

ектной документации и Исполнителем) любых действующих норм расчета и проектирования металлических конструкций. Обязательным условием при этом является получение результатов «не хуже, чем по системе Еврокод».

Это определенным образом «развязывает руки» проектировщикам и конструкторам металлических конструкций (МК) при выполнении проектной документации, разрешая (по крайней мере, не запрещая) использовать методики расчета и проектирования стран, принявших нормативную систему в строительстве Еврокод 3.

ДБН В.2.6-_-200 «Стальные конструкции, нормы проектирования, изготовления и монтажа» планируется ввести к обязательному применению на территории Украины с июля 2010 г. Аналогичный документ по расчету и проектированию железобетонных конструкций также подготовлен и готовится к вводу в действие к концу 2010 г. Полный переход нормативной базы в строительстве в Украине к Системе Еврокода предполагается осуществить в течение 10 лет.

Такой подход упрощает применение различных методик расчета и проектирования МК, позволяя проектировщикам выбор оптимального варианта для каждого конкретного объекта, и вселяет надежду применения в Украине новых экономических конструкций из гнутых тонкостенных профилей в ближайшем будущем.

- 1.Профили стальные гнутые С- и V-образные. Технические условия ТУ У 27.3-22637063-013:2005.
- 2.Профили стальные листовые гнутые с замковыми элементами. Технические условия ТУ У 27.3-22637 063-012:2005.
- 3.Уманский А.А. Строительная механика самолета. – М.: Оборонгиз, 1961. – 265 с.
- 4.Власов В.З. Тонкостенные упругие стержни. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Физматлит, 1961. – 442 с.
- 5.Кан С.Н. Расчет на прочность оболочек в самолетостроении. – М.: Оборонгиз, 1961. – 270 с.

Получено 19.10.2009

УДК 624.012.45

О.О.ДОВЖЕНКО, В.В.ПОГРІБНИЙ, кандидати техн. наук, Т.Ю.КАЧАН
Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка

ДОСЛІДЖЕННЯ ОПОРУ БЕТОНУ ЗРІЗОВІ НА ЗРАЗКАХ ГВОЗДСВА

Наведено матеріали дослідження міцності бетону на зріз за допомогою зразків Гвоздева. Викладено теоретичні (отримані на основі варіаційного методу теорії пластичності бетону) і експериментальні результати. Проведена статистична обробка даних, яка свідчить про високу достовірність отриманих результатів.

Приведены материалы исследования прочности бетона на срез с помощью образцов Гвоздева. Изложены теоретические (полученные на основе вариационного метода

теории пластичности бетона) и экспериментальные результаты. Проведенная статистическая обработка данных, свидетельствующая о высокой достоверности полученных результатов.

The authors investigated the shear strength of concrete by using Gvozdev samples. This article presents theoretical and experimental results by using a variational method of plasticity theory. It shows up charactez of destruction samples. The autores did a statistical processing data.

Ключові слова: міцність бетону на зріз (сколювання), чистий зріз, перерізувальні сили, варіаційний метод розрахунку.

У чистому вигляді явище зрізу полягає у поділі елемента на дві частини по перерізу, до якого прикладено взаємно протилежні перерізувальні сили [20]. В залізобетонних конструкціях чистий зріз зустрічається рідко, зазвичай він супроводжується дією поздовжніх сил. Усі плитні, балкові конструкції, короткі елементи, а також монолітні масивні конструкції працюють на сприйняття зрізувальних сил. Проте загальноприйнятого підходу для розрахунку на зріз бетонних і залізобетонних конструкцій в практиці проектування ще немає та й саме явище зрізу повністю не досліджено. Отже, розв'язання цього питання слід вважати актуальною задачею.

Експериментальні дослідження опору бетону «чистому зрізу» проводяться починаючи з 90-х років позаминулого століття. Їх основною метою був пошук зразка для визначення зазначеної характеристики. Перші випробування у цьому напрямку були проведені Бахом [24] на зразках, завантажених крученням. Пізніше метод отримав розвиток у роботах [3, 15, 25, 26]. Дослідні зразки являли собою циліндри (пустотілі та суцільні), в площині руйнування яких, за припущенням, повинен був реалізуватися напружений стан «чистий зріз». Проте всі вони руйнувалися шляхом відриву по гвинтовій поверхні від дії головних розтягуючих напружень. Ряд дослідників [2, 17, 25] пропонували зразки з послабленим поперечним перерізом, однак і в цьому випадку руйнування відбувалося шляхом відриву, а не зрізу.

І.Г.Гончаров [7] досліджував зразки навантажені рівними за абсолютною величиною головними розтягуючими та стискаючими напруженнями, але їх міцність обмежувалася міцністю бетону на розтяг. Подібні дослідження також проводили А.А.Ашрабов і Е.Кокер [1, 14].

Усім наведеним вище дослідникам не вдалося в запропонованих ними зразках сумістити поверхню руйнування з перерізом, в якому діють лише дотичні напруження.

Найбільш чисельні експерименти проводилися на зразках, які руйнувалися шляхом взаємного зсуву їх окремих частин.

У 1904 р. Е.Мерш [22] для визначення опору зрізу випробовував бетонні призми, котрі завантажували за схемою рис.1, *a*, однак дослідження напруженого стану цих зразків показали, що на площинах руйнування діють, крім дотичних, ще й нормальні напруження різного знаку. Тобто «чистий зріз» і тут отримати неможливо.

Схема, яку використовували Хагер і Кнапп [8], не відтворює напруженого стану «чистий зріз» і досить незручна, оскільки зразки при випробуванні потребують досить великої точності встановлення.

Дютрон [22] запропонував зразок, в якому площа зрізу значно зменшена у порівнянні з поперечним перерізом зразка.

О.О.Гвоздев [5] при дослідженні зчеплення старого бетону з новим розробив схему випробування (рис.1, *b*), яка дозволяє досягнути вертикальності дії сил по перерізу та повністю забезпечити стійкість зразків.

Схеми О.М.Петрова [17], О.Б.Пірадова [19], А.Г.Каленіченка, О.С.Зоріча [12], К.М.Ужахова [23] подібні до схеми Гвоздева, але вони були вже більш досконалішими. Проте і в цих зразках не вдалося поєднати поверхню руйнування з напруженим станом «чистий зріз».

Різноманітність дослідних зразків викликала появу великої кількості залежностей для визначення опору бетону зрізові. Ці залежності розділяються на три групи. Міцність бетону на зріз R_{sh} визначається як функція: опору бетону стисковій R_b [11-13, 17, 19, 22]; опору бетону розтягу R_{bt} [10, 17, 22]; обох міцнісних характеристик бетону R_b , R_{bt} [3, 4, 9, 15].

Аналізуючи ці залежності, можна помітити велику розбіжність у числових значеннях R_{sh} , отриманих різними авторами. Але при цьому кожна залежність підтверджується відповідними їй проведеними експериментами. Це свідчить про частинний характер кожної з них, який визначається формою зразка і умовами експерименту.

Отже, як видно, всі спроби знайти найбільш відповідний за формою та навантаженням зразок, який дозволяє поєднати напружений стан «чистий зріз» з формою руйнування бетонних елементів шляхом зрізу, увінчалися невдачею. Це і зрозуміло, оскільки «чистий зріз» як відомий плоский напружений стан для елементів з матеріалів, які мають різний опір стисканню та розтягу, несумісний з «чистим зрізом» як формою руйнування [21].

Зріз як форма руйнування має особливо важливе практичне значення, зустрічається при різних напружено-деформованих станах, що ставить задачу розвитку загального методу розрахунку міцності бетонних і залізобетонних елементів, які сприймають зрізуючі зусилля.

Автори наводять результати дослідження опору бетону зрізові на зразках Гвоздева (рис.1, в). В якості загального методу розрахунку міцності елементів, які руйнуються від зрізу, використовується варіаційний метод теорії пластичності бетону [16].

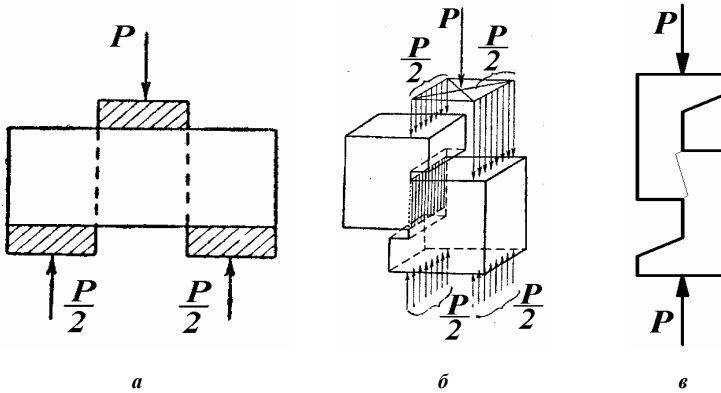


Рис.1 – Види зразків і схеми їх навантаження, запропоновані дослідниками для визначення опору бетону «чистому зрізові»:
 а – Мерша; б – Гвоздева; в – модифікований зразок Гвоздева.

Форма та геометричні розміри експериментальних зразків представлені на рис.2. Для сприйняття розтягуючих напружень, котрі виникають при завантаженні в горизонтальних площинах, зразки армуються сталевими каркасами (рис.2) або обтискуються хомутами перед випробуванням (рис.3). Зразки виготовлено з важкого бетону.

Випробування здійснювалося у пресі ПГ-125 (рис.3). Дослідні зразки руйнувалися зовні крихко по поверхні, яка майже співпадала з площиною зрізу. Утворення мікротріщин на всіх етапах навантаження не спостерігалось.

Міцнісні характеристики та руйнівне навантаження зразків наведено в таблиці.

Результати експериментальних досліджень

№ п/п	Шифр зразка	R_b , МПа	R_{bt} , МПа	P^{test} , кН	R_{sb} , МПа
1	РС-1	30,18	2,74	12,0	8,0
2	РС-2	30,18	2,74	10,9	7,27
3	РС-3	30,18	2,74	10,8	7,2
4	РС-4	30,18	2,74	11,0	7,33
5	РС-5	30,18	2,74	12,0	8,0
6	РС-6	30,18	2,74	12,4	8,27

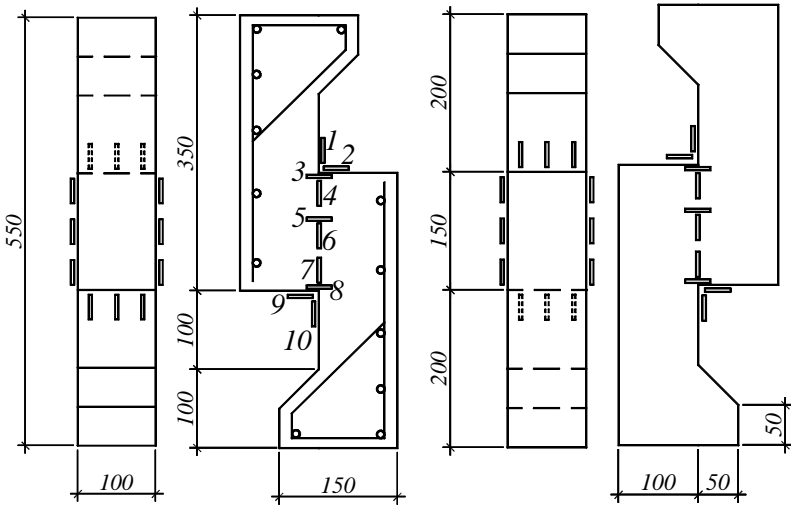


Рис.2 – Геометричні розміри та армування зразка, схема розташування тензорезисторів

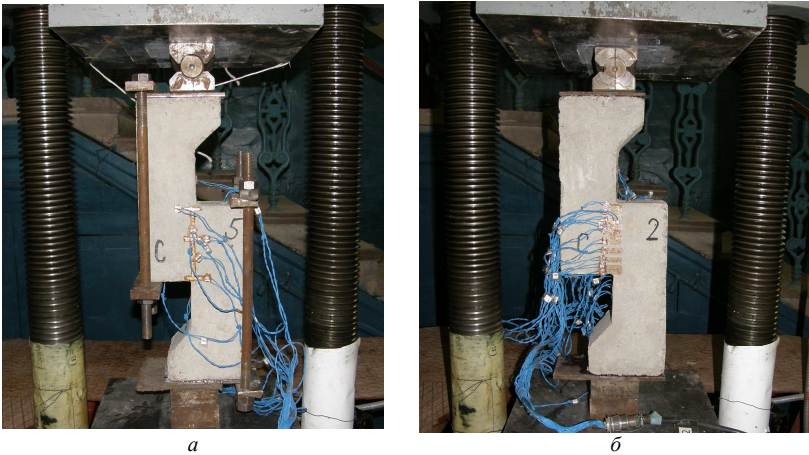


Рис.3 – Зразок у пресі під час випробування:
 а – обтиснутий хомутами; б – армований каркасами.

На рис.4 наведено графіки деформацій зразка РС-4. Усі вертикальні тензорезистори під час експериментів стискалися, але по-різному. Наприклад, при навантаженні $0,9P_u$ – тензорезистори за №1, 10 мають найбільші деформації ($\epsilon_b = 110...140 \cdot 10^{-5}$), 7 і 4 – менш стиснуті

($\epsilon_b = 50 \dots 80 \cdot 10^{-5}$), а 6 показує деформації $\epsilon_b = 40 \dots 60 \cdot 10^{-5}$. Отже, по мірі наближення до центру перерізу, деформації ϵ_b розвиваються слабше.

Горизонтальні тензорезистори 2, 3, 8, 9 стиснуті ($\epsilon_b = 5 \dots 50 \cdot 10^{-5}$), а 5 показує деформації розтягу, близькі до граничних ($\epsilon_{bt} = 25 \cdot 10^{-5}$) (рис.4). Це свідчить про зростання розтягуючих деформацій по мірі наближення до центру перерізу.

Відповідно до наведених вище експериментальних даних, отриманих авторами, та досліджень попередників прийнята кінематично можлива схема руйнування зразків (рис.5). Вона складається з двох дисків. Диск I переміщується зі швидкістю $V(V_x, V_y)$ відносно диску II. Диски розмежовані поверхнею руйнування DABC. На ділянках DA і BC діють граничні нормальні σ_u та дотичні τ_u напруження, які визначаються згідно умови міцності бетону Баландіна - Генієва [6], а на площадці АВ діють граничні розтягуючі напруження $\sigma_u = R_{bt}$.

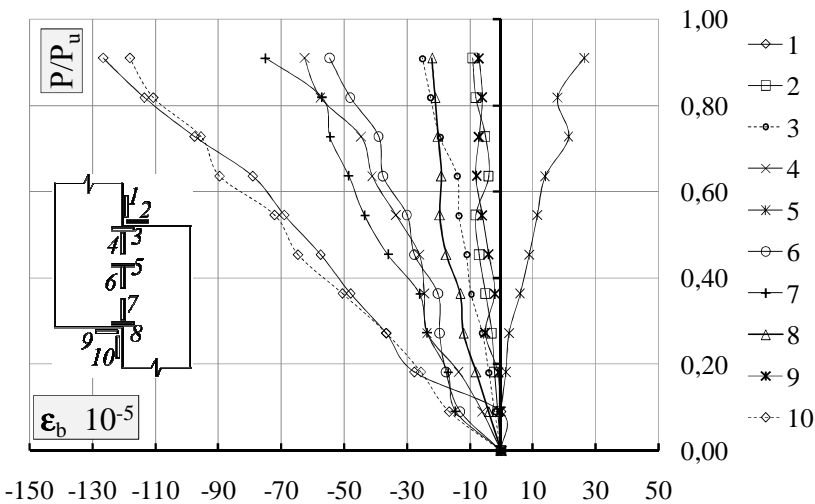


Рис. 4 – Графіки залежності відносних деформацій бетону від рівня навантаження для зразка РС-4

Пластичні деформації локалізуються в тонких шарах на поверхні руйнування (умовно пластичне руйнування).

Задачу пропонується розв’язувати у наступній послідовності.

Для полегшення розрахунку розглядаємо лише ту частину зразка, яка знаходиться над віссю X , що розбиває розглядуваний переріз навпіл.

Записуємо розриви нормальної ΔV_n і дотичної ΔV_t складових швидкості на ділянці BC та знаходимо її площу:

$$\begin{cases} \square V_n^{BC} = V_x \cos \beta - V_y \sin \beta \\ \square V_t^{BC} = V_x \sin \beta + V_y \cos \beta \end{cases}, \quad S_{BC} = \frac{hbtg\alpha\sqrt{1+tg^2\beta}}{2(tg\beta+tg\alpha)}$$

Аналогічно робимо запис для ділянки OB :

$$\begin{cases} \square V_n^{OB} = V_x \cos \alpha + V_y \sin \alpha \\ \square V_t^{OB} = V_y \cos \alpha - V_x \sin \alpha \end{cases}, \quad S_{OB} = \frac{hbtg\beta\sqrt{1+tg^2\alpha}}{2(tg\beta+tg\alpha)}$$

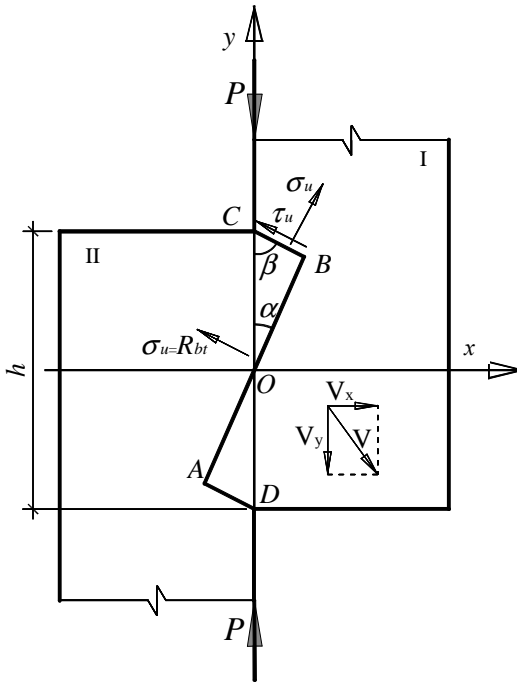


Рис.5 – Кінематично можлива схема руйнування зразка Гвоздєва

Функціонал методу для плоского напруженого стану, який визначає потужність пластичної деформації, приймає вигляд:

$$I = m \left[2B \sqrt{1 + 0,25 \left(\frac{V_x \sin \beta + V_y \cos \beta}{V_x \cos \beta - V_y \sin \beta} \right)^2} - 1 \right] (V_x \cos \beta - V_y \sin \beta) \times \\ \times \frac{hbtg\alpha \sqrt{1 + tg^2 \beta}}{2(tg\beta + tg\alpha)} + R_{bt} (V_x \cos \alpha + V_y \sin \alpha) \frac{hbtg\beta \sqrt{1 + tg^2 \alpha}}{2(tg\beta + tg\alpha)} - PV_y = 0. \quad (1)$$

Прийнявши, що $k = V_x/V_y$, записуємо P у функції від невідомих величин k, β, α :

$$P = \frac{hb}{2(tg\beta + tg\alpha)} \left(m \left[2B \sqrt{(k - tg\beta)^2 + 0,25(ktg\beta + 1)^2} - (k - tg\beta) \right] tg\alpha + \right), \quad (2) \\ + R_{bt} tg\beta (k + tg\alpha) = 0$$

де $m = R_b - R_{bt}$, $B^2 = (1 + \chi / (1 - \chi)^2) / 3$, $\chi = R_{bt} / R_b$.

Для отримання достовірного результату при пошуках мінімуму функції (2) використовуються додаткові умови – рівняння рівноваги:

$$\begin{cases} \sum Y = \sigma_u S^{BC} \sin \beta + \tau_u S^{BC} \cos \beta - P + R_{bt} S^{OB} \sin \alpha = 0 \\ \sum X = \sigma_u S^{BC} \cos \beta - \tau_u S^{BC} \sin \beta - R_{bt} S^{OB} \cos \alpha = 0 \end{cases} \quad (3)$$

Нормальні та дотичні напруження, які діють на площадці BC, виражені через розриви швидкостей, мають вигляд:

$$\frac{\sigma_u}{m} = 2 \left(0,5 \pm \frac{B(k - tg\beta)}{\sqrt{(k - tg\beta)^2 + 0,25(ktg\beta + 1)^2}} \right); \\ \frac{\tau}{m} = \frac{B(ktg\beta + 1)}{2\sqrt{(k - tg\beta)^2 + 0,25(ktg\beta + 1)^2}}. \quad (4)$$

Розрахунок виконували методом Ньютона за допомогою підпрограми «Пошук рішення» в табличному процесорі «Microsoft Office Excel». З умови (2) $P = \min$ визначаються невідомі k, β, α , при підставці яких у (2) отримуємо значення граничного навантаження P_u .

В теоретичному рішенні $\beta \approx 70^\circ$, $\alpha \approx 6^\circ$, $R_{sh}/R_b = 0,25$ для $\chi = 0,09$.

Статистичний аналіз збіжності отриманих теоретичних рішень з дослідями проводився за величиною відношення теоретичної міцності на зріз до експериментальної. Визначалось середнє арифметичне $\bar{X} = R_{sh}^{calc} / R_{sh}^{test}$, середньоквадратичне відхилення σ_{n-1} і коефіцієнт

варіації V . Було оброблено дані 45 зразків (6 – авторів, 10 – [21], 10 – [18], 10 – [5], 9 – [19]). Отримано такі статистичні характеристики: $\bar{X} = 0,972$, $\sigma_{n-1} = 0,118$, $V = 12,15\%$.

В результаті виконаних досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Сумістити форму руйнування та напружений стан «чистий зріз» для бетонних елементів з метою одержання єдиної характеристики опору зрізу неможливо. Тому виникає необхідність розв'язання задач міцності для окремих випадків зрізу з урахуванням особливостей напруженого стану в зоні руйнування.

2. На основі варіаційного методу теорії пластичності отримано рішення задачі міцності для зразка Гвоздєва, котрий руйнується шляхом зрізу.

3. Міцність залежить від опору бетону як стискові, так і розтягу, оскільки в зоні руйнування реалізується складний напружено-деформований стан, що підтверджується результатами проведених експериментів.

4. Теоретичне значення граничного навантаження добре збігається з дослідним, що свідчить про можливість застосування теорії пластичності до розрахунку елементів при умовно пластичному руйнуванні та розроблення на її основі теорії міцності бетонних (залізобетонних) елементів, які руйнуються шляхом зрізу.

1. Ашрабов А.А. К методике определения сил зацепления в трещинах железобетонных балок при действии поперечных сил // Вопросы надежности мостовых конструкций: Межвуз. тематич. сб. трудов. – Л.: ЛИСИ, 1984. – С.62-68.

2. Белаенко Ф.А., Павленко Г.Л. Опыт по определению прочности горных пород при одновременном действии сжатия и сдвига // Горный журнал. – 1937. – №16. – С.15-17.

3. Берг О.Я. Физические основы теории прочности бетона и железобетона. – М.: Госстройиздат, 1962. – 95 с.

4. Бушков В.А. Железобетонные конструкции. Ч.1. – М.: Стройиздат Наркомстроя, 1940. – 58 с.

5. Гвоздев А.А., Васильев А.П., Дмитриев С.А. Изучение сцепления нового бетона со старым. – М. - Л.: ОНТИ, 1936. – 55 с.

6. Гениев Г.А., Кисюк В.Н., Тюпин Г.А. Теория прочности бетона и железобетона. – М.: Стройиздат, 1974. – 316 с.

7. Гончаров И.Г. Прочность каменных материалов в условиях различных напряженных состояний. – М. - Л.: Госстройиздат, 1960. – 124 с.

8. Григорьев Д.А. Исследование работы тонкостенных железобетонных балок с предварительной напряженной продольной арматурой и хомутами // Труды ВНИИ транспортного строительства. – 1956. – Вып.19. – С.110-176.

9. Евдокимов А.А., Пфлаумер О.Э. Технология и строительные свойства бетона на искусственных пористых заполнителях. – М.: Госстройиздат, 1959. – 72 с.

10. Еськов В.С. Исследование методов испытаний бетона на срез // Исследования

конструкций зданий и сооружений для сельского строительства. – М.: Стройиздат, 1967. – С.137-144.

11.Еськов В.С. Исследование работы бетона на срез с обжатием // Материалы I науч.-техн. конф. ЦНИИЭП «Строительные конструкции, здания и сооружения». – Апрелька, 1970. – С.42-46.

12.Калениченко А.Г., Зорич А.С. О влиянии замены в некоторых железобетонных конструкциях обычного бетона активизированной массой из доменных шлаков // Строительные конструкции: Сб. трудов. Вып.3. – Харьков: ЮЖНИИ, 1959. – С.161-197.

13.Калнайс А.А., Тетерс Г.А., Шкербелис К.К. Исследование прочности и деформативности конструктивного газобетона // Исследования по бетону и железобетону. Вып. IV. – Рига: АН Латвийской ССР, 1959. – С.243-261.

14.Кокер Е., Файлон Л. Оптический метод исследования напряжений. – М.: ОНТИ, 1936. – 643 с.

15.Лукша А.К. Прочность трубобетона. – Минск: Высшая школа, 1977. – 96 с.

16.Митрофанов В.П. Вариационный метод в теории идеальной пластичности бетона // Строительная механика и расчет сооружений. – 1990. – №6. – С.23-28.

17.Петров А.Н. Об интерпретации среза в бетоне // Строительные конструкции. Вып. VI. – К.: Будівельник, 1967. – С. 181-188.

18.Петров А.Н. Сопrotивление бетона срезу при наличии нормальных сжимающих напряжений // Сборник науч. трудов. Вып.19. – Днепропетровск, 1962. – С.19-32.

19.Пирадов А.Б. Конструктивные свойства легкого бетона и железобетона. – М.: Стройиздат, 1973. – 133 с.

20.Писаренко Г.С., Квітка О.Л., Уманський Е.С. Опір матеріалів. – К.: Вища шк., 1993. – 655 с.

21.Погребной В.В. Прочность бетонных и железобетонных элементов при срезе: Дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Полтав. гос. техн. ун-т им. Юрия Кондратюка. – Полтава, 2001. – 236 с.

22.Столяров Я.В. Введение в теорию железобетона. – М. - Л.: Гос. изд-во строит. лит-ры, 1941. – 448 с.

23.Ужахов К.М. Прочность легкого бетона на срез при динамическом нагружении // Новое в технологии, расчете и конструировании железобетонных конструкций. – М.: НИИЖБ, 1987. – С.137-139.

24.Bach. Untersuch under von Cranit in bezugraut Zug, – Druck Bilgnq und Schubfestigkeit, sowie in Hinsicht aut Zug – Druck, Bilgnq elastizietät, – zeitschz, des VDI, 9, 1987, VXXXXI. – S.241-252.

25.Bresler B., Pister S. Failure of plain concrete under combined stresses. – New York: Proceeding American society of civil Engineer, 1955. – 647 p.

26.Grassam N.S. Experiments on concrete under combined tending and torsin. – Detroit: Proc. Inst. Of Civil Engineers, 1956. – 65 p.

Отримано 04.11.2009

УДК 624.014.2.004.64

В.О.СЕМКО, канд. техн. наук

Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ СТАЛЕВИХ БАЛОК ІЗ ЗАГАЛЬНИМ ВИГІНОМ У ГОРИЗОНТАЛЬНІЙ ПЛОЩИНІ

Наводиться методика та результати експериментальних досліджень сталевих ба-