

ANNOTATION

In accordance with the regulations of Belarus, Russia and Ukraine in the calculation of concrete elements in bending with twisting layout of the concreted compressed zone is proposed according with recomends of Soviet standards. A speciality of these standards is a replace of the rectangular diagrams of stresses in the compressed area of concrete on curved, corresponding to the actual state of intense cross-section. In previous works the author proposed method of calculating the above mentioned items in view of the longitudinal and three transverse reinforcement rods. In this paper the method for calculating the adjusted strength spatial sections of prestressed concrete elements of rectangular profile with a single reinforcement in the joint action of twisting and bending moments based on nonlinear deformation model calculation.

Keywords: bend with twisting, rectangular profile, single re-enforcement, deformation model

УДК 624.012.3/4:693.955

**Довженко О.О., к.т.н., доц., ПолтНТУ імені Юрія Кондратюка, м. Полтава
Погрібний В.В., к.т.н., с.н.с., ПолтНТУ імені Юрія Кондратюка, м. Полтава
Шостак І.В., асп., ПолтНТУ імені Юрія Кондратюка, м. Полтава**

**ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ
ТЕХНОЛОГІЇ ЗБІРНО-МОНОЛІТНОГО
КАРКАСУ В БАГАТОПОВЕРХОВОМУ
БУДІВНИЦТВІ УКРАЇНИ**

Обґрунтовано вибір каркасної збірно-монолітної конструктивної системи для широкого застосування в Україні. Розглянуті з'єднання несучих збірно-монолітних елементів каркасу з підвищеним опором зрізу. Розроблені пропозиції щодо розрахунку несучої здатності шпонкових стиків на основі варіаційного методу в теорії пластичності бетону. Достовірність методики розрахунку підтверджена експериментальними дослідженнями зразків із важкого бетону, керамзитобетону та фібробетону. Оцінена несуча здатність вузла з'єднання ригеля з колоною системи SAPET із врахуванням специфіки його конструктивного рішення.

Ключові слова: елементи каркасу, шпонкові з'єднання, несуча здатність, варіаційний метод, енергозберігаюча технологія.

Вступ. Загальновідомо, що ступінь розвитку будівельної галузі визначається рівнем енергетичних витрат на реалізацію будівельних об'єктів. Найбільш ефективний спосіб їх зниження – застосування виробів, виготовлених із використанням сучасних заводських технологій. При цьому менш енергоємною, а отже, більш економічною та прогресивною для багатоповерхових будівель є каркасна конструктивна система.

Постановка проблеми. У масовій забудові пріоритетним та стратегічно правильним вважається розвиток і вдосконалення каркасних систем із підвищеною надійністю та безпекою для

користувачів і зниженням матеріало-місткості та трудовитрат на їх будівництво. Представлені в рамно-в'язевому варіанті вони забезпечують можливість вільної трансформації внутрішнього простору на будь-якому етапі функціонування будівель, що обумовлює їх моральне довголіття. Вибір для широкого застосування в Україні найбільш ефективною енергозберігаючою конструктивною системою багатоповерхових будівель є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Поставлену задачу здатна розв'язати сучасна технологія збірно-монолітного каркасу (ЗМК) [1], який складається із звичайних і попередньо напружених залізобетонних елементів заводського виготовлення, таких як колони та ригелі, у якості елементів перекриття застосовуються багатопустотні плити чи плити незнімної опалубки. Просторова стійкість каркасу забезпечується жорсткістю вузлів сполучення несучих залізобетонних елементів і діафрагмами жорсткості. Бетонування з'єднань ригелів із плитами та заповнення бетоном швів між останніми створює суцільний диск перекриття. Специфічною вимогою до ЗМК є забезпечення міцності контактної стики збірних елементів й монолітного бетону, що потребує виконання розрахунку його за несучою здатністю. Варіанти облаштування такого стики можуть бути різними та залежать від виду поверхні збірних елементів (гладка, шорстка, шпонкова).

Отже суттєву роль у сумісній роботі залізобетонних конструкцій ЗМК відіграють з'єднання, для яких розрахунок на зсув є одним із визначальних. Найбільший опір дії зрізуючих сил чинять шпонкові з'єднання, котрі суттєво відрізняються для відомих конструктивних систем [2, 3] за характером і випадком руйнування, формами поперечного перерізу шпонки та шпонкового профілю, видом і класом бетону, наявністю та величиною обтиснення й армування, розташуванням арматури за висотою перерізу, наявністю шва та кількістю шпонок. Але незважаючи на широке розповсюдження шпонкових з'єднань у сучасних багатоповерхових

будівлях, у проектувальників та споживачів залишається обережне до них відношення [4], котре перешкоджає вдосконаленню конструктивних рішень. Це на нашу думку пов'язано із недоліками існуючих нормативних методик розрахунку шпонок, котрі суттєво занижують їх несучу здатність через неврахування цілого ряду факторів, які визначають міцність. Оцінювання несучої здатності шпонкових з'єднань необхідно виконувати на достатньо загальній теоретичній основі з урахуванням специфіки конструктивного рішення.

Метою роботи є обґрунтування вибору збірно-монолітної конструктивної системи, котра може бути запропонована до широкого застосування в Україні для розв'язання проблеми доступного житла, та розроблення пропозицій щодо розрахунку несучої здатності шпонкового з'єднання її елементів.

Викладення основного матеріалу. ЗМК САРЕТ [5] (рис. 1) уперше використаний у Франції і складається із:

- збірних залізобетонних колон перерізами 250×250, 300×300 та 400×400 мм. У місці примикання перекриття в тілі колони передбачений отвір для пропуску опорної робочої арматури ригелів, після замонолічування котрого утворюється жорсткий стик;
- збірно-монолітних залізобетонних ригелів зі збірними попередньо напруженими елементами перерізами 250×200, 250×300, 300×200 та 400×400 мм, армованими канатами Ø12 мм К1400. На ділянках ригелів біля опор передбачені штраби для встановлення арматурних в'язей у місцях сполучення ригелів із колонами, котрі потім заповнюють дрібнозернистим бетоном одночасно із отвором колони. Верхні грані збірних елементів ригелів мають оголені замкнуті хомути;
- збірно-монолітної плити перекриття, котра, в свою чергу, складається зі збірних залізобетонних попередньо напружених суцільних плит товщиною 60 мм, які слугують незнімною опалубкою для монолітної плити розрахункової товщини. Нерозрізаність диску перекриття забезпечується шляхом встановлення верхніх арматурних сіток у монолітній плиті над ригелями.



Рис. 1. Каркас САРЕТ у процесі зведення

До переваг системи САРЕТ можна віднести: підвищення якості залізобетонних несучих конструкцій за рахунок їх заводського виготовлення; скорочення енерговитрат при виготовленні арматурних виробів і формуванні конструкцій у 3–4 рази (в заводських умовах ці процеси, на відміну від будівельного майданчика, автоматизовані на 85–90 %); економію бетону й арматури; нижчу вагу конструкцій, які монтуються, порівняно із повнозбірними будівлями; швидкість монтажу та малі затрати трудових ресурсів (монтаж поверху в межах одного під'їзду виконується бригадою із 5-ти робітників за одну зміну); можливість зменшення у декілька разів комплексу технологічного обладнання й оснащення, необхідних для виконання робіт на будівельному майданчику; зменшення невиробничих витрат на його утримання (охорона, тимчасові дороги, витрати на електроенергію) шляхом скорочення загальної тривалості будівництва; зниження в декілька разів енергоємності будівництва порівняно із монолітним за рахунок зменшення частки монолітних робіт та відмови від електропрогріву бетону при від'ємних температурах; високу міцність і сейсмостійкість будівель [6]. Каркас не є модульним і відкриває широкі можливості варіювання об'ємно-планувальних рішень приміщень.

Вдосконалення системи відбувається шляхом заміни несучих елементів із важкого бетону на рівноміцні із конструкційних легких бетонів,

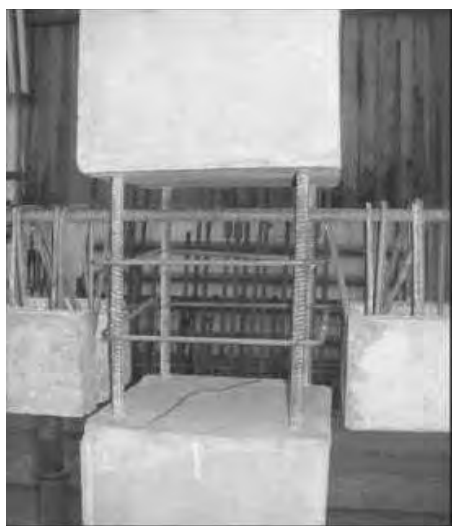
виготовлених на високоміцному керамзитовому гравію, котрі характеризуються наступними перевагами: меншою вагою порівняно із важким бетоном (у середньому на 25 %); більш високим рівнем нижньої межі області мікротріщиноутворення бетону, відповідно вищою межею переходу лінійної повзучості в нелінійну, а тому більшою ефективністю використання в попередньо напружених конструкціях; нижчим у 2–2,5 рази коефіцієнтом теплопровідності та вищою на 30–50% межею вогнестійкості бетону; вищими марками бетону за морозостійкістю. Крім того, в бетоні на керамзитовому гравії практично виключається можливість внутрішньої кислотної корозії, викликані взаємодією кислотних оксидів цементу із аморфним кремнеземом крупного заповнювача, котрий у керамзиті практично відсутній [7].

Досвід застосування ЗМК САРЕТ набуто на об'єктах, зведених у РФ. В Україні будівництво із використанням зазначеної конструктивної системи впроваджує ТОВ «ВІКТОР-НАЙ» [8].

У НДІБК проведені випробування ЗМК САРЕТ [8] з метою перевірки відповідності отриманих результатів чинним будівельним нормам України, в першу чергу для визначення особливостей роботи вузлових з'єднань ригелів із колонами (рис. 2, а) й оцінювання їх експлуатаційної надійності.

Руйнування фрагменту каркасу відбулося за похилим перерізом ригеля (рис. 2, б), що свідчить про надійність шпонкового з'єднання ригеля з колоною, але не дає відповіді стосовно його несучої здатності.

У Полтавському національному технічному університеті імені Юрія Кондратюка запропонована методика розрахунку шпонкових з'єднань [9], котра є загальною, базується на варіаційному методі в теорії пластичності бетону, розглядає характер руйнування, враховує повну сукупність факторів впливу та добре збігається з експериментальними даними.



а)



б)

Рис. 2. Армування вузла з'єднання ригеля з середньою колоною (а) та картина руйнування ригеля при випробуванні натурального фрагменту ЗМК САРЕТ (б)

З метою оцінювання достовірності та переваг варіаційного методу порівняно із нормативними й іншими авторськими методиками проаналізована збіжність теоретичної міцності, підрахованої відповідно запропонованої методики, з дослідною та отримані наступні статистичні показники: $\bar{X} = 0,95$, $\nu = 15,95\%$ (для нормативної методики $\bar{X} = 0,61$, $\nu = 36,9\%$). При цьому, використані дані 192 зразків, для яких фактори варіювання суттєво відрізнялися: співвідношення глибини шпонки до її висоти складало $l_k/h_k = 0,1-1$; рівень обтиснення $\sigma/f_{cd} = 0-0,47$; відсоток армування $\rho_w = 0-2,89\%$; арматура була розміщена в один і два рівні за висотою шпонки; застосовувався важкий бетон ($f_{cd} = 22,5-56,9 \text{ МПа}$), керамзитобетон та фібробетон на поліпропіленових волокнах ($f_{cd} = 10-23,5 \text{ МПа}$); ширина шва $t_j = 0-300 \text{ мм}$; кількість шпонок в стику – одна, три і п'ять.

Конструкція вузла з'єднання ригеля із колоною наведена на рис. 3.

Вихідними даними для розрахунку його міцності при зрізі слугують:

- геометричні параметри (розміри шпонки): висота $h_k = 320 \text{ мм}$; ширина $b_k = 200 \text{ мм}$; глибина $l_k = 320 \text{ мм}$: $\gamma = l_k/h_k = 1$;
- характеристики бетону класу С25/30: $f_{cd} = 15,3 \text{ МПа}$, $f_{ctd} = 1,08 \text{ МПа}$;
- характеристика арматури класу А400С $f_{yd} = 364 \text{ МПа}$.

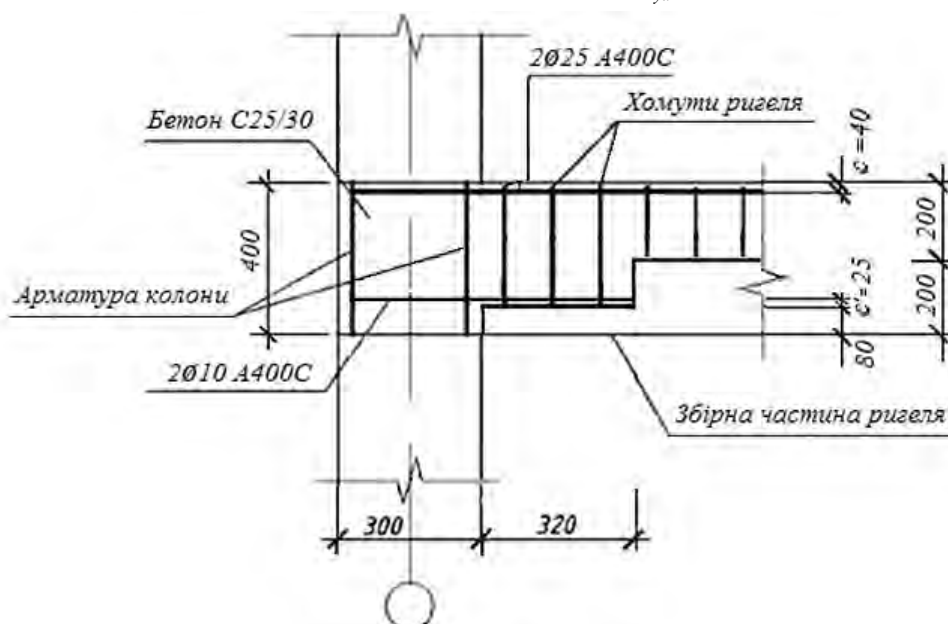


Рис. 3. До розрахунку несучої здатності з'єднання ригеля з колоною

Площа робочої арматури у площині зрізу визначається із розрахунку несучої здатності ригеля в нормальному перерізі на опорі (у розглядуваному прикладі арматура в стиснутій зоні встановлюється із конструктивних міркувань).

Кінематично можлива схема руйнування залізобетонної шпонки при зрізі, покладена в основу розрахунку варіаційним методом, представлена на рис. 4. Невідомими виступають: граничне навантаження q_u , відношення швидкостей $k = V_x / V_y$ руху жорсткого диску I відносно II і геометричні параметри поверхні руйнування ABC, котра розмежовує диски: кути – α , β . Напруження в арматурі досягають межі текучості.

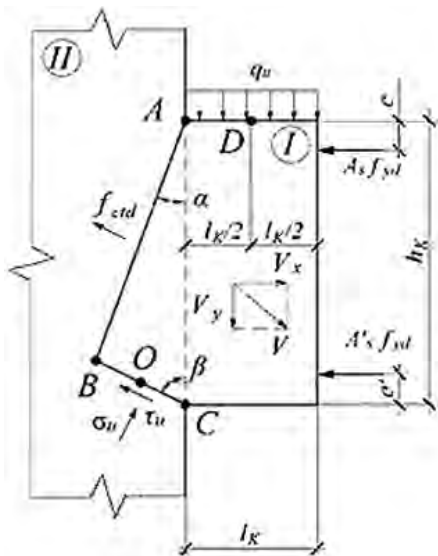


Рис. 4. Кінематично можлива схема руйнування прямокутних залізобетонних шпонок

Значення граничного навантаження знаходять шляхом пошуку мінімуму функції (1) методом Ньютона за виконання умов $\sum M_B = 0$, $\sum M_O = 0$, $\sum M_D = 0$ (точка O – середина ділянки BC).

$$q_u = \left(\frac{m \left[2B \sqrt{(k - \text{tg} \beta)^2 + 0,25(k \text{tg} \beta + 1)^2} - k + \text{tg} \beta \right] \times \frac{\text{tg} \alpha}{\text{tg} \alpha + \text{tg} \beta} + f_{cd} (k + \text{tg} \alpha) \times \left(\frac{\text{tg} \beta}{\text{tg} \alpha + \text{tg} \beta} + \frac{f_{yd} (A_s + A'_s) k}{b_k h_k} \right) \right) \frac{1}{\gamma}, \quad (1)$$

де $m = f_{cd} - f_{ctd}$, $B = \sqrt{(1 + \chi / (1 - \chi)^2) / 3}$, $\chi = f_{ctd} / f_{cd}$.

При підрахуванні несучої здатності шпонкового стику враховується співвідношення його розмірів, обидві характеристики міцності бетону за монолітування, розташування арматури.

При заданих параметрах несуча здатність з'єднання «ригель – колонна» згідно запропонованої методики забезпечена. Значення розрахункового граничного навантаження на 25 % перевищує отримане за нормами [10].

Крім теоретичних у ПолтНТУ проводяться експериментальні дослідження в напрямку вдосконалення властивостей конструкційних бетонів шляхом дисперсного армування. Введення поліпропіленової фібри до складу бетону при улаштуванні шпонкових стиків призводить до збільшення їх тріщиностійкості та міцності, зміни характеру руйнування із зовні крихкого до квазіпластичного [11].

Фібробетон має перспективи до застосування у якості матеріалу для виготовлення плит та ригелів перекриттів (покриттів). Виконані експериментальні дослідження міцності балок у нормальних та похилих перерізах. Встановлено, що тріщини утворювалися на більш пізніх стадіях навантаження порівняно з дослідними зразками із важкого бетону, кількість тріщин була обмеженою. Перед руйнуванням елементи зазнавали суттєвих деформацій.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Для застосування в Україні пропонується конструктивна система САРЕТ, котра відрізняється енергоефективністю та характеризується високою міцністю і сейсмостійкістю, якістю виготовлення конструкцій та швидкістю зведення будівель. Сумісна робота несучих збірно-монолітних конструкцій забезпечується за рахунок з'єднань з підвищеним опором зсуву.

Запропонована методика розрахунку шпонкових стиків, котра є загальною, базується на варіаційному методі в теорії пластичності, враховує характер руйнування та повну сукупність факторів впливу, добре збігається з експериментальними даними та дозволяє оптимізувати конструктивні рішення. Розрахунок згідно даної методики створює умови для проектування надійних стикових з'єднань елементів системи.

Застосування фібри для дисперсного армування бетону підвищує тріщиностійкість за рахунок збільшення опору розтягу та його пластичних властивостей і перешкоджає зовні крихкому характеру руйнування.

Перспективи подальших досліджень полягають у використанні для виготовлення несучих конструкцій керамзитобетону й удосконаленні конструктивних рішень елементів каркасу та вузлів з'єднань на основі точного оцінювання несучої здатності з врахуванням специфіки їх напружено-деформованого стану.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Шембаков, В.А. Сборно-монолитное каркасное домостроение. Руководство к принятию решения. – Чебоксары, 2005. – 119 с.
2. Мордич, А.И. Новая универсальная каркасная система многоэтажных зданий / А.И. Мордич, Р.И. Вигдорчик, В.Н. Белевич, А.С. Залесов // Бетон и железобетон. – 1999. – № 1. – С. 2 – 4.
3. Мустафин, И.И. Универсальная несущая сборно-монолитная каркасная система «КАЗАНЬ-XXI век» / И.И. Мустафин. ООО «Проектно-конструкторская фирма «Каркас». – Казань, 2005. – 21 с.
4. Гуров Є.П. Анализ и предложения по конструктивной надежности и

безопасности сборно-монолитных перекрытий в каркасе серии Б1.020.1-7 (в системе АРКОС)// Бетон и железобетон. – 2012. – №2. – С. 6 – 11.

5. Каркасная несущая система SARET [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kgasuclan.ru/down/view/download/80/242> – Назва з екрана.

6. Images of Saret [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.emporis.de/images/list/building/saret-novosibirsk-russia> – Назва з екрана.

7. Юдин И.В. Инновационные технологии в индустриальном домостроении с использованием конструкционных легких бетонов / И.В. Юдин, В.Н. Ярмаковский // Строительные материалы. – 2010. – №1. – 15 – 17 с.

8. Науковий супровід впровадження технології залізобетонної збірно-монолітної каркасної системи в будівництво багатопверхових будинків цивільного призначення / Л. І. Кривельов, О. А. Карпенко, В. Г. Пошивач, О. М. Райтаровський // Реконструкція житла. – Вип. 11. – 2009. – С. 143 – 152.

9. Довженко, О.О. Методика розрахунку шпонкових з'єднань залізобетонних елементів / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, Ю.В. Чурса // Вісник національного університету «Львівська політехніка» «Теорія і практика будівництва». – Львів. – 2013. – №755. – С. 111 – 117.

10. Конструкції будинків та споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування : ДСТУ Б В.2.6-156:2010. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 118 с.

11. Довженко О.О. Міцність шпонкових з'єднань бетонних і залізобетонних елементів: експериментальні дослідження. – Полтава: ПолтНТУ ім. Ю.Кондратюка, 2015. – 181 с.

АННОТАЦІЯ

Обоснован выбор каркасной сборно-монолитной конструктивной системы для широкого применения в Украине. Рассмотрены соединения несущих сборно-монолитных элементов каркаса с повышенным сопротивлением срезу. Разработаны предложения по расчету несущей способности шпоночных стыков на основе вариационного метода в теории пластичности бетона. Достоверность методики расчета подтверждена экспериментальными исследованиями образцов из тяжелого бетона, керамзитобетона и фибробетона. Оценена несущая способность узла соединения ригеля с колонной системы SARET с учетом специфики его конструктивного решения.

Ключевые слова: элементы каркаса, шпоночные соединения, несущая способность, вариационный метод, энергосберегающая технология.

ANNOTATION

The choice of frame prefabricated-monolithic constructive system for wide application in Ukraine is justified. Connections of load-bearing prefabricated-monolithic frame elements with increased shear resistance are considered. Proposals for calculating the bearing capacity of keyed joints based on the variational method in the theory of plasticity of concrete are developed. The reliability of the calculation procedure was confirmed by experimental studies of samples from heavy concrete, expanded clay concrete and fiber concrete. The bearing capacity of the girder joint with the column of the SARET system is estimated taking into account the specifics of its design.

Keywords frame components, keyed joints, bearing capacity, variational method, energy-saving technology.

УДК 624.075.23

Гудзь С.А., к.т.н., доц., ПолтНТУ імені Юрія Кондратюка, м. Полтава
Гасенко А.В., к.т.н., доц., ПолтНТУ імені Юрія Кондратюка, м. Полтава

РОЗБІЖНІСТЬ РЕЗУЛЬТАТІВ РОЗРАХУНКУ ПОЗАЦЕНТРОВО СТИСНУТИХ СТАЛЕВИХ ДВОТАВРОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗА ЗГІНАЛЬНО-КРУТИЛЬНОЮ ФОРМОЮ ВТРАТИ СТІЙКОСТІ

У роботі проведено порівняльний аналіз нормативних методик визначення несучої здатності гнучких сталевих двотаєрових елементів, що зазнають впливу стиску та згину. Виявлено їх переваги та недоліки, вказано на розбіжність і невідповідність результатів, отриманих різним чином. Висловлено спроби пояснити розходження, встановлено межі застосування вітчизняної методики розрахунку. Наголошено на необхідності перегляду будівельних норм у бік збільшення надійності. Досліджено європейський підхід та використано закордонний досвід у питаннях розрахунку на стійкість.

Ключові слова: позацентровий стиск, втрата стійкості, двотаєровий елемент.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Як відомо, поздовжня сила в позацентрово стиснутому елементі зміщена відносно центра ваги поперечного перерізу на величину ексцентриситету (e). В стиснуто-згинному елементі, який може виступати частиною поперечної рами каркасної будівлі, одночасно діють два незалежних силових фактори: поздовжня сила (N) і згинальний момент (M). Але при виконанні практичних розрахунків за вітчизняними нормами стиснуто-згинні стержні замінюють позацентрово стиснутими, оскільки в обох випадках елемент перебуває під дією поздовжньої сили зі згином. Замість заданого для стиснуто-згинного стержня моменту (M) і нормальної сили (N) враховують тільки цю силу, але прикладену з ексцентриситетом ($e = M / N$). У розрахунок таких елементів на