большинство из железобетонных и стальных конструкций были сильно повреждены из-за разрушения при срезе и потери местной устойчивости, в то время как ТБК избежали видимого разрушения (рисунок 1).

Наиболее полно преимущества сжатого трубобетона используются в вертикальных несущих элементах зданий и сооружений повышенной высоты. Такие здания особенно активно строятся в США, Японии, Китае, странах юго-восточной Азии.

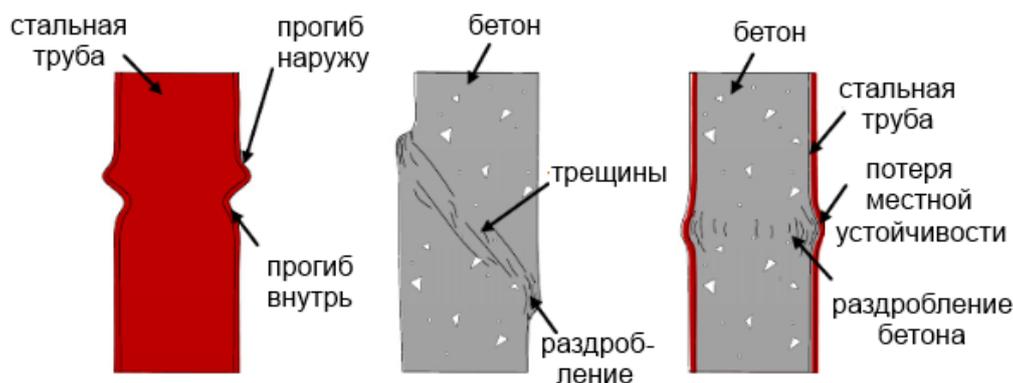


Рис. 1. Схематическая модель разрушения полой трубы, бетонной и трубобетонной колонны

Успешный опыт строительства с применением трубобетонных конструкций в качестве колонн высотных или многоэтажных зданий во многих странах мира подтверждает их эффективность и преимущество перед другими строительными конструкциями.

Использование трубобетонных колонн со спиральным армированием (ТБКС) имеет определенные преимущества перед обычными трубобетонными колоннами. Недавние исследования китайских и малазийских ученых [1, 10, 11], проводимые параллельно с нашими опытами [13, 15], показали, что ТБКС имеют большую несущую способность, лучше сопротивляются хрупкому разрушению, имеют большую жесткость и огнестойкость по сравнению с традиционными ТБК. Кроме того, здания, построенные с применением спирально армированных трубобетонных колонн, имеют заметно лучшие антисейсмические свойства.

Впервые подробный анализ работы трубобетонного элемента и теоретический вывод расчетной формулы были выполнены в 1933 г. А.А. Гвоздевым [10]. Предельную нагрузку на центрально сжатый трубобетонный элемент ученый предложил определять как сумму усилий, воспринимаемых трубой, испытывающей осевое сжатие и внутренний распор, и бетонным сердечником в условиях всестороннего сжатия. Работа металлической трубы в пластическом состоянии определяется условием Генки-Мизеса.

В итоге формула для определения несущей способности трубобетонного элемента принимает вид:

$$N_p = A_a \sigma_0 \alpha + A_b \sigma_b, \quad (1)$$

где σ_0 – предел текучести металла; σ_b – призмочная прочность бетона; A_a, A_b – площади поперечного сечения стальной трубы и бетона; α – коэффициент эффективности стальной ободки, определяемый по формуле

$$\alpha = \sqrt{1 + \frac{(k-1)^2}{3}}. \quad (2)$$

Коэффициент бокового давления k здесь был принят постоянным и равным 4. Как показано в работе [12] использование этого допущения может приводить к существенным погрешностям при определении несущей способности. При этом проделанный А.А. Гвоздевым теоретический анализ доказал полную аналогию работы трубобетонного и спирально армированного элементов в предельном состоянии, когда и бетон, и ободка находятся в пластической стадии работы.

В дальнейших исследованиях О.И. Алпериной, А.А. Долженко, А.Ф. Липатова, Л.К. Лукши, И.Г. Людковского, Л.И. Стороженко и их учеников предлагались подобные (2) формулы. Подробный анализ этих формул приведен в работе [12]. Используемые перечисленными учеными методики основаны на методе предельных усилий. За исключением предложений Л.К. Лукши, все они носят эмпирический или полуэмпирический характер и имеют весьма ограниченную область применения. Выполнить расчет ТБК с косвенным армированием бетонного ядра по этим методикам не представляется возможным.

С учетом особенностей армирования ТБК расчет их несущей способности следует выполнять с использованием нелинейной деформационной модели. Такой расчет основан на диаграммах деформирования материалов. Наиболее сложной задачей является построение диаграммы деформирования объемно сжатого бетона.

Д. Мандер [8] одним из первых предложил приемлемые уравнения для напряженно-деформированного состояния объемно сжатого бетона на основе модели Поповика. В дальнейшем подобных предложений было достаточно много, особенно в работах китайских и японских ученых [4, 6, 7]. Влияние вида и процента армирования обычной и высокопрочной поперечной арматуры на параметры диаграммы деформирования высокопрочного объемно сжатого бетона в 2000 г. изучали Ли и др. [4]. Ученые провели экспериментальное исследование большого количества круглых и

квадратных железобетонных колонн. По результатам испытаний они пришли к выводу, что процент армирования и предел текучести арматуры существенно влияет на форму кривой напряженно-деформированного состояния. На основе данных экспериментальных исследований кривую деформирования бетона было предложено разбить на три участка (рис. 2). Каждый из участков описывается своим уравнением:

$$f_c = E_c \varepsilon_c + \frac{f'_c - E_c \varepsilon_{c0}}{\varepsilon_{c0}^2} \varepsilon_c^2, \quad 0 < \varepsilon_c \leq \varepsilon_{c0}; \quad (3)$$

$$f_c = f'_{cc} - \frac{f'_{cc} - f'_c}{(\varepsilon_{cc} - \varepsilon_{c0})^2} (\varepsilon_c - \varepsilon_{c0})^2, \quad \varepsilon_{c0} < \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cc}; \quad (4)$$

$$f_c = f'_{cc} - \beta \frac{f'_{cc}}{\varepsilon_{cc}} (\varepsilon_c - \varepsilon_{cc}) \geq 0.4 f'_{cc}, \quad \varepsilon_c > \varepsilon_{cc}. \quad (5)$$

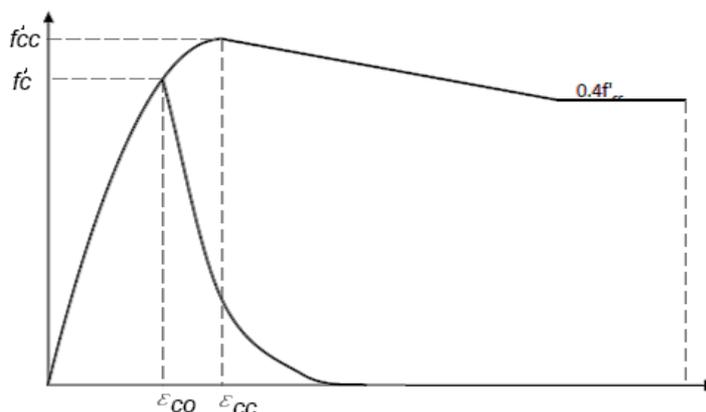


Рис. 2. К построению диаграммы деформирования объемно сжатого бетона

Параметр β в уравнении (5) регулирует наклон послепикового участка кривой деформирования.

Максимальная прочность объемно-сжатого бетона определяется по усовершенствованной формуле Мандера

$$f_{cc} = f'_c \left(-1.254 + 2.254 \sqrt{1 + \frac{7.94 f'_l}{f'_c}} - 2\alpha_s \frac{f'_l}{f'_c} \right). \quad (6)$$

где при $f'_c \leq 52 \text{ МПа}$, $\alpha_s = (21.2 - 0.35 f'_c) \frac{f'_l}{f'_c}$; (7)

при $f'_c > 52 \text{ МПа}$, $\alpha_s = 3.1 \frac{f'_l}{f'_c}$; (8)

где f_l' – эффективное боковое давление.

Следует отметить, что предложенное усовершенствование положительно сказалось на точности определения прочности объемно сжатого бетона. Но, учитывая исследования Н.И. Карпенко [11], установившего влияние f_{cc} от уровня бокового обжатия и вида бетона, понятно, что формула (6) также имеет ограниченную область применения.

Универсальной можно считать только зависимость, теоретически полученную А.Л. Кришаном [12], которая при использовании принятых в РФ обозначений имеет следующий вид:

$$R_{b3} = R_b \left[1 + \left(0,25\bar{\sigma} + \frac{\bar{\sigma} - 2}{4} + \sqrt{\left(\frac{\bar{\sigma} - 2}{4} \right)^2 + \frac{\bar{\sigma}}{b}} \right) \right], \quad (9)$$

где R_b – прочность бетона при одноосном сжатии; $\bar{\sigma}$ – относительная величина бокового давления σ_{br} со стороны стальной оболочки на бетонное ядро $\bar{\sigma} = \sigma_{br} / R_b$; b – коэффициент материала, устанавливаемый на основании опытов (для тяжелого бетона $b=0,096$).

Величина $\bar{\sigma}$ для ТБК круглого поперечного сечения, находящегося в предельном состоянии по прочности, определяется по формуле

$$\bar{\sigma} = 0,48e^{-(a+b)} \rho^{0,8}, \quad (10)$$

в которой ρ – конструктивный коэффициент трубобетона, вычисляемый по формуле

$$\rho = \frac{\sigma_{y,p} A_p}{R_b A}, \quad (11)$$

где $\sigma_{y,p}$ – предел текучести стали внешней оболочки ТБК; A и A_p – площади поперечных сечений бетонного ядра и стальной оболочки.

В 2010 г. опубликована работа Лян и Фрагомени [5], также предложивших использовать нелинейную деформационную модель для описания поведения ТБК при внецентренной нагрузке. Значения напряжений и относительных деформаций бетона в вершине диаграммы деформирования (см. рисунок 2) учеными предложено определять по формулам:

$$f_{cc} = \gamma_c f_c' + 4,1 f_l'; \quad (12)$$

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{c0} \left(1 + 20.5 \frac{f_l}{\gamma_c f_c'} \right); \quad (13)$$

$$\gamma_c = 1.85 d_s^{-0.135}, \quad 0.85 \leq \gamma_c \leq 1, \quad (14)$$

где γ_c является масштабным фактором, который учитывает размер колонны.

В целом предложенные зависимости верно отражают влияние основных факторов на напряженно-деформированное состояние бетонного ядра. Однако получены они по результатам статистической обработки экспериментальных данных и поэтому имеют ограниченную область применения. Без соответствующих корректировок использовать их для расчета ТБК со спиральным армированием бетонного ядра не представляется возможным.

В 2016 г. опубликована работа малазийских ученых [3] с результатами экспериментальных исследований ТБК со спиральным армированием бетонного ядра. Для численного анализа полученных диаграмм деформирования лабораторных образцов авторы используют предложения работы [9]. В данной работе максимальное сжимающее усилие, которое может воспринять бетонное ядро, предлагается находить по формуле

$$N_{co} = k_c f_c' A_c, \quad (15)$$

в которой k_c – повышающий коэффициент, учитывающий влияние эффекта обоймы от стальной трубы и арматуры.

Значение k_c вычисляется по формуле

$$k_c = 5,71 \gamma_s^2 - 2,96 \gamma_s + 1,62, \quad (16)$$

где γ_s – коэффициент распределения нагрузки между стальной трубой (N_{so}), арматурой (N_{ro}) и бетонным ядром (N_{co})

$$\gamma_s = \frac{N_{so}}{N_{so} + N_{ro} + N_{co}}, \quad 0,1 \leq \gamma_s \leq 0,9. \quad (17)$$

Выполненное нами сопоставление этих данных с результатами опытов более 100 ТБК, имеющих различные конструктивные параметры, показал, что формулы (15)÷(17) далеко не всегда позволяют получать достоверные результаты по прочности бетонного ядра. Однако наибольший интерес представляет вывод малазийских ученых по результатам численных расчетов с использованием нелинейного метода конечных элементов и программного комплекса ANIDA. Суть его в том, что несущую способность

сжатого трубобетонного элемента можно увеличивать за счет спирального армирования независимо от толщины стенки стальной трубы-оболочки.

На основании анализа существующих методик расчета можно сделать общий вывод о том, что они базируются на методе предельных усилий, который не может учесть важные аспекты напряженно-деформированного состояния бетонного ядра и стальной оболочки ТБКС. Поэтому имеется необходимость разработать новую методику расчета их прочности. Методика должна быть основана на использовании нелинейной деформационной модели сталебетона и адекватно отражать основные особенности совместной работы стальной оболочки, бетонного ядра и спиральной арматуры.

Список источников

1. Endo T, Shioi Y, Hasegawa A, Wang H. Experimental study on reinforced concrete-filled steel tubular structure // *Proceedings of the 7th International Conference on Steel Structures*, 2000.
2. Hajjar J.F. Composite steel and concrete structural systems for seismic engineering // *J. Constr. Steel Res.*, 58. – 2002. – pp. 703-723.
3. Hamidian M.R., Jumaat M.Z., Alengaram U.J., Sulong N.H.R., Shafiq P. Pitch spacing effect on the axial compressive behavior of spirally reinforced concrete-filled steel tube (SRCFT) // *Thin-Walled Structures*, 100. – 2016. – pp. 213-223.
4. Li, B., Park, R., and Tanaka, H. Constitutive behavior of high-strength concrete under dynamic loads // *ACI Structural Journal*, 97(4). – 2000. – pp. 619-629.
5. Liang Q.Q., Fragomeni S. Nonlinear analysis of circular concrete-filled steel tubular short columns under eccentric loading // *Journal of Constructional Steel Research*, Volume 66, Issue 2, February 2010. – pp. 159-169.
6. Liu D. Behavior of eccentrically loaded high-strength rectangular concrete-filled steel tubular columns // *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 62. – pp. 839-845.
7. Lu F.W., Li S.P., Guojun Sun. A study on the behavior of eccentrically compressed square concrete-filled steel tube columns // Department of Engineering Mechanics, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai, 200240, China.
8. Mander, J.B., Priestley, M.J.N., and Park, R. Observed stress strain behavior of confined concrete // *Journal of Structural Engineering*, ASCE, V.114, № 8. – 1988. – pp. 1804-1825.

9. Xiamuxi A., Hasegawa A. A study on axial compressive behaviors of reinforced concrete filled tubular steel columns // *Journal of Constructional Steel Research*, 76. – 2012. – pp. 144-154.
10. Гвоздев А.А. Определение разрушающей нагрузки для статически неопределимых систем, претерпевающих пластические деформации // «Проект и стандарт». – №8, 1934.
11. Карпенко С.Н. Построение общей методики расчета железобетонных стержневых конструкций в форме конечных приращений // *Бетон и железобетон*. – 2005. – №1. – С. 13-18.
12. Кришан А.Л. Универсальная формула для определения прочности бетонного ядра трубобетонных колонн // *Архитектура. Строительство. Образование*. – 2015. – № 1 (5). – С. 40-45.
13. Кришан А.Л. Трубобетонные колонны для многоэтажных зданий // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. – 2009. – № 4. – С. 75-80.
14. Кришан А.Л., Заикин А.И., Мельничук А.С. Расчет прочности трубобетонных колонн // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. – 2015. – № 1. – С. 20-25.
15. Кришан А.Л., Заикин А.И., Римшин В.И. Расчет прочности сжатых железобетонных элементов с косвенным армированием // *Бетон и железобетон – взгляд в будущее: научные труды III Всероссийской (II Международной) конференции по бетону и железобетону*. Т.1. Теория железобетона. Железобетонные конструкции. Расчет и конструирование. – Москва: МГСУ, 2014. – С. 308-313.
16. Krishan A.L., Troshkina E.A., Chernyshova E.P. Efficient Design of Concrete Filled Steel Tube Columns // *Procedia Engineering*. – Vol. 150: pp. 1709-1714, 2016. – URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.159>
17. Krishan A.L., Chernyshova E.P., Sabirov R.R. Calculating the Strength of Concrete Filled Steel Tube Columns of Solid and Ring Cross-Section // *Procedia Engineering*. – Vol. 150: pp. 1878-1884, 2016. – URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.186>.
18. Кришан А.Л., Сагадатов А.И., Чернышова Э.П. Анализ вопроса обеспечения необходимой прочности контакта между стальной оболочкой и бетоном в сжатых трубобетонных конструкциях // *Архитектура. Строительство. Образование*. – 2016. – № 1 (7). – С. 4-16.

УДК 624.014

С.А. НИЩЕТА, доцент, кандидат технических наук, кафедра проектирования зданий и строительных конструкций, Институт строительства, архитектуры и искусства, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

Э.Л. ШАПОВАЛОВ, доцент, кандидат технических наук, кафедра проектирования зданий и строительных конструкций, Институт строительства, архитектуры и искусства, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

СТРОИТЕЛЬНАЯ СТАЛЬ И ТЕМПЕРАТУРА

Аннотация: В статье обобщены результаты многочисленных испытаний образцов, выполненных из малоуглеродистых и низколегированных сталей, при воздействии пониженных и повышенных температур. Приведены графики зависимости предела текучести, временного сопротивления, ударной вязкости и модуля упругости от изменения температуры.

Ключевые слова: сталь, температура, воздействие, предел текучести, временное сопротивление, ударная вязкость, модуль упругости.

S.A. NISCHETA, Associate Professor, candidate of Technical Sciences, department of Building Design and Constructions, Institute of Civil Engineering, Architecture and Art, Nosov Magnitogorsk State Technical University

E.L. SHAPOVALOV, Associate Professor, candidate of Technical Sciences, department of Building Design and Constructions, Institute of Civil Engineering, Architecture and Art, Nosov Magnitogorsk State Technical University

CONSTRUCTION STEEL AND TEMPERATURE

Abstract: The paper summarizes the results of numerous tests for samples made of carbon and low alloy steels under the influence of low and high temperatures. Dependency diagrams of the yield strength, temporary resistance, impact elasticity, and tension module by temperature changes have been established in this article.

Key words: steel, temperature, influence, yield strength, impact strength, temporary resistance, impact elasticity, tension module.

Аварийные разрушения стальных конструкций, потеря несущей способности происходят как при низких, так и при высоких температурах. В нормах проектирования [1] нормативные механические и деформационные характеристики сталей относятся к температурам испытаний не выше +20°C. В ГОСТах [8 и 9] характеристики малоуглеродистых и низколегированных сталей позиционируются в пределах температур от +20° до -20° и -70°C соответственно. Ещё в работе Стрелецкого Н.С. [4] отмечалось, что для сталей, легированных хромом и кремнием, при повышении температуры значение

механических характеристик понижается и при температуре +600°C предел прочности, предел текучести и модуль упругих деформаций сталей снижаются практически до нуля. При этом изменение характеристик происходит неравномерно; при температуре +250°C предел прочности имеет локальный максимум. При понижении температуры пластические свойства понижаются, а предел прочности и предел текучести повышаются и разность между пределами уменьшается.

В основном у малоуглеродистых сталей при повышении температуры до +200°C предел текучести и временное сопротивление изменяются незначительно. Наибольшее снижение значений имеют стали ВСт3кп и Сталь 20. У стали ВСт3сп происходит повышение значений на 5 ÷ 6% по сравнению с температурой +20°C (Рис. 1). Германские стали характеризуются снижением характеристик до +200°C на 25 ÷ 27% (Рис. 2).

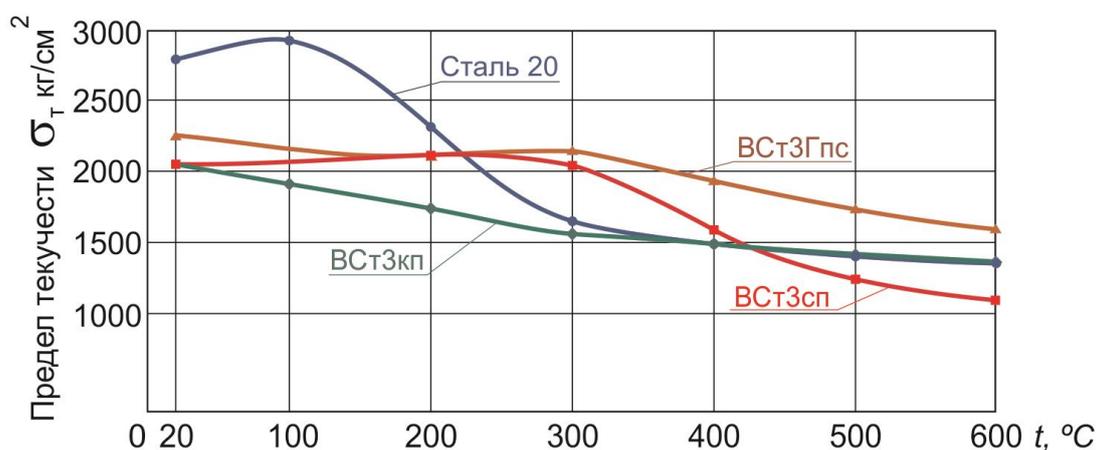


Рис. 1. Зависимость предела текучести малоуглеродистых сталей от температуры испытаний

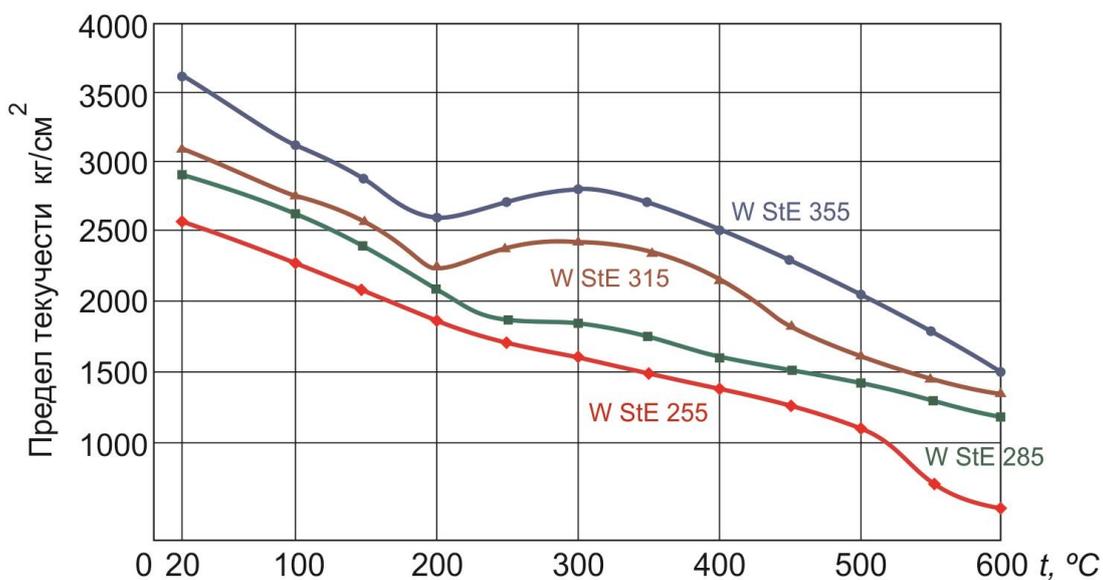


Рис. 2. Зависимость предела текучести от температуры испытаний германских сталей

После отметки $+300^{\circ}\text{C}$ у всех сталей происходит неуклонное снижение прочностных характеристик до температуры $+600^{\circ}\text{C}$ от 20 до 50%.

Результаты исследования прочностных и деформационных характеристик низколегированных сталей в широком температурном диапазоне приведены в марочнике сталей и сплавов [2, 3]. Изменение характеристик происходит неравномерно: предел прочности имеет локальный максимум при температуре $+250 \div +300^{\circ}\text{C}$ и далее понижается с повышением температуры. При понижении температуры предел прочности и предел текучести повышаются, разность между пределами относительно уменьшается [4].

На участке пониженных температур прочностные характеристики низколегированных сталей возрастают неравномерно: временное сопротивление на $24 \div 28\%$, предел текучести на $16 \div 32\%$. Максимальная разница значений напряжения составляет 2000 кг/см^2 (Рис. 3).

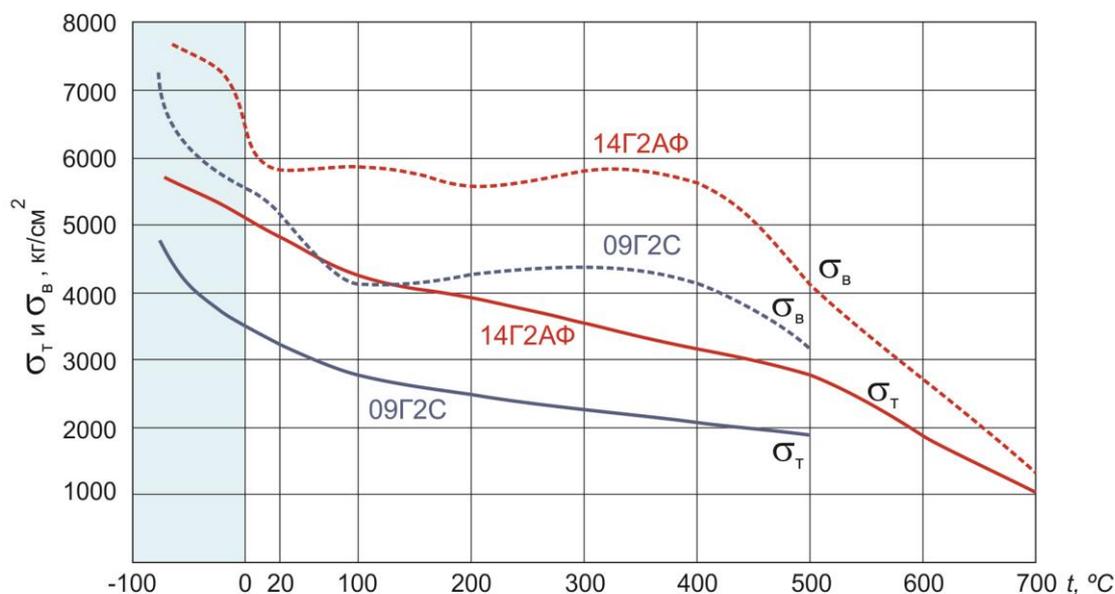


Рис. 3. Механические свойства сталей 09Г2С и 14Г2АФ в температурном диапазоне

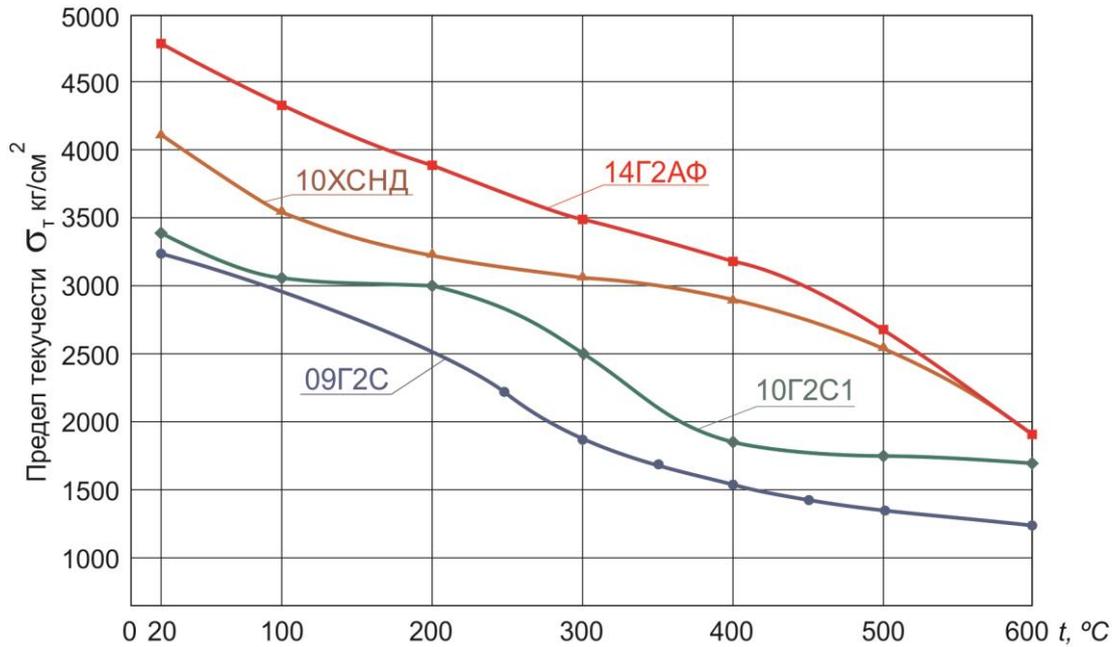


Рис. 4. Предел текучести низколегированных сталей в температурном диапазоне

При повышении температуры от +20° до +300°С временное сопротивление практически не изменяется. Далее происходит резкое падение значений у стали 14Г2АФ более чем на 50% до +600°С, у стали 09Г2С значения сопротивления снижается на 32 % в диапазоне от +300° до +600° С. Предел текучести снижается непрерывно на протяжении всего диапазона повышения температуры испытаний от +20° до +600°С на 60% у сталей 09Г2С и 14Г2АФ (Рис. 3 и 4).

Для обеспечения применения надежного материала в конструкции авторы работ [5, 6] считают, что большое значение имеет исследование ударной вязкости, порога хладноломкости, и предела выносливости.

Степень вязкости стали определяется по величине ударной вязкости, позволяющей учитывать восприятие материалом динамического воздействия приложенной нагрузки. Ударная вязкость, являясь характеристикой качества стали, не зависит от прочностных характеристик, так как одну и ту же ударную вязкость могут иметь стали с разными пределом текучести и временным сопротивлением [5]. Температура испытаний существенно влияет на ударную вязкость стали и сопротивление ударному разрушению [7]. При понижении температуры она уменьшается для разных сталей в зависимости от способа выплавки, степени раскисления и химического состава.

Малоуглеродистые и низколегированные стали характеризуются тем, что максимальные значения КСЧУ приходится на диапазон температур от +20° до +300° С.

Переход от вязкого разрушения к хрупкому, до уровня ниже порога хладноломкости, происходит на участке с температуры $+10^{\circ}\dots+20^{\circ}$ до -60° С. При повышении температуры с $+300^{\circ}$ до $+500^{\circ}$ С также происходит снижение показателей КСУ, но менее интенсивно, на 35 – 50% (Рис. 5).

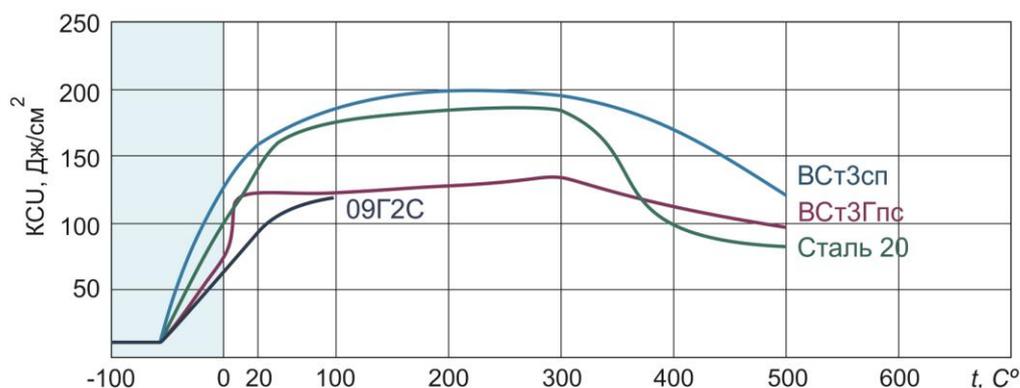


Рис. 5. Ударная вязкость конструкционных сталей в зависимости от изменения температуры

Снижение модуля упругости строительных сталей происходит плавно на участке положительных температур до $+700^{\circ}$ С в пределах 15%, а далее до $+900^{\circ}$ С уже более интенсивно на 45% (Рис. 6).

Обобщение материалов проведено по результатам исследований различных авторов работы конструкционных сталей в диапазоне низких и высоких температур.

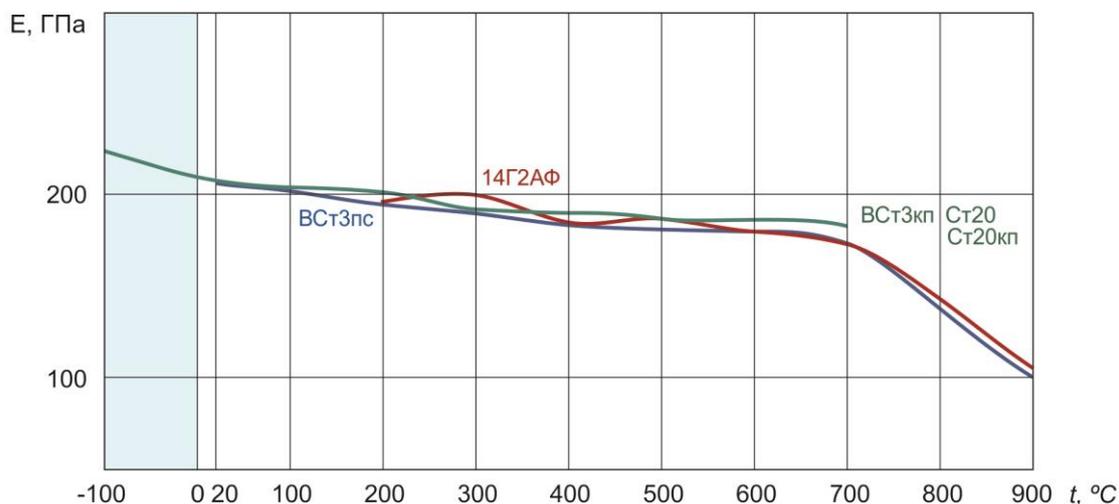


Рис. 6. Модуль упругости строительных сталей в зависимости от изменения температуры

Список источников

1. СНиП II-23-81* Стальные конструкции. Нормы проектирования. – М.: Стройиздат, 2004.
2. Марочник сталей и сплавов. Под ред. Сорокина В.Г. – М.: Машиностроение, 1989. – 640 с.
3. Марочник сталей и сплавов. Под ред. Зубченко А.С. – М.: Машиностроение, 2003.
4. Стрелецкий Н.С. Работа стали в строительных конструкциях. Материалы к курсу стальных конструкций. Выпуск 1. – М.: Стройиздат, 1956. – 324 с.
5. Мельников Н.П., Зелятров В.Н. Выбор сталей для строительных металлических конструкций. – М.: Стройиздат, 1967. – 136 с.
6. Еремин К.И., Нищета С.А., Нащекин М.В. Изучение действительной работы циклически нагруженных строительных металлоконструкций. – Магнитогорск: МГМА, 1996. – 228 с.
7. Скороходов В.Н., Одесский П.Д., Руденко А.В. Строительная сталь. – М.: Металлургия, 2002.
8. ГОСТ 380-71* Сталь углеродистая обыкновенного качества. – М.: Изд-во стандартов, 1972. – 12 с.
9. ГОСТ 19282-73* Сталь низколегированная толстолистовая и широкополосная универсальная. Взамен ГОСТ 5058-65. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 11 с.
10. СП 16 13330.2011 СНиП II-23-81*. Стальные конструкции. – М. – 177 с.
11. Нищета С.А., Шаповалов Э.Л. Оценка влияния температурных воздействий на изменчивость механических и деформационных свойств строительных сталей // Наука и безопасность. – 2015. – № 3 (16). – С. 39-42.
12. Нищета С.А., Марков К.В., Нищета А.С. Ограниченные аварийные разрушения с тяжелыми последствиями // Архитектура. Строительство. Образование. – 2014. – № 1 (3). – С. 233-238.
13. Емельянов О.В. Прогнозирование срока службы элементов стальных конструкций и механика разрушения // Архитектура. Строительство. Образование. – 2013. – № 2. – С. 138-141.

ЛАБОРАТОРИЯ «НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ»

Под руководством директора института строительства, архитектуры и искусства ФГБОУ ВПО «МГТУ», заведующего кафедрой Строительного производства и автомобильных дорог (СПиАД), доцента, канд. техн. наук Пермякова Михаила Борисовича работает лаборатория «Надежности и долговечности зданий и сооружений».



НА ОСНОВАНИИ СВИДЕТЕЛЬСТВА О ДОПУСКЕ К ОПРЕДЕЛЕННОМУ ВИДУ ИЛИ ВИДАМ РАБОТ, КОТОРЫЕ ОКАЗЫВАЮТ ВЛИЯНИЕ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ОБЪЕКТОВ КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА №0725.01-2011-7414002238-П-123 ПРЕПОДАВАТЕЛИ И СОТРУДНИКИ ИНСТИТУТА СТРОИТЕЛЬСТВА, АРХИТЕКТУРЫ И ИСКУССТВА ФГБОУ ВПО «МГТУ» ВЫПОЛНЯЮТ СЛЕДУЮЩИЕ ВИДЫ РАБОТ:

- Подготовка схемы планировочной организации земельного участка
- Подготовка архитектурных решений
- Подготовка конструктивных решений
- Подготовка сведений о внутреннем инженерном оборудовании, внутренних сетях инженерно-технического обеспечения, о перечне инженерно-технических мероприятий
- Подготовка сведений о наружных сетях инженерно-технического обеспечения, о перечне инженерно-технических мероприятий
- Подготовка технологических решений
- Обследование строительных конструкций зданий и сооружений
- Организация подготовки проектной документации, привлекаемым застройщиком или заказчиком на основании договора юридическим лицом или индивидуальным предпринимателем (генеральным проектировщиком)

455000, Челябинская обл., г Магнитогорск,
пр. Ленина,38, ауд. 6308, +7 (3519) 29-85-23, 29-84-77

