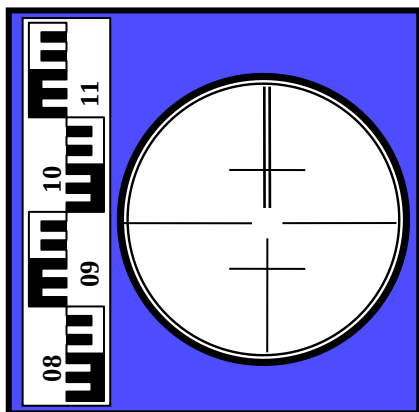




ГЕОДЕЗІЯ

УДК 528.48

Б. Д. Бачишин, канд. техн. наук, доцент,

Д. В. Ярмолін, аспірант,

кафедра геодезії та картографії,

Національний університет водного господарства

та природокористування

ОБҐРУНТУВАННЯ ГРАНИЧНОГО ВІДХИЛЕННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОЛОН ВІД ВЕРТИКАЛІ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ЇХ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ

Визначено граничні відхилення під час спорудження залізобетонних колон на основі методу, який враховує напружено-деформований стан конструкції, відповідно до гаусового показника надійності колони. Отримані результати порівняно з даними, наведеними в будівельних нормативних документах для цих конструкцій. Встановлено близькість отриманих граничних похибок за різними методами, що свідчить про можливість і правомірність застосування згаданого методу до інших будівельних конструкцій, зокрема унікальних. Виявлено диференційовану картину розподілу значень граничних відхилень для колон однакової довжини. Це пояснюється тим, що в розглянутому методі враховано опір та зусилля конструкції, їх варіації та варіації аргументів опору та зусилля.

Ключові слова: *граничне відхилення, напружено-деформований стан, залізобетонна колона, гаусовий показник надійності.*

Вступ. Залізобетонні колонни – один із найбільш масових і відповідальних конструктивних елементів у сучасному будівництві. Для того щоби оперувати оптимальними значеннями похибок геодезичних робіт, які б забезпечували надійне функціонування колон і будівельного об'єкта загалом за мінімальних затрат на геодезичні роботи, необхідно врахувати вплив похибок геодезичного забезпечення на зміну зусиль в конструкції та на підставі результатів аналізу цих змін встановити точність такого забезпечення.

Аналіз досліджень і публікацій. У нормативних будівельних документах регламентовано допустимі відхилення під час спорудження (монтажу) залізобетонних колон [1] залежно від їх висоти. Розміри, площа поперечного

перерізу колон, площа арматури, а тим більше зусилля, які виникають в колоні, не відображено у цих документах. Останніми роками популярним напрямом наукових досліджень є врахування впливу похибок на всіх технологічних етапах спорудження будівельних об'єктів на зміну зусиль в конструкціях [2-4]. Але ці дослідження стосуються унікальних будівельних споруд: будівельних оболонок, вантових покриттів, баштових споруд, мостових переходів, фундаментів газокompресорних станцій, щодо яких допустимі відхилення елементів в нормативних документах не зазначені.

Нам не траплялися публікації, в яких були б спроби визначити допустимі похибки геодезичних робіт для масових будівельних конструкцій – залізобетонних колон на підставі аналізу їх напружено-деформованого стану.

Постановка завдання. Потрібно визначити допустимі відхилення під час спорудження залізобетонних колон на підставі аналізу напружено-деформованого стану конструкцій, виходячи з гаусового показника надійності колони, та порівняти отримані результати з даними, наведеними в будівельних нормативних документах для цих конструкцій.

Основна частина. Аналізуючи похибки технологічного ланцюжка під час монтажу залізобетонних колон, можна зауважити, що не всі вони впливають на зміну зусиль в конструкції. Зміщення низу колони в плані відносно осей практично не впливають на її напружено-деформований стан, натомість впливають похибки геометричних розмірів поперечного перерізу в процесі виготовлення колони та похибки площі поперечного перерізу під час виготовлення і деформації арматури, а також похибки встановлення колони у вертикальне положення.

Ці похибки призводять до двох негативних ситуацій з погляду роботи колони як пружного тіла:

- зменшуються робочі розміри поперечного перерізу колони, отже, і висота стисненої зони бетону і, як наслідок, зменшується опір перерізу;
- з'являється додатковий випадковий ексцентриситет прикладання зусилля, що веде до збільшення розрахункового зусилля.

Застосуємо для залізобетонних колон методику обґрунтування точності геодезичних робіт, розроблену для оболонок [4]. Призначення допусків на монтаж здійснюють за умови, що зусилля в колоні не повинно перевищити опору з початковою надійністю $H(0)$. Цій умові відповідає квадратне рівняння

$$m_R^2 - 2r_{RS}m_Rm_S + m_S^2 - \left(\frac{R-S}{\beta_g} \right)^2 = 0, \quad (1)$$

де R – опір; S – зусилля; β_g – гаусовий показник надійності, відповідний імовірнісному показнику $H(0)$; m_R, m_S – відповідно середні квадратичні похибки опору та зусилля; r_{RS} – коефіцієнт кореляції похибок опору та зусилля.

Розрахунок колон виконують як позакентрово стиснутих елементів. Опір та зусилля для таких перерізів визначають за формулами:

$$\left. \begin{aligned} S &= S_{cm} \cdot e \\ R &= R_b \cdot b \cdot x \cdot (h_0 - 0.5x) + R_s \cdot A'_s \cdot (h_0 - a') \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

де S_{cm} – стискаюче зусилля; e – ексцентриситет прикладання зусилля; R_b, R_s – нормативна призмova міцність бетону й арматури відповідно; b – номінальна ширина перерізу колони; x – висота стисненої зони бетону; h_0 – робоча висота перерізу ($h_0 = h - a$); h – номінальна висота перерізу; a – віддаль від рівнодійної зусиль в розтягнутій арматурі до найближчої грані перерізу (захисний шар бетону); A'_s – номінальна площа перерізу арматури в стисненій зоні; a' – віддаль від рівнодійної зусиль в стиснутій арматурі до найближчої грані перерізу (захисний шар бетону).

Припустивши, що аргументи функцій опору R та зусилля S некорельовані, запишемо середні квадратичні похибки опору на зусилля, лінеаризуючи формули (2)

$$m_S^2 = e^2 m_{cm}^2 + S_{cm}^2 m_e^2; \quad (3)$$

$$\begin{aligned} m_R^2 &= b^2 x^2 (h_0 - 0.5x)^2 m_{R_b}^2 + R_b^2 x^2 (h_0 - 0.5x)^2 m_b^2 + R_b^2 b^2 (h_0 - x)^2 m_x^2 + \\ &+ (R_b \cdot b \cdot x + R_s \cdot A'_s)^2 m_{h_0}^2 + (A'_s (h_0 - a'))^2 m_{R_s}^2 + (R_s (h_0 - a'))^2 m_{A'_s}^2 + \\ &+ (R_s A_s)^2 m_{a'}^2, \end{aligned} \quad (4)$$

де m_{R_b} – середня квадратична похибка визначення призмовой міцності бетону; m_b – середня квадратична похибка ширини перерізу; m_x – середня квадратична похибка визначення стисненої зони бетону; m_{h_0} – середня квадратична похибка визначення робочої висоти перерізу; m_{R_s} – середня квадратична похибка опору сталі; $m_{A'_s}$ – середня квадратична похибка площі перерізу арматури в стисненій зоні; $m_{a'}$ – середня квадратична похибка товщини захисного шару бетону; m_{cm} – середня квадратична похибка стискаючого зусилля; m_e – середня квадратична похибка ексцентриситету.

У розгляданому випадку середні квадратичні похибки опору та зусилля є корельованими, тому що похибки непертикальності колони впливають і на похибку опору, і на похибку зусилля. Вважатимемо, що $r_{RS} = 0,5$, і визначимо з рівняння (1) m_R , вибравши менший з двох коренів квадратного рівняння (1):

$$m_R = \frac{m_S - \sqrt{m_S^2 - 4 \left(\frac{R - S}{\beta_g} \right)^2}}{2}. \quad (5)$$

Вплив похибок технологічного ланцюжка монтажу на похибку опору колони (4) буде проявлятися через похибки m_b, m_{h_0} й автоматично через m_x . Тому вважатимемо, що

$$m_{h_0} = m_x = m_b = m_m. \quad (6)$$

Згрупуємо доданки у формулі (4) з похибкою монтажу m_m і визначимо її:

$$m_m = \sqrt{\frac{m_R^2 - b^2 x^2 (h_0 - 0.5x)^2 m_{R_b}^2 - (A'_S (h_0 - a'))^2 m_{R_S}^2 - (R_S (h_0 - a'))^2 m_{A_S'}^2 - (R_S A_S)^2 m_{a'}^2}{R_b^2 x^2 (h_0 - 0.5x)^2 + R_b^2 b^2 (h_0 - x)^2 + (R_b \cdot b \cdot x + R_S \cdot A'_S)^2}}. \quad (7)$$

Розрахунок за формулами (3), (5), (7) виконано двома наближеннями. В першому наближенні у формулі (3) брали $m_e = 0$, обчислювали m_S , потім m_R і насамкінець m_m . У другому наближенні вважали, що похибка ексцентриситету прикладання зусилля дорівнює похибці монтажу, обчислений у першому наближенні:

$$m_e = m_m. \quad (8)$$

Похибка m_m є результатом дії кількох чинників:

- температурних деформацій на початковому етапі експлуатації – $m_{ТД}$;
- похибок, зумовлених усадкою і повзучістю бетону в стиках колони з верхнім і нижнім перекриттями – $m_{УПБ}$,
- похибок, спричинених статичною роботою колони на початковому етапі експлуатації – отримання навантаження від перекриття, колон верхніх поверхів і перекриттів наступних поверхів – $m_{СТР}$,
- похибок унаслідок геодезичних розмічувальних, монтажних робіт і похибок виготовлення і деформації конструкцій – m_G .

$$m_m^2 = m_{ТД}^2 + m_{УПБ}^2 + m_{СТР}^2 + m_G^2. \quad (9)$$

Поставимо вимогу мізерності впливу складової m_G на загальну похибку m_m :

$$m_G = \frac{m_m}{\sqrt{10}}. \quad (10)$$

Для переходу від середньої квадратичної похибки до граничного відхилення в Україні використовують два коефіцієнти – 2 і 3, тоді як в деяких європейських країнах цей коефіцієнт один і дорівнює 2,5. Застосування одного коефіцієнта забезпечує однозначну залежність між згаданими похибками. Пропонуємо в цій роботі використати єдиний коефіцієнт – 2,5.

$$\delta_G = \frac{2.5 m_m}{\sqrt{10}}. \quad (11)$$

Розрахунок за цією методикою виконано для 10 типів реальних колон. Для розрахунку використано усереднені показники похибок m_{R_b} , m_{R_S} , $m_{A'_S}$, $m_{a'}$, отриманих із статистичних досліджень. У роботі [5] $m_{R_b} / R_b = 9 \div 10\%$, $m_{R_S} / R_S = 8 \div 9\%$ для збірних конструкцій; в роботі іншого автора [6] наведено схожі дані: $m_{R_b} / R_b = 6 \div 25\%$, $m_{R_S} / R_S = 5 \div 14\%$. В [7] $m_{R_b} / R_b = 12\%$ для монолітних конструкцій з бетону класу C20/25 та $m_{R_b} / R_b = 8\%$ для бетону класу В60.

Використано такі середні значення:

$$\left. \begin{aligned} m_{R_b} &= 0.125R_b \\ m_{R_s} &= 0.09R_s \end{aligned} \right\}. \quad (12)$$

Площу арматури витримують точніше (відносне відхилення дорівнює 2,5% [5] та 2% [6]), ніж товщини захисного шару бетону, коливання якої може становити 6–8% [5; 6]. В дисертації [7] наведено середнє квадратичне відхилення товщини захисного шару бетону для монолітних колон – 20,9 мм.

У різних джерелах трапляється інформація про те, що формули, наведені в державних стандартах ДЕСТ для розрахунку перерізів будівельних конструкцій, забезпечують визначення зусиль з похибкою 5%, для розрахунку нами взято $m_{cm} = 0,05 \cdot S_{cm}$.

У табл. 1 наведено вихідні дані для розрахунків – реальні значення параметрів для різних колон, а в табл. 2 – результати. В розрахунках взято: висота стисненої зони бетону $x = 0.93 \cdot b$; випадковий ексцентриситет $e = h/30$; початкова надійність для колон $H(0) = 0.999$ [8], що відповідає $\beta_g = 3.25$. Усі колони виготовлено з бетону марки С20/25 ($R_b = 18.5$ МПа) й арматури класу А400С ($R_s = 400$ МПа). Стискаючі зусилля S_{cm} розраховані програмним забезпеченням «Мономах».

Для порівняння отриманих результатів ми використали значення граничних відхилень рисок на колоні для багатоповерхових будинків з мітками осей в нижньому перерізі ± 8 мм та у верхньому перерізі ± 12 мм за довжини колони до 4 м і ± 15 мм за довжини колони від 4 до 8 м [1]. У несприятливому випадку граничне відхилення від вертикалі згідно з нормативним документом [1] становитиме відповідно ± 20 мм для колон довжиною до 4 м та ± 23 мм за довжини від 4 до 8 м.

Таблиця 1

Вихідні дані для розрахунків

Об'єкт	b , м	h , м	$a = a'$, см	S_{cm} , Н	A_s , кв.см.	L , м
Нетішин 1	0,5	0,5	3,75	4797413	78,54	2,28
Нетішин 5	0,4	0,4	4,75	3192065	25,13	3,10
Нетішин 9	0,4	0,4	4,75	589380	8,04	3,10
Молокозавод 1	0,4	0,4	4,75	1057157	8,04	4,60
Молокозавод 2	0,4	0,4	4,75	1775984	8,04	4,60
Набережний квартал	0,4	0,4	4,75	2333983	10,18	4,30
Адміністративний центр	0,3	0,6	4,00	3011622	19,23	2,40
Сковороди 1	0,4	0,4	5,50	702156	25,12	4,20
Сковороди 3	0,4	0,4	5,50	798261	25,12	4,20
Київська 1	0,4	0,4	5,50	1713222	8,04	3,10

Таблиця 2

Результати розрахунків

Об'єкт	R, Нм	S, Нм	m_m , мм 1-е наближен- ня	$\delta_r = 2.5m_r$, мм	$\delta_r = 2m_r$, мм	δ_r , мм з ДБН
Нетішин 1	2323788	79957	86,1	34,5	27,6	20
Нетішин 5	883177	42561	57,2	15,6	12,5	20
Нетішин 9	556410	7858	48,2	34	27,2	20
Молокозавод 1	556410	14095	47,5	29,6	23,7	23
Молокозавод 2	556410	23680	46,4	21,4	17,1	23
Набережний квартал	582459	31120	47,0	14,6	11,7	23
Адміністративний центр	1467523	30116	103,8	29,8	23,8	23
Сковороди 1	729087	9362	54,0	38,2	30,6	23
Сковороди 3	729087	10643	53,9	37,4	29,9	23
Київська 1	530959	22843	44,5	21,1	16,9	20

Висновок. Отримані результати свідчать про таке:

1. Граничні відхилення від вертикалі для залізобетонних колон, отримані на основі методу, який враховує напружено-деформований стан конструкції, є співрозмірними, близькими до граничних відхилень, наведених в нормативних документах. Це свідчить про можливість і правомірність застосування згаданого методу обґрунтування точності геодезичного забезпечення для інших будівельних конструкцій, зокрема унікальних.

2. Як слід було сподіватися, ми отримали диференційовані значення граничних відхилень для колон однакової довжини, тому що у застосовуваному нами методі враховано опір і зусилля конструкції, а також їх варіації і варіації аргументів опору та зусилля. Отримані похибки виявилися як меншими, так і більшими за значення, наведені в нормативних документах.

3. Застосований метод розрахунку граничних відхилень є більш повним й універсальним, адже враховує, крім того, імовірнісний показник надійності всієї конструкції.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Несущие и ограждающие конструкции: СНиП 3.03.01-87 – М. : Стройиздат, 1991. – 192 с.
2. Бачишин Б. Д. Обґрунтування точності геодезичного забезпечення будівельних конструкцій на основі аналізу їх роботи як пружних тіл. Стан та перспективи / Б. Д. Бачишин // Інженерна геодезія. – 2014. – Вип.61. – С. 6–12.
3. Чибіряков В. К. Визначення точності геодезичних робіт при будівництві аркових мостових опор / В. К. Чибіряков, В. С. Старовєров, О. В. Адаменко // Інженерна геодезія. – 2010. – Вип.55. – С. 195–203.

4. Бачишин Б. Д. Допустимі похибки геодезичного забезпечення спорудження оболонок/ Б. Д. Бачишин // Інженерна геодезія. –2002.– Вип.46. – С. 8–14.
5. Судаков В. В. Контроль качества и надежности железобетонных конструкций / В. В. Судаков. – Л. : Стройиздат, 1980. – 168 с.
6. Кудзис А. П. Оценка надежности железобетонных конструкций / А.П. Кудзис. – Вильнюс: Москлас, 1985. – 156 с.
7. Кузеванов Д. В. Надежность внецентренно сжатых железобетонных элементов при расчете по прочности нормальных сечений : дис. ... канд. техн. наук / Д. В. Кузеванов. – М., 2012. – 187 с.
8. Пічугін С.Ф. Розрахунок надійності будівельних конструкцій: монографія/ С.Ф. Пічугін. – Полтава: АСМІ, 2016. – 520 с.

REFERENCES

1. Nesushchie i ohrazhdaiushchie konstruksiji [Supporting and protecting structures]. (1987). *SNIP 3.03.01-87 from 1st June 1987* - Moscow: TSTIP USSR State Construction Committee [in Russian].
2. Bachyshyn, B.D. (2014). Obgruntuvannia tochnosti heodezychnoho zabezpechennia budivelnnykh konstruksii na osnovi analizu yikh roboty yak pruzhnykh til. Stan ta perspektyvy [Justification of accuracy of geodetic support of building structures based on an analysis of their work as elastic bodies: status and prospects]. *Inzhenerna heodeziia – Engineering geodesy*, 61, 6–12 [in Ukrainian].
3. Chibirjakov, V. K. & Staroverov, V. S. & Adamenko, O.B. (2010). Vyznachennja tochnosti heodezychnykh robot pry budivnytvi arcovykh mostovykh opor [Determining the accuracy of geodetic work at the building of arch bridge constructions]. *Inzhenerna geodeziia – Engineering geodesy*, 55, 195–203 [in Ukrainian].
4. Bachyshyn, B. D. (2002). Dopustymi pokhybky heodezychnoho zabezpechennja sporudzhennja obolonok [Permissible errors of geodetic support the building of shells]. *Inzhenerna geodeziia – Engineering geodesy*, 46, 8–14 [in Ukrainian].
5. Sudakov, V. V. (1980). *Kontrol kachestva i nadezhnosti zhelezobetonnykh konstruksij* [Control of quality and reliability of reinforced concrete structures]. Leningrad: Strojizdat [in Russian].
6. Kudzis, A. P. (1985). *Otsenka nadezhnosti zhelezobetonnykh konstruksij* [Assessment of the reliability of reinforced concrete structures]. Vilnius: Mosklas [in Russian].
7. Kuzevanov, D. V. (2012). Nadezhnost vnetsentrenno szhatykh zhelezobetonnykh elementov pri raschete po prochnosti normalnykh sechenij [Reliability eccentrically compressed concrete elements in calculating the strength of normal section]. *Candidate's thesis*. Moscow [in Russian].
8. Pichuhin, S.F. (2016) *Rozrakhunok nadiinosti budivelnnykh konstruksii* [Reliability calculation of building structures]. Poltava: TOV «ACMI» [in Ukrainian].

Б. Д. Бачишин, Д. В. Ярмолин**ОБОСНОВАНИЕ ПРЕДЕЛЬНОГО ОТКЛОНЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН ОТ ВЕРТИКАЛИ НА ОСНОВАНИИ АНАЛИЗА ИХ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ**

Определены предельные отклонения при сооружении железобетонных колонн на основании метода, который учитывает напряженно-деформированное состояние конструкции, исходя из гауссового показателя надежности колонны. Полученные результаты сравнены с данными, приведенными в строительных нормативных документах для этих конструкций. Установлено близость полученных предельных погрешностей различными методами, что свидетельствует о возможности и правомерности применения упомянутого метода для других строительных конструкций, в том числе уникальных. Выявлено дифференцированную картину распределения значений предельных отклонений для колонн одинаковой длины. Это объясняется тем, что данный метод учитывает сопротивление и усилия конструкции, их вариации и вариации аргументов сопротивления и усилия.

Ключевые слова: предельное отклонение, напряженно-деформированное состояние, железобетонная колонна, гауссов показатель надежности.

B. Bachyshyn, D. Yarmolin**JUSTIFICATION OF THE BOUNDARY DEVIATION OF REINFORCED CONCRETE COLUMNS FROM THE VERTICAL BASED ON THE ANALYSIS OF THEIR STRESS-STRAIN STATE**

The boundary deviations for the construction of reinforced concrete columns are determined on the basis of the method, which takes into account the stress-strain state of construction, based on the Gaussian reliability index of the column and the comparatively obtained results with the data contained in the building normative documents for these constructions were made. The proximity of the obtained permissible errors with different methods is established, which testifies to the possibility and lawfulness of the application of the mentioned method of justification of the accuracy of geodetic support for other building constructions, including unique ones. A differentiated picture of the values distribution of boundary deviations for equal length columns was found. This is explained by the fact that the considered method, in addition to the geometric parameters, takes into account the resistance and constructional forces, their variations and variations of the arguments of resistance and effort. The method used to calculate the limit deviations here is more complete and versatile, because it takes into account, moreover, the probabilistic reliability index of the entire design at the initial operation stage.

Keywords: boundary deviations, the stress-strain state, reinforced concrete column, Gauss reliability index.