

УДК 69.059.22:699.8

Зміна характеристик міцності арматури та бетону при високотемпературних впливах

¹Голоднов О.І., д.т.н., Гордіюк М.П., ²Ткачук І.А., ³Семиног М.М.

¹ТОВ «Укрінсталькон ім. В.М. Шимановського», Україна

²Випробувальний центр ТОВ «ТЕСТ», Україна

³Броварське управління ГУ МНС, Україна

Анотація. Викладено методичні підходи щодо визначення характеристик арматури та бетону в процесі високотемпературних впливів. Вказано на важливість вирішення цього питання стосовно будівель для оцінки їхньої вогнестійкості і можливості подальшої експлуатації після пожежі.

Аннотация. Изложены методические подходы к определению характеристик арматуры и бетона в процессе высокотемпературных воздействий. Показана важность решения этого вопроса применительно к зданиям для оценки их огнестойкости и возможности дальнейшей эксплуатации после пожара.

Abstract. The methodical approach is expounded concerning determination of properties of armature and concrete under high temperature influences. Importance to solve this problem is pointed as it applies to buildings for estimating their fire-resistance and possibility of further exploitation after a fire.

Ключові слова. Арматура, бетон, міцність, високотемпературні впливи.

Вступ. Постановка проблеми. Залізобетонні елементи залишаються основними складовими частинами житлових і громадських будинків. Останнім часом у зв'язку зі значним зростанням об'ємів будівництва монолітно-каркасних будівель підвищеної поверховості актуальним стає питання пожежної безпеки при експлуатації, в першу чергу, колон і пілонів, що працюють на стиск, оскільки виключення з роботи таких елементів може призвести до руйнування будинку в цілому.

Досвід експлуатації залізобетонних конструкцій свідчить про їхній достатній запас несучої здатності за умови відсутності непередбачуваних високотемпературних впливів. Як одна з найбільш істотних причин підвищеної небезпеки для таких конструкцій розглядається нерівномірний нагрів і зміна характеристик міцності і деформативності бетону та арматури під час і після пожежі. При цьому необхідно вирішувати питання, пов'язані із забезпеченням тривалої та надійної експлуатації будівельних конструкцій, в тому числі, при дії високих температур, за рахунок прийняття відповідних матеріалів або захисних покриттів, визначення напружено-деформованого стану (НДС) конструкцій при

різних впливах і виконання робіт із продовження терміну експлуатації як окремих конструкцій, так і будівель у цілому [1, 2, 3, 4, 5 тощо].

Мета роботи – виявлення особливостей роботи і зміни характеристик міцності арматури та бетону за наявності високотемпературних впливів.

Основна частина. Згідно з ДСТУ Б В.1.1-4-98* [6], фактичні межі вогнестійкості будівельних конструкцій визначаються при дії нормативних навантажень (приймаються характеристичні значення величин навантажень згідно з ДБН В.1.2-2:2006 [7]). Величини нормативних навантажень встановлюються залежно від призначення конструкцій і умов їх експлуатації.

Класифікація навантажень, що використовується в ДБН В.1.2-2:2006 [7], дозволяє віднести випадок пожежі до особливих впливів. У відповідності з цим, для оцінки вогнестійкості будівельних конструкцій використовуються постійні та тривалі навантаження.

Межею вогнестійкості будівельних конструкцій називають показник вогнестійкості конструкцій, який визначається часом від початку вогневого випробування за стандартним температурним режимом до настання одного з нормованих для даної конструкції граничних станів із вогнестійкості [6]. Межа вогнестійкості знижується зі збільшенням навантажень, що діють на конструкції.

На несучу здатність і деформативність будівельних конструкцій, що знаходяться в умовах пожежі, впливають фізико-механічні властивості матеріалу конструкції, які змінюються залежно від температури нагріву. Зокрема, такі властивості визначаються межею міцності (R) і модулем пружності (E) матеріалу, з якого виконані конструкції. При зміні температури від 20 °С до 200...300 °С межа міцності деяких марок сталей і бетону збільшується: в першому випадку за рахунок зниження технологічних напружень, а в другому – за рахунок зменшення вільної вологи в порах бетону.

Збільшення температури матеріалу сприяє зниженню його модуля пружності, тобто деформативність конструкції при цьому збільшується. Модуль пружності конструкційних матеріалів при збільшенні температури знижується. За температуру, при якій арматура не може виконувати свої функції, приймають температуру 500 °С. Деформації температурного розширення арматурних сталей зростають із зростанням температури до 700 °С. Стосовно сталевих арматур в залізобетонних конструкціях, значення загальної деформації при пожежі залежить від деформації температурного розширення, зміни модуля пружності, а також деформації повзучості. Під поняттям «температурна повзучість» мається на увазі

зміна деформацій в часі постійних значень температури та прикладеного навантаження.

Основними чинниками, які впливають на величину та швидкість повзучості, вважаються величини напружень, температура, а також тривалість їхньої дії. Серед цих чинників основним залишається рівень напружень, що впливає на швидкість повзучості при певній температурі. Із збільшенням величини напружень швидкість температурної повзучості зростає.

Настання граничного стану для колон із покриттям та облицюванням, які випробовують без навантаження, контролюють за показниками термопар. Якщо випробовують зразки залізобетонних колон без навантаження, то для визначення межі вогнестійкості необхідно встановити не менше як 10 термопар рівномірно по товщині у центрі зразка. Для зразків залізобетонних колон, які випробовуються без навантаження, час досягнення граничного стану за ознакою втрати несучої здатності визначають за даними вимірювань температури по товщині зразка розрахунковим методом, який має відповідати вимогам ДБН В.1.1-7-2002 [5].

Усе вищезгадане свідчить, що визначення характеру деформування, міцності арматурної сталі та бетону при високотемпературних впливах являє собою дуже складну задачу. Зокрема, прийняття за граничну температуру 500 °С для арматурної сталі не може бути обґрунтованим: при такій температурі арматурна сталь може опиратись і досить суттєво, про що свідчать дані, наведені у розділі 4 проекту ДСТУ-Н Б В.2.6-XX:200X [8].

Для отримання експериментальних даних, які б свідчили про характер деформування і руйнування сталеві арматури під час впливу високих температур, були проведені дослідження зразків арматурної сталі різних класів (А240, А400, А500, А600) за ДСТУ 3760:2006 [9]. Зразки, які були виготовлені з одного прута арматурної сталі, мали однакове маркування.

Програмою випробувань передбачалось:

- виготовлення зразків з арматурної сталі для подальших випробувань при термічних впливах;
- проведення хімічного аналізу металу для уточнення класу арматурної сталі;
- визначення магнітних властивостей металу для виявлення однорідності матеріалу і бракування зразків;
- проведення випробувань виготовлених зразків при термічних впливах;
- проведення стандартних випробувань зразків на розтяг;

- визначення за результатами проведених випробувань класу арматурної сталі.

Випробувалися зразки 4 серій, які були вилучені з прутів арматурної сталі класів А240, А400, А500, А600 відповідно. Довжина кожного із зразків, які були взяті з прутів, становила 400 мм. Частина зразків (2 шт.) були випробувані в стані постачання при кімнатній температурі на розривній машині ГРМ-2М. Для проведення випробувань при термічних впливах з арматурної сталі $\varnothing 12$ мм на токарному верстаті виготовлялися зразки згідно з вимогами ГОСТ 1497-84 [10] (Додаток 2, тип II), які мали вигляд гантелей із стовщеннями на кінцях. Довжина зразків становила 100 мм, діаметр робочої частини становив 6 мм (рис. 1). Випробування проводилися на розривній машині УМ-4Р, яка може розвивати максимальне зусилля розтягу 40 кН. Нагрівання зразків до максимальної температури 1000 °С виконувалося за допомогою трубчастої електропечі. Температура нагріву контролювалася за допомогою термопар «платина-родій-платина» і фіксувалася за допомогою приладу КСП-3П. Після встановлення зразка в розривну машину виконувався розігрів до фіксованої температури (100 °С, ..., 700 °С з інтервалом 100 °С). Після витримки при фіксованій температурі протягом 30 хв. виконувалося випробування на розтяг протягом 2-3 хв. Вигляд обладнання для проведення випробувань наведено на рис. 2.



Рис. 1. Виготовлення експериментальних зразків з арматури періодичного профілю



Рис. 2. Загальний вигляд обладнання для проведення випробувань при термічних впливах

У ході проведення випробувань отримані такі наукові результати.

1. Для всіх випробуваних зразків залежність межі міцності від температури має схожий характер: при зміні температури від 20 °С до 200...300 °С межа міцності збільшується, а потім починає зменшуватися. При температурі 700 °С межа міцності дорівнює приблизно 0,1 від величини межі міцності при 20 °С (рис. 3).

2. Межа текучості для всіх випробуваних зразків зі збільшенням температури зменшується і має вигляд пологої кривої (рис. 4).

3. Коефіцієнт зниження нормативного опору арматурної сталі зі збільшенням температури зменшується і має вигляд пологої кривої. Наведені в проекті ДСТУ-Н Б В.2.6-XX:200X [8] криві (рис. 4.2а, 4.2б) суттєво відрізняються від кривих, які були отримані в ході проведення експерименту.

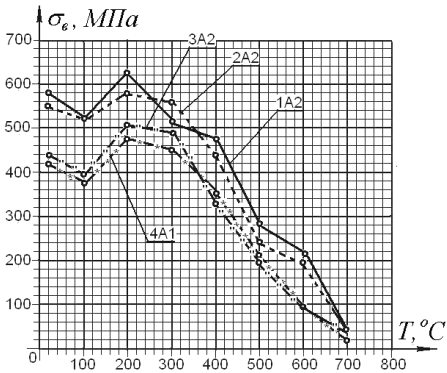


Рис. 3. Залежності межі міцності від температури

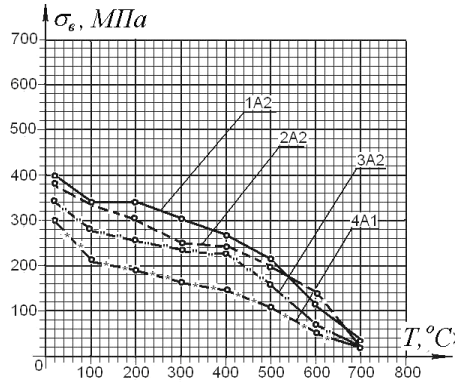


Рис. 4. Залежність межі текучості від температури

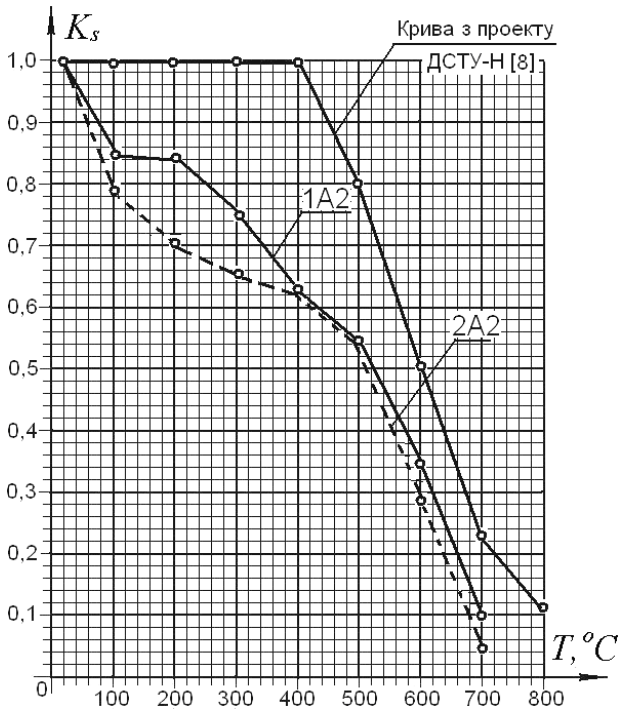


Рис. 5. Залежність коефіцієнта зниження нормативного опору від температури

Бетон при нагріванні також втрачає свої властивості. Це відбувається за рахунок зменшення вільної води в порах бетону (рис. 6). На цьому

рисунку: $R_{b,tem}$ – призмova міцність у залежності від температури, %;
 $R_{bt,tem}$ – міцність на розтяг у залежності від температури, %.

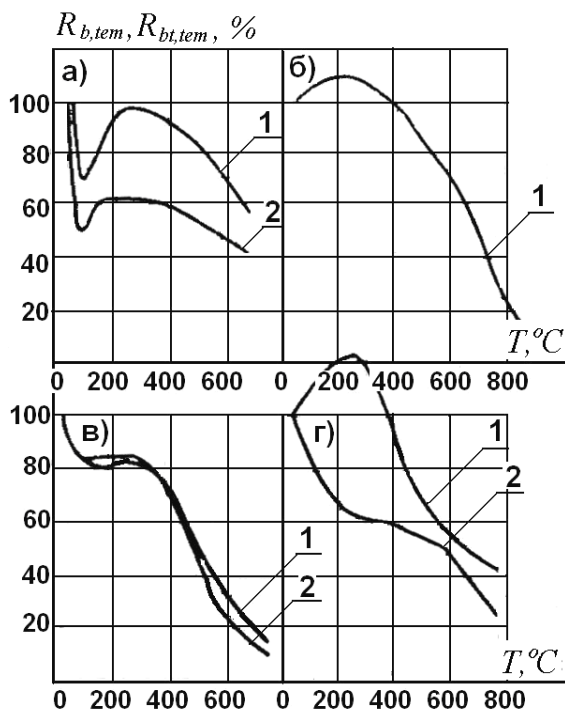


Рис. 6. Вплив нагрівання на призмovu міцність (крива 1) і міцність на розтяг (крива 2) [1]: а) звичайного важкого бетону; б) керамзитобетону; в) високоміцного бетону; г) керамзитоперлитобетону

Залежності зміни характеристик міцності можуть бути отримані безпосередньо з рис. 6 або розраховані будь-яким відомим методом, наприклад, методом найменших квадратів. Формули, отримані із застосуванням методу найменших квадратів для призмовой міцності, мають вигляд:

для керамзитобетону

$$\frac{R_{b,tem}}{R_b} = 0,98 + 0,102 \cdot \left(\frac{T}{100}\right) - 0,02555 \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^2; \quad (1)$$

для важкого бетону на ділянці від 60 °C до 700 °C

$$\frac{R_{b,tem}}{R_b} = 0,6184 + 0,232 \cdot \left(\frac{T}{100}\right) - 0,03608 \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^2. \quad (2)$$

Графіки залежності « $R_{b,tem} / R_b - T$ » для керамзитобетону і важкого бетону, побудовані за формулами (1) і (2), наведено на рис. 7. На цьому рисунку: криві 1 побудовано за даними А.Ф. Мілованова [1] і рис. 6; теоретичні криві 2 побудовано відповідно за формулою (1) для керамзитобетону і формулою (2) для важкого бетону.

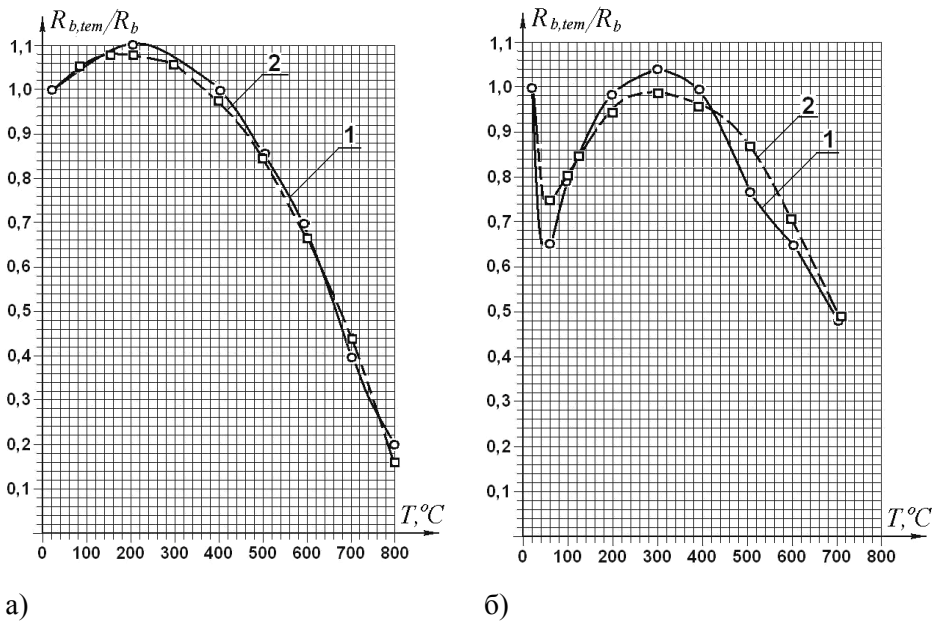


Рис. 7. Графіки залежності « $R_{b,tem} / R_b - T$ » для керамзитобетону (а) і важкого бетону (б)

Як видно з цього рисунку, теоретичні криві 2 доволі близько співпадають з експериментальними кривими 1, що дозволяє зробити висновок про можливість використання формул (1) і (2) для подальших розрахунків конструкцій.

Збільшення температури матеріалу сприяє зниженню його модуля пружності, тобто деформативність конструкції при цьому збільшується.

Модуль пружності конструкційних матеріалів при збільшенні температури знижується. Загальний вигляд зміни модуля пружності бетону від температури наведений на рис. 8.

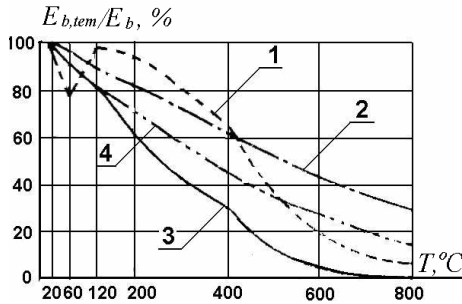


Рис. 8. Залежності « $E_{b,tem} / E_b - T$ » [1]:
крива 1 – для звичайного важкого бетону;
крива 2 – для керамзитобетону;
крива 3 – для високоміцного бетону;
крива 4 – для керамзитоперлітобетону

Залежності зміни модуля пружності бетону від температури можуть бути отримані по аналогії із залежностями для міцності бетону методом найменших квадратів. Формули, отримані із застосуванням методу найменших квадратів для модуля пружності, мають вигляд:

для керамзитобетону

$$\frac{E_{b,tem}}{E_b} = 1,025 - 0,121 \cdot \left(\frac{T}{100}\right) + 0,00367 \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^2; \quad (3)$$

для важкого бетону на ділянці від 120 °С до 800 °С

$$\frac{E_{b,tem}}{E_b} = 1,2 - 0,14 \cdot \left(\frac{T}{100}\right) - 0,0012 \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^2. \quad (4)$$

Графіки залежності « $E_{b,tem} / E_b - T$ » для керамзитобетону і важкого бетону, побудовані за формулами (3) і (4), наведені на рис. 9. На цьому рисунку: криві 1 побудовані за даними А.Ф. Мілованова [1] і рис. 8; теоретичні криві 2 побудовані відповідно за формулою (3) для керамзитобетону і формулою (4) для важкого бетону.

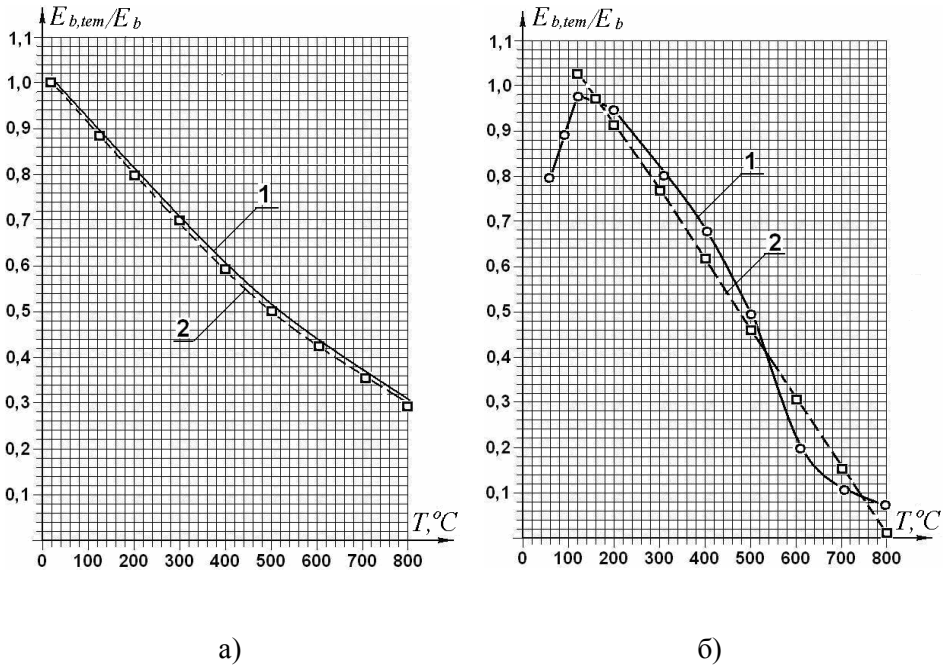


Рис. 9. Графіки залежності « $E_{b,tem} / E_b - T$ » для керамзитобетону (а) і важкого бетону (б)

Як видно з цього рисунку, теоретичні криві 2 доволі близько співпадають з експериментальними кривими 1, що дозволяє зробити висновок про можливість використання формул (3) і (4) для подальших розрахунків конструкцій.

Для визначення межі вогнестійкості з умови настання граничного стану по несучій здатності необхідно виконати статичну (міцнісну) частину розрахунку. У статичній частині обчислюють несучу здатність конструкцій, що нагріваються при пожежі, з урахуванням зміни характеристик міцності матеріалів при високих температурах.

Висновки. На основі проведених досліджень зроблено наступні висновки. Встановлено характер зміни міцності арматури від високотемпературних впливів. Для всіх випробуваних зразків залежність межі міцності від температури має схожий характер: при зміні температури від 20 °C до 200...300 °C межа міцності збільшується, а потім починає зменшуватися. Межа текучості для всіх випробуваних зразків зі збільшенням температури зменшується і має вигляд пологої кривої.

Коефіцієнт зниження нормативного опору арматурної сталі зі збільшенням температури зменшується. Наведені в проекті ДСТУ-Н Б В.2.6-XX:20XX [8] криві суттєво відрізняються від кривих, які були отримані в ході проведення експерименту.

Запропоновано залежності, які дозволяють враховувати зміну модуля пружності та призмової міцності різних бетонів у залежності від температури як для проєктованих конструкцій, так і тих, що знаходяться в експлуатації.

Література

- [1] Милованов А. Ф. Огнестойкость железобетонных конструкций / А. Ф. Милованов. – М. : Стройиздат, 1986. – 224 с.
- [2] Мосалков И. Л. Огнестойкость строительных конструкций / И. Л. Мосалков, Г. Ф. Плюснина, А. Ю. Фролов. – М. : Спецтехника, 2001. – 484 с.
- [3] Фомин С.Л. Огнестойкость железобетонных плит, работающих в двух направлениях / С. Л. Фомин // Будівельні конструкції : міжвідом. наук.-техн. зб. / НДІБК. – К. : НДІБК, 2007. – Вип. 67. – С. 361–372.
- [4] Бетонные и железобетонные конструкции, предназначенные для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур : СНиП 2.03.04–84 / Госстрой СССР. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 54 с.
- [5] Пожежна безпека об'єктів будівництва : ДБН В.1.1-7-2002. – Офіц. вид. – К. : Держбуд України, 2003. – 41 с. – (Захист від пожежі. Державні будівельні норми)
- [6] Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги : ДСТУ Б В.1.1-4-98* – Офіцію вид. – К. : Держбуд України, 2005. – 18 с. – (Захист від пожежі. Державний стандарт України)
- [7] Навантаження і впливи. Норми проєктування ДБН В.1.2-2:2006. – Офіц. вид. – К. : Мінбуд України, 2006. – 60 с. – (Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Державні будівельні норми)
- [8] Проєктування залізобетонних конструкцій. Основні положення. Вогнестійкість : ДСТУ-Н Б В.2.6-XX:20XX. – Проєкт / Мінрегіонбуд України, 20XX. – 75 с.
- [9] Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови : ДСТУ 3760:2006. – [Чинний від 11.12.2006]. – К. : Держспоживстандарт України, 2007. – 26 с.
- [10] Металлы. Методы испытания на растяжение : ГОСТ 1497–84*. – Введ. с 01.01.86. – М. : ИПК Изд-во стандартов, 1986. – 36 с.
- [11] Металлы. Методы испытаний на растяжение при повышенных температурах : ГОСТ 9651–84*. – Введ. с 01.01.86. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 6 с.

Надійшла до редколегії 21.07.2011 р.