

УДК 69.056.53

## ПРОГНОЗ ДОВГОВІЧНОСТІ БЕТОНУ ЗАХИСНОГО ШАРУ СТІНОВИХ ПАНЕЛЕЙ ВЕЛИКОПАНЕЛЬНИХ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ СЕРІЇ 1-480 ПО КРИТЕРІЮ КАРБОНІЗАЦІЇ

МАХІНЬКО М.М.<sup>1\*</sup>, к.т.н., доц.

<sup>1\*</sup> Кафедра залізобетонних і кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського 24а, Дніпропетровськ 49600, Україна, тел. +38 (0562) 47-03-19, e-mail: kolia27-85@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5541-8672

**Анотація. Актуальність.** Довговічність є найважливішою властивістю і показником надійності, в якій закладена здатність до тривалої експлуатації при необхідному технічному обслуговуванні, включаючи різні види ремонту. Довготривалі кліматичні впливи являють собою важний фактор, що робить істотний вплив на поточний стан незахищених поверхневих, а також глибинних шарів огорожувальних та несучих конструкцій. Всі дослідження за прогнозом карбонізації бетону захисного шару розроблені для стаціонарних процесів, коли температура повітря і вологість постійна. У реальних умовах температура і вологість зовнішнього повітря змінюються на протязі року. Ці обставини необхідно враховувати при вдосконаленні методики оцінки та прогнозу довговічності бетону захисного шару за критерієм карбонізації. Відзначається, що особливої уваги вимагають вертикальні і горизонтальні стики панелей і, насамперед, їх з'єднання на металевих закладних деталях, найчастіше схильних до корозії. Спільним для цих серій поширеним видом пошкоджень є утворення тріщин в стиках зовнішніх стінових панелей, внаслідок чого відбувається руйнування з'єднувальних елементів і проникнення вологи в квартири, виникнення вогкості, гнилі і порушення стійкості і просторової жорсткості будівель. **Метою** даної статті є прогноз довговічності, бетону захисного шару стінових панелей великопанельних житлових будівель серії 1-480 по критерію карбонізації. **Результати.** Виконані прогнозні розрахунки часу карбонізації бетону захисного шару товщиною 20, 30, 40 мм арматурних зв'язків вертикальних стиків стінових панелей великопанельних житлових будівель серії 1.480 для кліматичних умов м.Дніпропетровська при витраті портландцементу в бетоні 250 і 300 кг / м<sup>3</sup> і водоцементному відношенні В/Ц = 0,5. **Наукова новизна та практична значимість.** Виконано оцінку і прогноз довговічності великопанельних житлових будинків з урахуванням кінетики корозії бетону і арматурних зв'язків. **Ключові слова:** великопанельний житловий будинок; довговічність; корозія бетону; карбонізація; серія 1-480.

## ПРОГНОЗ ДОЛГОВЕЧНОСТИ БЕТОНА ЗАЩИТНОГО СЛОЯ СТЕНОВЫХ ПАНЕЛЕЙ КРУПНОПАНЕЛЬНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ СЕРИИ 1-480 ПО КРИТЕРИЮ КАРБОНИЗАЦИИ

МАХІНЬКО Н.Н.<sup>1\*</sup>, к.т.н., доц.

<sup>1\*</sup> Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение „Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры”, ул. Чернышевского 24а, Днепропетровск 49600, Украина, тел. +38 (0562) 47-03-19, e-mail: kolia27-85@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5541-8672

**Аннотация.** Долговечность является важнейшим свойством и показателем надежности, в которые заложена способность к длительной эксплуатации при необходимом техническом обслуживании, включая различные виды ремонта. Долговременные климатические воздействия представляют собой важный фактор, оказывающий существенное влияние на текущее состояние незащищенных поверхностных, а также глубинных слоев ограждающих и несущих конструкций. Все исследования по прогнозу карбонизации бетона защитного слоя разработаны для стационарных процессов, когда температура воздуха и влажность постоянная. В реальных условиях температура и влажность наружного воздуха изменяются в течении года. Эти обстоятельства необходимо учитывать при совершенствовании методики оценки и прогноза долговечности бетона защитного слоя по критерию карбонизации. Отмечается, что особого внимания требуют вертикальные и горизонтальные стыки панелей и, прежде всего, их соединения на металлических закладных деталях, чаще всего подверженных коррозии. Общим для этих серий распространенным видом повреждений является образование трещин в стыках наружных стеновых панелей, вследствие чего происходит разрушение соединительных элементов и проникновение влаги в квартиры, возникновение сырости, гнили и нарушение устойчивости и пространственной жесткости зданий. **Целью** данной статьи является прогноз долговечности, бетона защитного слоя стеновых панелей крупнопанельных жилых зданий серии 1-480 по критерию карбонизации. **Результаты.** Выполнены прогнозныe расчеты времени карбонизации бетона защитного слоя толщиной 20, 30, 40 мм арматурных связей вертикальных стыков стеновых панелей крупнопанельных жилых зданий серии 1.480 для климатических условий г. Днепропетровска при расходе портландцемента в бетоне 250 и 300 кг/м<sup>3</sup> и водоцементном отношении В/Ц = 0,5. **Научная новизна и практическая значимость.** Выполнена оценка и прогноз долговечности крупнопанельных жилых зданий с учетом кинетики коррозии бетона и арматурных связей. **Ключевые слова:** крупнопанельное жилое здание; долговечность; коррозия бетона; карбонизация; серия 1-480.

## FORECAST DURABILITY OF CONCRETE PROTECTIVE LAYER WALL PANEL LARGE RESIDENTIAL BUILDINGS SERIES 1-480 CRITERION CARBONIZATION

MAKHINKO M.M. <sup>1\*</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Ass.-prof.*

<sup>1\*</sup> Department of Reinforce-Concrete and Stone Structures, State Higher Education Establishment "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", Chernyshevsky St. 24a, Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-03-19, e-mail: kolia27-85@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5541-8672

**Abstract. Relevance.** Durability is an important property and reliability, which provide the ability to long-term operation at the required maintenance, including various types of repairs. Long-term climate effects are factor that has a significant impact on the current state of superficial and deep layers of fencing and designs. All studies forecast carbonation of concrete protective layer designed for stationary processes, when the temperature and humidity constant. In actual conditions, the temperature and humidity of the outside air change throughout the year. These factors must be considered when assessing and improving the methods of forecasting durability of concrete protective layer on the criterion of carbonation. It is noted that special attention should be vertical and horizontal joints of panels and, above all, their connection to the embedded metal parts, often prone to corrosion. Common to these series common type of damage is the formation of cracks in the joints of exterior wall panels, whereby the connecting elements are destroyed and the permeation of moisture in the flat, the occurrence of moisture, rot and impaired spatial rigidity and stability of buildings. **The purpose** of this paper is to forecast the durability, protective layer of concrete wall panels of large residential buildings series 1-480 criterion carbonation. **Results.** Submitted forecast calculations time carbonation of concrete protective layer thickness of 20, 30, 40 mm rebar connections vertical joints of wall panels of large residential buildings 1.480 series for the climatic conditions of Dnepropetrovsk at a rate of portland cement in concrete 250 and 300 kg / m<sup>3</sup> and water-cement ratio W/C = 0.5. **Scientific novelty and practical significance.** The estimation and prediction of the durability of large residential buildings, taking into account the kinetics of corrosion of concrete and reinforcing relationships. **Keywords:** Large panel residential building; durability; carbonization; series 1-480.

### Введение

Долговременные климатические воздействия представляют собой важный фактор, оказывающий существенное влияние на текущее состояние незащищенных поверхностных, а также глубинных слоев ограждающих и несущих конструкций. Скорость карбонизации бетона зависит от состава бетона (в особенности, от расхода и вида цемента), проницаемости бетона, технологии изготовления бетона (в том числе условий твердения), температурно-влажностных условий эксплуатации, концентрации углекислого газа в воздушной среде, а также ряда других факторов. При воздействии агрессивных газовых сред на железобетонные конструкции возможна нейтрализация бетона защитного слоя и коррозия стальной арматуры. Коррозия стали в бетоне, может подразделяться на фазу от изготовления железобетонной конструкции до депассивации стальной поверхности вследствие карбонизации или действия ионов - активаторов и следующую фазу - непосредственно коррозии. До момента депассивации поверхности стали арматуры ее коррозия исключена. Защита от коррозии арматурной стали, расположенной в бетоне, обеспечивается нерастворимой оксидной пленкой на поверхности арматуры, которая образуется и существует в щелочной среде бетона при pH > 11.5 и обуславливает пассивное состояние стали [8]. Многочисленные исследования доказывают экономическую целесообразность применения, в первую очередь, первичной защиты для железобетона [1, 2]. Вторичная защита должна применяться в том случае, когда исчерпаны резервы первичной защиты. В [1] приводится

технико-экономический расчет сравнительной эффективности средств первичной защиты, вплоть до увеличения размеров сечений конструкций, данные которого свидетельствуют, что вторичная защита покрытиями значительно дороже и сложнее.

В настоящее время накоплены результаты исследований [1, 10], позволяющие рассчитать кинетику коррозионных процессов в различных средах. Учет кинетики коррозионных повреждений на стадии проектирования позволяет создавать конструкции на заданный рациональный срок службы в конкретных условиях эксплуатации.

Все исследования по прогнозу карбонизации бетона защитного слоя разработаны для стационарных процессов, когда температура воздуха и влажность постоянная. В реальных условиях температура и влажность наружного воздуха изменяются в течении года. Эти обстоятельства необходимо учитывать при совершенствовании методики оценки и прогноза долговечности бетона защитного слоя по критерию карбонизации.

При карбонизации (нейтрализации) бетона защитного слоя при определенных условиях (наличии влаги и кислорода) в арматуре могут возникать микрогальванические пары в силу его химической неоднородности и протекать процесс коррозии арматурных связей.

В оценке эксплуатационных качеств стыков наружных стен крупнопанельных зданий особое место занимает их воздухопроницаемость. Цементно-песчаные растворы, которые использовались для заполнения стыков, не обладают эластичностью и разрушаются в результате осадочных и температурно-влажностных деформаций, испытываемых наружными стеновыми панелями.

Образование трещин в цементном растворе приводит к повышенной воздухопроницаемости стыков.

### Цель

**Целью** данной статьи является прогноз долговечности, бетона защитного слоя стеновых панелей крупнопанельных жилых зданий серии 1-480 по критерию карбонизации.

### Изложение основного материала

**Объект исследования:** В расчете времени карбонизации бетона в естественных климатических условиях принимается только период с положительной температурой, временной промежуток времени с отрицательной температурой не учитывается.

В исследовании времени карбонизации бетона защитного слоя арматурных связей в стыках стеновых панелей температура и относительная влажность наружного воздуха принималась для условий г. Днепропетровска согласно [13].

Графики среднемесячного изменения температуры и влажности для г. Днепропетровска приведены на рис.1 и рис.2, соответственно. В соответствии с графиком изменения температуры при расчете глубины карбонизации бетона защитного слоя железобетонных конструкций в условиях атмосферной коррозии г. Днепропетровска необходимо учитывать помесячные положительные температуры с 3 по 11 месяц. На этом годовом промежутке времени относительная влажность наружного воздуха изменяется в пределах от 62 до 87% ( см. рис.2).

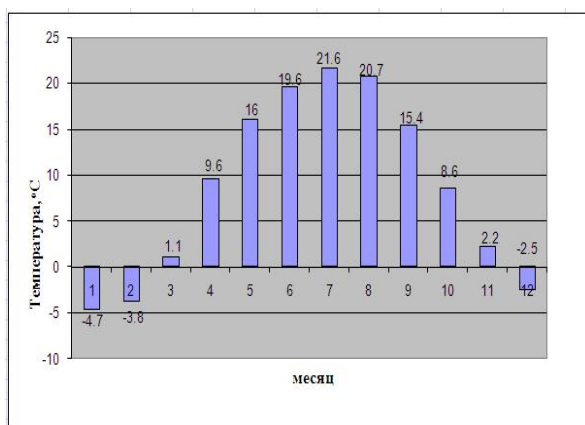


Рис.1. График годового изменения средней температуры наружного воздуха для г. Днепропетровска / Schedule annual change in the average outdoor temperature for the city of Dnipropetrovsk.

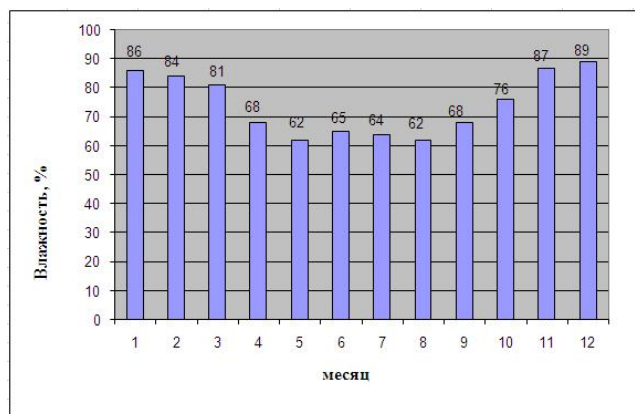


Рис.2. График изменения среднемесячной относительной влажности для г. Днепропетровска / Schedule changes in the average monthly relative humidity to Dnipropetrovsk.

В [2] приведены экспериментальные зависимости для коэффициента диффузии углекислого газа в зависимости от водоцементного отношения и относительной влажности.

На основе представленных экспериментальных данных получены зависимости для вычисления эффективного коэффициента диффузии в зависимости от наиболее значимых параметров - относительной влажности воздуха и водоцементного отношения, характеризующего структуру бетона или его проницаемость (степень доступности внутренней поверхности бетона):

$$\text{при } \varphi = 60\% \quad D_0 = 10^{-4} \cdot 10^{(WC - 0.4) / 0.27} \quad (1)$$

$$\text{при } \varphi = 90\% \quad D_0 = 10^{-4} \cdot 10^{(WC - 0.7) / 0.2} \quad (2)$$

где  $D_0$  - эффективный коэффициент диффузии углекислого газа в бетоне;

WC - водоцементное отношение бетона.

Принимая линейную интерполяцию для влияния влажности наружного воздуха и водоцементного отношения бетона на значение эффективного коэффициента диффузии при  $W/C=0,5$  для эффективного коэффициента диффузии углекислого газа в диапазоне относительной влажности (60-90)% получено выражение:

$$D_{\varphi}(60-90) = 1 \cdot 10^{-5} + 0,333 \cdot 10^{-5} (90 - \varphi); \quad (3)$$

где  $D_{\varphi}(60-90)$  - эффективный коэффициент диффузии углекислого газа в бетоне при относительной влажности воздуха в диапазоне 60 - 90%;

$\varphi$  - относительная влажность наружного воздуха, %.

Формула для расчета времени (год) карбонизации бетона защитного слоя арматуры имеет вид:

$$\tau_{carb} = \frac{a}{\sum_{i=1}^n y_i}; \quad (4)$$

где  $a$  – величина защитного слоя бетона;

$\sum_{i=1}^n y_i$  – глубина карбонизации бетона защитного

слоя арматуры за один календарный год;

$y_i$  – глубина карбонизации бетона защитного слоя для  $i$ -го месяца с положительной температурой:

$$y_i = \sqrt{\frac{2D_i C_0 \tau_i}{m_0}}; \quad (5)$$

где  $D_i$  – эффективный коэффициент диффузии  $CO_2$  в бетоне в  $i$  – том месяце в зависимости от температуры и влажности наружного воздуха;

$C_0$  – объемная концентрация газа, %;

$\tau_i$  – время взаимодействия на протяжении рассматриваемого месяца;

$m_0$  – реакционная способность бетона.

Влияние температуры на величину эффективного коэффициента диффузии возможно учесть с использованием зависимостей (6), (7):

$$D = D_0 \cdot \xi_T; \quad (6)$$

$$\xi_D = \left( \frac{273+t}{273} \right)^{1.75}; \quad (7)$$

где  $D_0$  – коэффициент диффузии газа в бетоне при  $t = 0^\circ C$ ;

$t$  – температура окружающей среды,  $^\circ C$ .

С использованием полученных зависимостей выполнена оценка времени карбонизации бетона защитного слоя арматурных связей стыков панелей крупнопанельных жилых зданий для климатических условий г. Днепропетровска. При этом концентрация углекислого газа в городских условиях принималась равной  $2000 \text{ мг/м}^3$  (соответствует группе А по СНиП 2.03.11–85). Номинальные характеристики бетона защитного слоя арматурных связей вертикальных стыков, как указывалось ранее, согласно нормативной документации [14] следующие – расход цемента  $250 \text{ кг/м}^3$ , величина защитного слоя –  $30 \text{ мм}$ . Учитывая возможные отклонения в номинальных характеристиках бетона защитного слоя от проектных прогнозов долговечности бетона защитного слоя по критерию карбонизации выполнялся не только при номинальных значениях характеристик, но и с учетом возможных отклонений.

Для величины защитного слоя прогноз времени карбонизации выполнялся при значениях  $20, 30, 40 \text{ мм}$ ; для расхода цемента в бетоне принимались значения  $250$  и  $300 \text{ кг/м}^3$ .

Данные расчетов по зависимости (5) свидетельствуют, что скорость карбонизации бетона защитного слоя арматурных связей в стыках стеновых панелей составляет  $1,04 \text{ мм/год}$  при расходе портландцемента  $250 \text{ кг/м}^3$  и  $0,95 \text{ мм/год}$  при содержании портландцемента  $300 \text{ кг/м}^3$ .

Следовательно, по зависимости (4) время карбонизации бетона защитного слоя величиной  $20 \text{ мм}$  составляет  $19$  лет,  $30 \text{ мм}$  –  $29$  лет,  $40 \text{ мм}$  –  $39$  лет при расходе портландцемента  $250 \text{ кг/м}^3$  и  $V/C = 0,5$ . При расходе портландцемента  $300 \text{ кг/м}^3$  и  $V/C = 0,5$  время карбонизации бетона защитного слоя величиной  $20 \text{ мм}$  составляет  $22$  года,  $30 \text{ мм}$  –  $32$  года,  $40 \text{ мм}$  –  $42$  года.

Графики времени карбонизации бетона защитного слоя арматурных связей вертикальных стыков стеновых панелей крупнопанельных жилых зданий серии 1.480 для климатических условий г. Днепропетровска при расходе портландцемента в бетоне  $250$  и  $300 \text{ кг/м}^3$  и водоцементном отношении  $V/C = 0,5$  приведены на рис. 3.

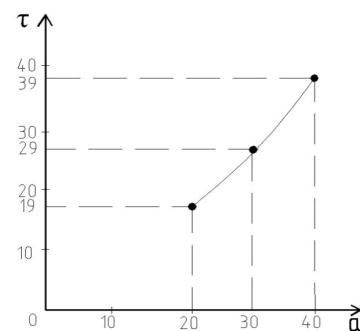


Рис. 3. Время карбонизации защитного слоя бетона при расходе портландцемента  $250 \text{ кг/м}^3$  / Time carbonation of concrete cover at a rate of Portland cement  $250 \text{ kg/m}^3$ .

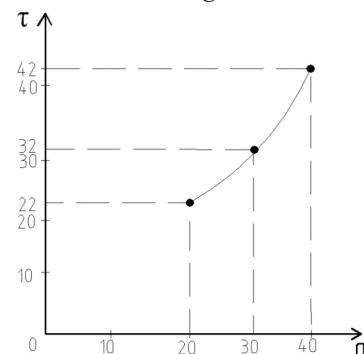


Рис. 4. Время карбонизации защитного слоя бетона при расходе портландцемента  $300 \text{ кг/м}^3$  / Time carbonation of concrete cover at a rate of Portland cement  $300 \text{ kg/m}^3$ .

Учитывая, что строительство крупнопанельных зданий первых массовых серий осуществлялось в 60-х годах прошлого века, то за срок их эксплуатации (50 лет), согласно результатов расчета, возможно ожидать полной карбонизации бетона защитного слоя даже при отклонении номинальных параметров бетона защитного слоя в благоприятную (увеличения) сторону. Поэтому существует реальная опасность начала процесса депассивации стали арматурных связей и возникновения процесса коррозии арматуры.

#### Научная новизна и практическая значимость

Усовершенствована методика оценки долговечности бетона защитного слоя по критерию пассивации при атмосферной коррозии. На основе экспериментальных данных о механизме взаимодействия кислых газов с активными компонентами цементного камня усовершенствован метод оценки долговечности бетона защитного слоя по критерию карбонизации в части учета температуры и влажности.

#### Выводы

1. Выполнены прогнозные расчеты времени карбонизации бетона защитного слоя толщиной 20, 30, 40 мм арматурных связей вертикальных стыков стеновых панелей крупнопанельных жилых зданий серии 1.480 для климатических условий г. Днепропетровска при расходе портландцемента в бетоне 250 и 300 кг/м<sup>3</sup> и водоцементном отношении В/Ц = 0,5.

Данные проведенных расчетов свидетельствуют, что диапазон долговечности бетона защитного слоя для этих исходных данных составляет 19 – 42 года. Учитывая фактический срок службы зданий первых массовых серий настройки 60 – х годов к сегодняшнему времени около 50 лет существует реальная опасность депассивации арматуры и начала коррозии арматуры.

#### ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

- Алексеев С. Н. Коррозионная стойкость железобетонных конструкций в агрессивной промышленной среде. – М.: Стройиздат, 1976. – 205 с. Alekseev S.N. Corrosion resistance of reinforced concrete structures in aggressive industrial environments. - M.: Stroyizdat, 1976. - 205 p.
- Алексеев С. Н. Перспективы использования методов первичной защиты конструкций / Бетон и железобетон. – 1990. – №3. – С. 13–15. Alekseev S.N. Perspective of the primary protection structures / concrete and reinforced concrete. - 1990. - №3. - P. 13-15.
- Ресурс залізобетонних конструкцій / Є. В. Клименко, В. С. Дорофеев // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса: ОДАБА, 2012. – Вип. 47, частина 2. – С. 111-117. Resource concrete structures / E,V Klimentko, V.S, Dorofeev // Bulletin of the Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture. - Odessa: ODABA, 2012. - Vol. 47, Part 2. - P. 111-117.
- Дудышкина Л. А. Ремонт полносборных жилых зданий. - М.: Стройиздат, 1988. – 223 с. Dudyshkina LA Repair prefabrication of residential buildings. - M.: Stroyizdat, 1988. - 223 p.
- Пунагин В. Н. Долговечность бетонных и железобетонных изделий и конструкций: Учеб. Пособие. – К.: УМК ВО, 1988. – 112 с. Punagin VN durability of concrete and concrete products and konstruksiy: Proc. Allowance. - K.: UMC VO, 1988. - 112 p.
- Исследование вертикальных стыков наружных стен крупнопанельных зданий, возводимых в обычных условиях. Работа конструкций жилых зданий из крупнопанельных элементов, труды ЦНИИЭП жилища – М.: Госстройиздат, 1963. С.134 - 145. Investigation of vertical joints of exterior walls of large buildings erected in normal. Work of residential buildings of large-elements works TSNIIEPzhilishcha - M: Gosstroizdat, 1963. P.134 - 145.
- Araldsen P.O. The finite element method using super elements. The SESAM-69 system / P. O. Araldsen, E. M. Rosen // conf On Modern and design. Berkley: University of California. – 1970.
- Соколов Б. С. Прочность горизонтальных стыков железобетонных конструкций. – М.: Стройиздат, 2010. – 189 с. Sokolov B.S. Strength concrete konstruksiy horizontal joints. - M.: Stroyizdat, 2010. - 189 p.
- Патон Б. Е. Проблемы ресурса конструкций, сооружений и оборудования в Украине. Будівельні конструкції. – 2001. – Вип.54. – С. 18–23. Paton B.E. Problems life of structures, facilities and equipment in Ukraine. Budivelni konstruksii. - 2001. - Iss.54. - S. 18-23.
- Лепский В. И. Полносборные конструкции общественных зданий. – М.: Стройиздат, 1986. – 236 с. Lepsky V.E. prefabrication construction of public buildings. - M.: Stroyizdat, 1986. - 236 p.
- Inomata S. Comparative Study on Behaviour of Prestressed and Reinforced Concrete Beams Subjected to Reversed Loading / Inomata S. -Journal of Japan Prestressed Concrete Engineering Association. Vol. 11, No 1, March, 1969.
- American Concrete Institute. Building code requirements for reinforced concrete (ACI 318-77) // Chapter 10. Included in: ACI Manual of concrete practice 1978. Part 2. – Detroit, 1978. – 180 p.
- ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія. – К.: Мінірегіонбуд України, 2011. – 123 с. DSTU-N B V.1.1-27:2010. Budiveln'a klimatologija [Civil Engineering Climatology]. – K.: Minregionbud Ukraïni, 2011. – 123 pp.