

АНОТАЦІЯ

Шевченко О.В. Оцінка напружено-деформованого стану сталезалізобетонних колон підсилених клейовим з'єднанням. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія. – Національний авіаційний університет, Київ, 2021.

Дисертаційну роботу присвячено теоретичним та експериментальним дослідженням сталезалізобетонних колон підсилених клейовим з'єднанням.

Виконаний аналіз літературних джерел дозволяє зробити висновок про актуальність питання розрахунку та визначенню напружено-деформованого стану таких конструкцій та їх використання при будівництві та реконструкції споруд.

Дослідженнями різних аспектів цієї проблеми займалися як вітчизняні, так і зарубіжні вчені. Тут слід відмітити Стороженка Л.І., Семка О.В., Єрмоленка Д.А., Лапенка О.І., Білокурова П.С. Шагіна О.Л., Akimitsu Kurita, Fraquiaso M., LiC.Q., Mursi M. та інших.

Тому створення, дослідження несучої здатності й напружено-деформованого стану сталезалізобетонних конструкцій із зовнішнім армуванням підсилених клейовим з'єднанням і розроблення методів їх розрахунку є актуальним.

У вступі показано загальну характеристику роботи, наведено актуальність, зв'язок з науковими темами, сформульовано мету і задачі досліджень, описано наукову новизну та практичну значимість результатів виконаного дослідження.

У першому розділі виконано огляд наукової літератури про сталезалізобетонні конструкції, які застосовуються в будівництві і реконструкції будівель та споруд. Досліджено властивості та можливості застосування клеїв для підсилення будівельних конструкцій. Проведено аналіз основних положень протипожежного проектування та можливість їх

застосування для сталезалізобетонних конструкцій. Висвітлено механічні та деформаційні властивості матеріалів, а також методика розрахунків вогнестійкості таких конструкцій згідно ДСТУ-Н Б EN1991-1-2 в залежності від вибраної марки сталі та класу бетону. Розглянуто особливості сумісної роботи сталі й бетону в сталезалізобетонних конструкціях. Зроблено аналіз існуючих методик розрахунку сталезалізобетонних колон, що підсилюються під час експлуатації.

У другому розділі було реалізовано алгоритм розрахунку сталезалізобетонних колон за допомогою програмного комплексу ЛПРА-САПР. Було виконано скінченно-елементне моделювання роботи сталезалізобетонної колони з урахуванням її підсилення за допомогою клею з метою перевірки і уточнення результатів з урахуванням фізичної нелінійності, повзучості бетону і перерозподілу зусиль по контакту сталь-клей-бетон. Ефективність такого з'єднання з часом не знижується і буде залежати від раціонального складу бетону і клею при якому мінімізуються деформації повзучості і оптимальних конструктивних параметрів.

У третьому розділі дані про експериментальні дослідження сталезалізобетонних конструкцій підсиленних клейовим з'єднанням. При складанні програми експерименту враховувалось, що несуча здатність і напружено-деформований стан елемента залежать від конструктивного вирішення, ексцентриситету прикладення навантаження і фізико-механічних властивостей вихідних матеріалів. Було поставлено завдання експериментально визначити міцність та особливості роботи під навантаженням елементів зі стрічковим армуванням.

Дослідні зразки виконані в двох варіантах: варіант 1 – конструкція виготовлена монолітним способом з використанням зовнішньої листової арматури в якості незнімної опалубки із використанням клеїв; варіант 2 – зразки виготовлені з окремих лінійних сталезалізобетонних елементів з зовнішнім листовим армуванням, з'єднаних зварними швами.

Процес виготовлення комплексних сталезалізобетонних конструкцій складався з двох частин: виготовлення каркасів та виготовлення зразків.

Для виготовлення експериментальних зразків використовувався сталевий лист $t=4$ мм, $t=10$ мм, поперечна арматура класу $\text{Ø}6$ мм. Висота зразків 2200мм, ширина 500мм. Для визначення фізико-механічних властивостей бетонного заповнювача випробовувались стандартні бетонні куби 100x100x100 мм і призми 100x100x400мм, виготовлені із того ж бетону, що і дослідні зразки.

Зразки виготовлялись в умовах діючого заводу залізобетонних конструкцій. Бетонування сталезалізобетонних виробів відбувалося в цеху заводу.

В якості клейових сумішей використовується акриловий клей АСТ-Т.

Випробування зразків проводилось у віці 28 діб і більше на пресі ПММ-500. Завантаження ступінчасте (0,05 - 0,1) від N очікуваного. Навантаження прикладались через шарніри. Перед випробуванням зразки центрувались згідно заданої схеми. Витримка на кожній ступені складала 10 хв., необхідна для зняття відліків.

Поздовжні деформації вимірювались за допомогою електротензорезисторів, для тензометричних випробувань використовувався автоматичний вимірювач деформацій АІД-4. Крім того поздовжні деформації вимірювались за допомогою індикаторів годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм на базі 200 мм. Для заміру поздовжніх та поперечних деформацій були використані дротяні електротензорезистори з опором 100 Ом і базою 20 мм, які наклеювались на бетон та на металевий лист в середній частині зразків.

Вигини стиснутих рамних конструкцій при обох варіантах завантаження як в їх площині, так і з площини, практично не проявлялися. Дослідні конструкції під час випробування не втрачали загальної стійкості, тому що їх несуча здатність досягалася від місцевого руйнування, а діючі на цей момент зовнішні зусилля не досягали критичних значень.

Порівнюючи дослідні зразки з використанням клейового з'єднання сталеві поверхні з бетоном та без нього можна говорити про значне зменшення деформативності конструкцій, в яких використовувалося клейове з'єднання, тобто відносні деформації в залежності від навантаження зменшувалися приблизно на 25% при тому, що на несучу здатність це ніяким чином не вплинуло.

Аналізуючи характер руйнування дослідних стиснутих зразків – відшарування листового армування від бетонного осердя та втрата місцевої стійкості листового армування, можна рекомендувати при подальшому проектуванні та дослідженні підсилювати вузли конструкції внутрішнім стержневим армуванням чи зовнішніми накладками, а також застосуванням акрилового клею.

У четвертому розділі роботи представлена оцінка напружено-деформованого стану стиснутих сталі залізобетонних елементів підсилених клейовим з'єднанням.

Методика визначення напружено-деформованого стану сталібетонних елементів із листовим армуванням при осьовому стисненні побудована на експериментальних та чисельних дослідженнях стиснутих зразків. За результатами цих дослідів одержано залежності розвитку поздовжніх і поперечних деформацій поперечного перерізу від навантаження. За замірними деформаціями та відповідними зусиллями визначаються напруження в бетоні, листовому армуванні й арматурних стержнях. При цьому припускаємо, що бетон і метал працюють сумісно до моменту досягнення зразком граничного стану за міцністю. Таким чином, вважаємо, що метал та бетон надійно "спаяні" і через цю межу відбувається вплив однієї складової поперечного перерізу на інші.

У випадку, коли залежність деформацій від навантаження отримує криволінійний характер у наслідок розвитку пружно-пластичних еформацій, напруження визначаються з використанням теорії малих пружно-пластичних деформацій. Ця теорія застосовується при простому завантаженні, коли всі

складові тензора деформацій змінюються пропорційно одному параметру, що мало місце при проведенні експериментальних досліджень сталобетонних елементів із листовим армуванням. При подібному характері завантаження знаходить підтвердження закон узагальнених кривих. У цьому випадку залежності між окремими компонентами напружень та деформацій за формою аналогічні пружній стадії, але із заміною постійного модуля пружності E на змінний модуль деформації E' . Метод розрахунку за граничними станами найточніше відображає дійсну картину деформування елементів, але є найбільш складним у використанні. Він допускає роботу стиснутих елементів в пружно-пластичній стадії до моменту досягнення граничних деформацій. Згідно цього методу визначається схема деформування геометричної осі елементів під дією навантаження з урахуванням фізико-механічних характеристик матеріалів.

Результати дисертаційної роботи впроваджено в практику проектування будівництва, а також у навчальному процесі.

Ключові слова: напружено-деформований стан, сталезалізобетонна колона, підсилення, клей, довговічність, скінченно-елементне моделювання.

ABSTRACT

Shevchenko O.V. Estimation of the stress-strain state of steel reinforced concrete columns strengthened with an adhesive joint. – As a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy, specialty 192 – Construction and Civil Engineering. – National Aviation University, Kyiv, 2021.

The dissertation is devoted to theoretical and experimental research of steel reinforced concrete columns reinforced with adhesive joints.

The performed analysis of literature sources allows us to draw a conclusion about the relevance of the calculation and determination of the stress-strain state of such structures and their use in the construction and reconstruction of buildings.

Both domestic and foreign scientists have studied various aspects of this problem. It should be noted Storozhenko L.I., Semka O.V., Ermolenko D.A.,

Lapenko O.I., Bilokurova P.S., Shagina O.L., Akimitsu Kurita, Fraquiacomo M., Li C.Q., Mursi M. and others.

Therefore, the creation, research of bearing capacity and stress-strain state of steel reinforced concrete structures with external reinforcement which reinforced with adhesive joints and the development of methods for their calculation is relevant.

The introduction shows the general characteristics of the work, the relevance, connection with scientific topics, formulates the purpose and objectives of research, describes the scientific novelty and practical significance of the results of the research.

The first chapter reviews the scientific literature on steel reinforced concrete structures used in the construction and reconstruction of buildings and structures. The properties and possibilities of application of glues for strengthening of building constructions were investigated. The analysis of the main provisions of fire design and the possibility of their application for steel reinforced concrete structures. The mechanical and deformation strain properties of materials, as well as the method of calculation of fire resistance of such structures according to DSTU-N B EN 1991-1-2 depending on the selected steel grade and concrete class were highlighted. Features of joint work of steel and concrete in steel reinforced concrete structures are considered. The analysis of the existing methods of calculation of the steel reinforced concrete columns which are strengthened during operation was provided.

In the second chapter, the algorithm for calculating steel reinforced concrete columns using the software package LIRA-SAPR was implemented. A finite element modeling of the steel reinforced concrete column was performed taking into account its strengthening with the help of glue in order to check and refine the results taking into account the physical nonlinearity, creep of concrete and redistribution of forces on the steel-glue-concrete contact. The effectiveness of such a connection does not decrease over time and will depend on the rational

composition of concrete and adhesive, which minimizes creep deformation and optimal design parameters.

In the third chapter, data on experimental studies of steel reinforced concrete structures strengthened with an adhesive joint. When compiling the experimental program, it was taken into account that the bearing capacity and the stress-strain state of the element depend on the design solution, the eccentricity of the load application and the physical and mechanical properties of the source materials. The task was to experimentally determine the strength and features of work under load of elements with tape reinforcement.

The prototypes are made in two options: 1st option - the structure is made in a monolithic way using external sheet fittings as a fixed formwork using adhesives; 2nd option - samples are made of separate linear reinforced concrete elements with external sheet reinforcement, connected by welds.

The process of manufacturing complex steel reinforced concrete structures consisted of two parts: the manufacture of frames and the manufacture of samples.

For the manufacture of experimental samples used steel plate $t = 4$ mm, $t = 10$ mm, transverse reinforcement class $\text{Ø}6$ mm. Height of samples is 2200 mm, width is 500 mm. To determine the physical and mechanical properties of the concrete aggregate, standard concrete cubes 100x100x100 mm and prisms 100x100x400 mm, made of the same concrete as the test specimens, were tested.

The samples were made in the conditions of the operating plant of reinforced concrete structures. Concreting of steel reinforced concrete products took place in the plant shop.

Acrylic glue AST-T is used as adhesive mixtures.

Testing of samples was carried out at the age of 28 days and more on the press PMM-500. The load is stepped (0.05 - 0.1) from the N expected. The load was applied through hinges. Before testing, the samples were centered according to the specified scheme. Exposure at each stage was 10 minutes required to take samples.

Longitudinal deformations were measured using electrotensor resistors, for tensometric tests an automatic deformation meter AID-4 was used. In addition, longitudinal deformations were measured using clock-type indicators with a division price of 0.01 mm based on 200 mm. To measure longitudinal and transverse deformations, wire electrotensor resistors with a resistance of 100 Ohm and a base of 20 mm were used, which were glued to the concrete and the metal sheet in the middle of the samples.

Bends of the compressed frame designs at both variants of loading both in their plane, and from the plane, were practically not shown. The test specimens did not lose their overall stability during the test, because their load-bearing capacity was achieved from local disrupting, and the external forces acting at that time did not reach critical values.

Comparing the test specimens with the use of adhesive joints of steel surface with concrete and without it, we can talk about a significant reduction in the deformability of structures in which the adhesive joint was used, ie relative deformations depending on the load decreased by approximately 25%. ability is not affected in any way.

Analyzing the nature of the disrupting of experimental compressed specimens - peeling of plate reinforcement from the concrete core and loss of local stability of sheet reinforcement, it can be recommended in further design and research to strengthen structural units with internal rod reinforcement or external overlays, as well as acrylic glue.

In the fourth chapter of the work the estimation of the stress-strain state of compressed steel reinforced concrete elements strengthened with an adhesive joint is presented.

The method of determining the stress-strain state of steel reinforced concrete elements with sheet reinforcement during axial compression is based on experimental studies of compressed samples. According to the results of these experiments, the dependences of the development of longitudinal and transverse deformations of the cross section on the load are obtained. The stresses in concrete,

plate reinforcement and reinforcing bars are determined by the measured deformations and the corresponding forces. We assume that concrete and metal work together until the sample reaches the ultimate strength. Thus, we believe that steel and concrete are securely "soldered" and through this boundary is the impact of one component of the cross section on others.

In the case when the dependence of deformations on the load becomes curvilinear due to the development of elastic-plastic deformations, stresses are determined using the theory of small elastic-plastic deformations. This theory is applied at simple loading when all components of a strain tensor change in proportion to one parameter that took place at carrying out experimental researches of steel reinforced concrete elements with sheet reinforcement. At similar character of loading the law of the generalized curves finds confirmation. In this case, the dependences between the individual components of stresses and strains are similar in shape to the elastic stage, but with the replacement of the constant modulus of elasticity E by a variable modulus of strain E' . The method of calculation of boundary conditions most accurately reflects the true picture of the deformation of the elements, but is the most difficult to use. It allows the operation of compressed elements in the elastic-plastic stage until the limit deformations are reached. According to this method, the scheme of deformation of the geometric axis of the elements under the action of load is determined taking into account the physical and mechanical characteristics of the materials.

The results of the dissertation work are implemented in the practice of construction design, as well as in the educational process.

Keywords: stress-strain state, steel reinforced concrete column, strengthening, glue, durability, finite element modeling.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Shevchenko O.V. Statical work of steel reinforced concrete elements of structures at strengthening / O. Lapenko, O. Shevchenko, N. Masud // Проблеми

розвитку міського середовища: Наук.-техн. збірник / – К.: НАУ, 2018. – Вип. 2(21). – С.72-82.

2. Шевченко О.В. Сучасні методи підсилення сталі залізобетонних колон при реконструкції будівель та споруд/ О.В. Шевченко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Рівне: Волинські береги. – 2018. - Вип. 36. – С. 436-442.

3. Шевченко О.В. Конструкції сталі залізобетонних колон із забезпеченням сумісної роботи бетону і сталі за допомогою склеювання / О.В. Шевченко // Вісник Інженерної академії України. - 2019. - Вип. 1. - С. 154-159.

4. Шевченко О.В. Сучасні клейові суміші на основі епоксидних матеріалів, що використовуються при підсиленні конструкцій елементів споруд / О.І. Лапенко, П.С. Білокуров, О.В. Шевченко // Проблеми розвитку міського середовища: зб. наук. праць. - 2019. - Вип. 2. - С. 59-68.

Публікації у наукових періодичних виданнях інших держав та виданнях України, які включено до міжнародних наукометричних баз:

5. Шевченко О.В. Теоретично-експериментальне дослідження сталезалізобетонних балок, підсилені сталевими плитами/ О. В. Шевченко // Будівельні конструкції. Теорія і практика: зб. наук. праць. – Київ: КНУБА, 2020. – Вип. 7. – С. 76-84. (Index Copernicus).

6. Shevchenko O.V. Calculation of compressed and bended steel reinforced concrete constructions in there tained formwork / О.І. Lapenko, D.S. Skrebnieva, O.V. Shevchenko, N.N. Masud // Збірник наукових праць УкрДУЗТ. – Харків: УкрДУЗТ, 2017. – Вип. 169. - С. 142-149. (Index Copernicus).

7. Shevchenko O.V. Compression work of steel reinforced concrete columns /Lapenko O.I., Shevchenko O.V., Masud N.N.// International Journal of Engineering & Technology; Vol 7, No 3.2 (2018). – P. 229-231. (Scopus).

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

8. Шевченко О.В. Вплив кальцій хлориду на плівко утворюючі матеріали /О. В. Шевченко, О.В. Ткаченко, І.Ю. Васильєв //ПОЛІТ. Сучасні

проблеми науки : XI міжнародна науково-практична конференція молодих учених і студентів, 6-7 квітня 2011 р: тези доп. – К., 2011. – С. 46.

9. Шевченко О. В. Особливості отримання композиційних матеріалів на базі алюмінієвих сплавів /О. В. Шевченко, С.Ю. Каленюк С.Ю. //ПОЛІТ. Сучасні проблеми науки : XI міжнародна науково-практична конференція молодих учених і студентів, 6-7 квітня 2011 р: тези доп. – К., 2011. – С. 35.

10. Шевченко О. В. Сучасні системи гідроізоляції бетонних та залізобетонних конструкцій /О. В. Шевченко //ПОЛІТ. Сучасні проблеми науки : XIV міжнародна науково-практична конференція молодих учених і студентів, м. Київ, 2-3 квітня 2014 р: тези доп. – К., 2014. – С. 22.

11. Шевченко О. В. Зігнуті та стиснуті сталі залізобетонні конструкції для застосування на об'єктах аеропортів /О.І. Лапенко, О. В. Шевченко, В.В. Гораль, К.Е. Тяжлова//АВІА – 2015: XII міжнародна науково-технічна конференція, 28-29 квітня 2015 р.: тези доп.– К., 2015.– С. 22.41-22.44.

12. Шевченко О. В. Конструктивні особливості сучасних енергозберігаючих систем /О. В. Шевченко, С.Ю. А.І. Куштим // ПОЛІТ. Сучасні проблеми науки : XVI міжнародна науково-практична конференція молодих учених і студентів, м. Київ, 6-8 квітня 2016 р: тези доп. – К., 2016. – С. 28.

13. Шевченко О.В. Експериментальні дослідження напружено-деформованого стану елементів сталі залізобетонних конструкцій /О. В. Шевченко, А.І. Глушаниця, І.Л. Машков //АВІА – 2017: XIII міжнародна науково-технічна конференція: тези доп. – К., 2017. – С. 23.34-23.36.

14. Шевченко О.В. Дослідження напружено-деформованого стану з'єднання метал-клей-бетон при підсиленні залізобетонних балок / О.І. Лапенко, П. С. Білокуров, О. В. Шевченко // International scientific and practical conference «Science, engineering and technology: global and current trends» - 2019. – P. 13-20.