



ISSN 1993-3495 online

СОВРЕМЕННОЕ ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО
СУЧАСНЕ ПРОМИСЛОВЕ ТА ЦИВІЛЬНЕ БУДІВНИЦТВО
MODERN INDUSTRIAL AND CIVIL CONSTRUCTION

2023, ТОМ 19, НОМЕР 1, 15–22

EDN: EBPLSR

УДК 624.01.046

ЗАВИСИМОСТЬ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОТ ИХ ПАРАМЕТРОВ И ТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В. Н. Левченко¹, Е. А. Дмитренко², Н. А. Невгень³, Д. С. Рябовол⁴, И. А. Храмогина⁵

ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,
2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, Российская Федерация, 286123.

E-mail: ¹ mailbox@dgasa.dn.ua, ² d.e.a_2008@mail.ru, ³ n.a.nevgen@donnasa.ru,
⁴ ryabovol.d.s-zpgs-53v@donnasa.ru, ⁵ hramogina.i.a-zpgs-53@ donnasa.ru

Получена 28 февраля 2023; принята 24 марта 2023.

Аннотация. Проблемы долговечности привлекают заметное и все возрастающее внимание в строительном мире. Это объясняется тем, что значительная часть зданий, сооружений и объектов инфраструктуры возведена 50–70 лет назад и находится в настоящее время в изношенном состоянии. Многоплановая проблема долговечности железобетонных конструкций зданий и сооружений представляет собой совокупность ряда взаимосвязанных проблем: технологичности, надежности, экономичности, а также экологических аспектов. Ее решение должно осуществляться на основе системного подхода. В то же время в области долговечности еще много неясного; часто рассмотрение ограничивается практическим или даже коммерческим уровнями, и для дальнейшего продвижения необходимо решить ряд назревших проблем. Одна из важнейших – разработка современных методов прогнозирования долговечности или срока службы проектируемых элементов и конструкций. Другой существенной и актуальной проблемой является разработка практических методов повышения долговечности железобетонных конструкций инженерных сооружений, находящихся в эксплуатации. В статье изложены вопросы влияния свойств материалов и параметров конструкций на долговечность сооружений. В частности рассматриваются вопросы влияния свойств бетона на различных цементах от размеров поперечного сечения элемента, толщины защитного слоя бетона, расположения арматуры, наличия трещин и изменчивости этих параметров.

Ключевые слова: долговечность, надежность, параметры, коррозия, клинкер, воздействия.

ЗАЛЕЖНІСТЬ ДОВГОВІЧНОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ВІД ЇХ ПАРАМЕТРІВ ТА ТЕХНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

В. М. Левченко¹, Є. А. Дмитренко², М. О. Невгень³, Д. С. Рябовол⁴, І. О. Храмогіна⁵

ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,
2, вул. Державіна, м. Макіївка, ДНР, Російська Федерація, 286123.

E-mail: ¹ mailbox@dgasa.dn.ua, ² d.e.a_2008@mail.ru, ³ n.a.nevgen@donnasa.ru,
⁴ ryabovol.d.s-zpgs-53v@donnasa.ru, ⁵ hramogina.i.a-zpgs-53@ donnasa.ru

Отримана 28 лютого 2023; прийнята 24 березня 2023.

Анотація. Проблеми довговічності привертають помітну і зростаючу увагу в будівельному світі. Це пояснюється тим, що значна частина будівель, споруд та об'єктів інфраструктури зведена 50–70 років тому і перебуває нині у зношеному стані. Багатопланова проблема довговічності залізобетонних конструкцій будівель та споруд є сукупністю низки взаємопов'язаних проблем: технологічності, надійності, економічності, а також екологічних аспектів. Її рішення має здійснюватися з урахуванням системного



підходу. Одночасно у сфері довговічності багато незрозумілого; часто розгляд обмежується практичним і навіть комерційним рівнями, і для подальшого просування необхідно вирішити низку назрілих проблем. Одна з найважливіших – розробка сучасних методів прогнозування довговічності або терміну служби елементів і конструкцій, що проектуються. Іншою суттєвою та актуальною проблемою є розробка практичних методів підвищення довговічності залізобетонних конструкцій інженерних споруд, що знаходяться в експлуатації. У статті викладено питання впливу властивостей матеріалів та параметрів конструкцій на довговічність споруд. Зокрема розглядаються питання впливу властивостей бетону на різних цементах від розмірів поперечного перерізу елемента, товщини захисного шару бетону, розташування арматури, наявності тріщин і мінливості цих параметрів.

Ключові слова: довговічність, надійність, параметри, корозія, клінкер, впливи.

DEPENDENCE OF THE DURABILITY OF BUILDING STRUCTURES ON THEIR PARAMETERS AND TECHNICAL PROPERTIES OF BUILDING MATERIALS

Victor Levchenko ¹, Evgeniy Dmitrenko ², Nikolai Nevgen ³, Denis Riabovol ⁴,
Irina Khramogina ⁵

*FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture»,
2, Derzhavina Str., Makeyevka, DPR, Russian Federation, 286123.*

E-mail: ¹ mailbox@dgasa.dn.ua, ² d.e.a_2008@mail.ru, ³ n.a.nevgen@donnasa.ru,

⁴ ryabovol.d.s-zpgs-53v@donnasa.ru, ⁵ hramogina.i.a-zpgs-53@ donnasa.ru

Received 28 February 2023; accepted 24 March 2023.

Abstract. The problems of durability encourage particular attention in construction. It is accounted for by the fact that the majority of buildings, structures and municipal facilities were erected 50–70 years ago and they are already worn-out for now. A multi-scale problem of durability of ferroconcrete buildings and structures is a sum of total of such integrated problems as constructability, reliability, cost saving and ecological aspects. Its solution should be carried out on the basis of a systematic approach. There are still many uncertainties about the durability problem. Consideration of the problem is often confined to either practical or commercial levels. A range of urgent problems are to be solved for further advance. The most important one is the development of contemporary methods for prediction of durability or service life of designed elements and structures. Another essential problem is the development of techniques for increasing the durability of ferroconcrete structures in service. The article deals with the problems of material properties and construction parameters influence on durability of building structures. In particular, the issues of the influence of the properties of concrete composed on different cements on the dimensions of the cross-section of the element, the thickness of the concrete protective layer, the location of the reinforcement, the presence of cracks and the variability of these parameters are considered.

Keywords: durability, reliability, parameters, corrosion, clinker, influence.

Как известно, на долговечность железобетонных конструкций влияют вид вяжущего и плотность (непроницаемость) затвердевшего бетона. Эти свойства определяются минералогическим составом цементного клинкера, содержанием минеральных добавок, структурой цементного камня и бетона. Если условия производства бетонных работ при реконструкции или ремонте промышленных объектов не обуславливают

применение специальных цементов (быстротвердеющих, особо быстротвердеющих, тампонажных, расширяющихся и др.), вяжущее для бетона выбирают так же, как для вновь возводимого сооружения.

Сульфатостойкость бетона в значительной мере характеризуется содержанием C_3A в цементном клинкере. Промышленность выпускает сульфатостойкие портландцементы с содер-

жанием C_3A до 5 % с минеральными добавками и без них, сульфатостойкий шлакопортландцемент и другие низкоалюминатные цементы. Повышение сульфатостойкости бетонов достигается при применении барийсодержащих цементов. Например, по данным НИИЖБа при содержании в клинкере до 10 % окиси бария (вместо окиси кальция) бетоны на таком портландцементе оказываются стойкими в растворах сульфатов с концентрацией SO_2^{-4} до 20 г/л. Высокую стойкость в сульфатосодержащих средах показали и исследованные в Уральском Промстрой-НИИ проекте бетоны (низких классов по прочности) на бариево-шлаковом вяжущем. Несмотря на ограниченный выпуск таких цементов, применение их в условиях реконструкции, характеризующихся, как правило, сравнительно небольшими объемами бетонных работ, целесообразно и может дать экономический эффект.

Выполненные в Харьковском Промстрой-НИИ проекте исследования [5], выявили повышенную стойкость бетона на шлакопортландцементе и при сочетании таких воздействий, как периодический нагрев (при максимальной температуре, не превышающей 100 °С) и увлажнение сульфатсодержащими растворами. При этом наблюдалось монотонное повышение плотности бетона с увеличением количества циклов испытаний и затем более медленное разрушение, чем бетонов того же состава на сульфатостойком портландцементе (в натуральных условиях обследовались различные железобетонные элементы, эксплуатирующиеся в течение 5–35 лет). Замедленное во времени протекание коррозионных процессов объясняется структурообразующей ролью медленно гидратирующей шлаковой составляющей вяжущего. При температуре нагрева более 100 °С и в условиях попеременного замораживания бетоны на шлакопортландцементе уступают в стойкости бетонам на портландцементе. При других видах эксплуатационных воздействий влияние минералогического и вещественного состава вяжущего не столь существенно.

Интенсивность коррозии всех видов в значительной степени зависит от плотности бетона, поскольку степень его повреждения определяется в первую очередь количеством агрессивного компонента, проникающего из окружающей среды в бетон. Установлено, что

коррозионная стойкость плотного бетона при действии напора определяется теми же показателями, что при погружении бетона в агрессивный раствор без напора. Кроме того, качественно уплотненный бетон не пропускает воду. Выполненные в свое время в НИИЖБе расчеты показывают также, что коррозионный процесс не развивается, если коэффициент диффузии кислорода в бетоне не превышает $1-10^{-11}$ м²/с, а коэффициент диффузии хлоридов меньше $1-10^{-13}$ м²/с. Поэтому, проектируя реконструкцию объектов из бетонных и железобетонных конструкций, следует предусматривать применение бетонов высокой плотности. Это достигается выбором режима твердения и способа уплотнения, подбором гранулометрического состава заполнителя, введением уплотняющих добавок и т. д., что значительно повысит долговечность работы конструкций после реконструкции [4, 6].

Параметры железобетонных конструкций

На долговечности конструкций сказываются размеры поперечного сечения элементов, толщина защитного слоя бетона, расположение арматуры, наличие трещин, изменчивость этих параметров, а также свойств бетона (прочность, плотность и др.) [2, 8, 9].

Конструкции простых форм (с меньшим модулем поверхности), массивные (с большей концентрацией материала), не образующие непроветриваемых объемов, без полок, выступов и других мест скопления пыли испытывают относительно меньшие «удельные» агрессивные воздействия, чем тонкостенные или решетчатые элементы. С увеличением площади поперечного сечения конструкции уменьшается относительное влияние потери ее части вследствие коррозии бетона на несущую способность. Поэтому с учетом долговечности применение массивных элементов целесообразно.

Толщина защитного слоя бетона назначается в соответствии со СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции». При наиболее часто встречающихся толщинах защитного слоя (15...30 мм) и соответствующей плотности бетона пассивация арматуры для большинства воздействий газовой и жидкой среды может поддерживаться в течение времени, соизмери-

мого со сроками службы зданий, сооружений и основного оборудования промышленных объектов.

Наибольшие коррозионные повреждения возникают в конструкциях, не соответствующих требованиям однородности и плотности бетона и имеющих дефекты. Скорость повреждения бетона с уменьшением его плотности значительно возрастает. Агрессивность атмосферы металлургических комбинатов [1] характеризуется наличием пыли (в частности сульфата аммония) в районе коксохимического производства (в среднем $0,2...6,3 \text{ мг/м}^3$ при абсолютном максимуме $27,1 \text{ мг/м}^3$), содержанием углекислого газа от 0,02 до 0,40 % (среднее значение $0,05...0,06 \%$, т. е. примерно в 2 раза выше, чем в чистой атмосфере), сернистого ангидрида (от 0 до 27 мг/м^3 , в среднем $0,34...0,76 \text{ мг/м}^3$) при нормальной и повышенной влажности воздуха, атмосферных осадках с колебанием рН влаги от 6 до 9 ед. и периодическим снижением (при высоких концентрациях сернистого ангидрида в воздухе) до 4,5 ед. По данным Харьковского ПромстройНИИпроекта, скорость коррозии малоуглероди-

стой стали сталеплавильных и прокатных цехов в среднем составляет $0,05...0,07$, доменных – $0,07...0,09 \text{ мм}$ в год и др. Такая среда, в соответствии с нормами, классифицируется как слабо- и среднеагрессивная по отношению к железобетону. Кроме того, конструкции на открытом воздухе неизбежно подвергаются переменным температурно-влажностным воздействиям.

Газовоздушная среда прядильных цехов вязкозных производств содержит, мг/м^3 : $1...15$ сернистого газа, $1...80$ сероводорода, $20...100$ сероуглерода, $1...45$ аэрозоля серной кислоты. Относительная влажность воздуха составляет $80...90 \%$. Под влиянием указанных воздействий (степень агрессивности по СП 28.1330.2017 средняя и сильная) наблюдается два вида разрушения железобетонных конструкций – коррозия арматуры и откол бетона защитного слоя под давлением продуктов коррозии стали после нейтрализации бетона защитного слоя кислыми газами и кислотная коррозия бетона, а затем арматуры в случае периодического увлажнения бетона кислым конденсатом [2]. На рассматриваемых графиках (рис.) отра-

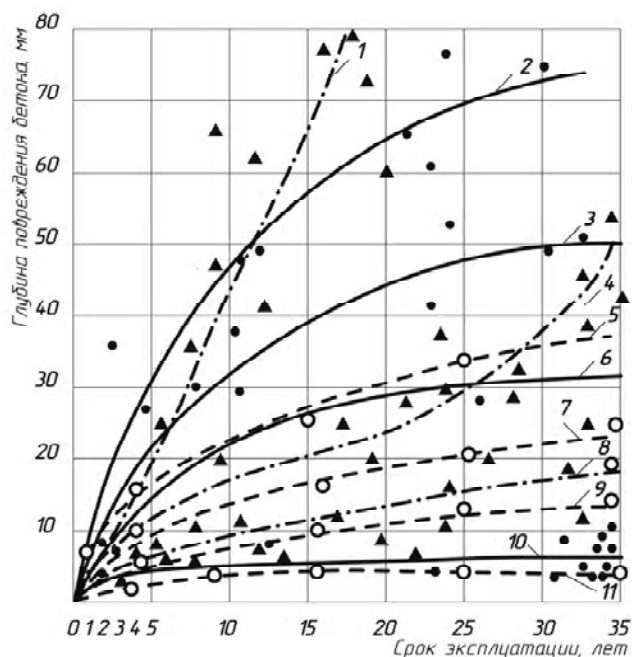


Рисунок 1. Скорость повреждения бетона в зависимости от его плотности и условий эксплуатации: 1, 2 – бетоны неплотные; 3, 4, 5 – бетоны нормальной плотности; 6, 7 – бетоны повышенной плотности; 8–11 – бетоны особой плотности.

жена кинетика повреждения бетона по первой схеме. Кривые 1, 4, 8 иллюстрируют интенсивность повреждений бетона в зоне переменного уровня грунтовых вод, периодического (частого) увлажнения паром, водой, конденсатом и высушивания конвективным и лучистым теплом при температуре до 90 °С. Средняя прочность бетона внутренних, не испытывавших интенсивных воздействий слоев обследованных конструкций, колебалась от 15 до 40 МПа, защитный слой – от 5 до 40 мм, сроки службы от 5 до 36 лет. За меру плотности бетона принималась величина водопоглощения, которая изменялась в диапазоне от 3 % и менее до 10 % и более. Фактическим сроком службы конструкции считался период от ввода объекта в эксплуатацию до степени ее физического износа, характеризуемой в соответствии с Руководством [7] категорией состояния III, т. е. состоянием, когда существуют повреждения, свидетельствующие о снижении несущей способности и эксплуатационной пригодности конструкций, но в момент обследования не угрожающие безопасности работающих. Фиксировались также изменения в структуре бетона. Кривая 8 отражает зависимость между сроком службы конструкции и глубиной повреждения бетонов марок по водонепроницаемости W-8 и выше, кривая 4 – марок W-4...W-6, кривая 1 – бетонов плотности ниже нормальной.

Конструкциям из монолитного железобетона характерна большая неоднородность структуры бетона, чем сборным элементам. В сооружениях, возводимых в подвижной опалубке, повсеместно наблюдаются участки с дефектами, обусловленными этим видом производства работ: срывы бетона, заделанные неплотным раствором, повреждения его домкратными стержнями, глубокие раковины и каверны из-за некачественного уплотнения и др. Именно такие участки обычно через 10–15 лет эксплуатации являются очагами разрушений, возникают сквозные повреждения, бетон теряет прочность и легко разбирается руками, а оголенная арматура интенсивно корродирует.

Прочность бетона также изменяется в широком диапазоне (иногда в 3–5 и более раз) как в пределах одного конструктивного элемента или сооружения, так и при сравнении однотипных элементов в сходных условиях эксплуатации на одном или разных объектах. Например, на зда-

ниях и сооружениях рудоподготовительных предприятий пределы разброса прочности составили 8...36 МПа (данные Харьковского ПромстройНИИпроекта) и т. д. При этом в конструкциях из бетона марок по водонепроницаемости более W-2 прочность бетона внутренних, не контактировавших с агрессивной средой слоев существенно растет во времени и через 10–30 лет эксплуатации в 1,65–3 раза превышает первоначальную. Влияние этих структурообразующих процессов, протекающих наряду с деструктивными (в поверхностных слоях конструкций), должно учитываться при проектировании реконструируемых объектов. Кроме того, положенные в основу проектирования старых (постройки 30–40-х гг.) железобетонных монолитных конструкций теоретические предпосылки и расчетные схемы, как правило, предусматривали значительные запасы по несущей способности. Учет фактической прочности и несущей способности (в соответствии с расчетами по действующим в настоящее время нормам или на основании натурных испытаний) позволяет вскрыть существенные резервы. Так, уточненные статические и конструктивные расчеты двухъярусных монолитных железобетонных рам главного корпуса Харьковского турбинного завода им. С. М. Кирова, с учетом действительных значений прочности бетона и фактического армирования, позволили дать заключение о возможности установки при реконструкции цеха 200-тонных мостовых кранов вместо эксплуатировавшихся 160-тонных без усиления подкрановых балок, колонн и фундаментов (данные Харьковского национального технического университета строительства и архитектуры).

Коррозия арматуры в трещине бетона возникает вследствие локальной депассивации стали в результате понижения степени щелочности жидкой фазы у поверхности арматуры или накопления активизирующих ионов. Последнее происходит тем интенсивнее, чем больше ширина раскрытия трещины.

Экспериментально выявлено, что при ширине раскрытия на поверхности бетона 0,05 мм трещина вблизи арматуры периодического профиля разветвляется на ряд микротрещин, образуя зону разрыхления структуры бетона, которая качественно не изменяет характер процесса, протекающего в бездефектном бетоне при ширине

трещины 0,20 мм, коэффициент диффузии углекислого газа в ней практически равен коэффициенту диффузии его в воздухе, который в этом случае примерно на три порядка выше, чем в бетоне средней плотности. СП 28.13330.2017 устанавливают категорию трещиностойкости либо ограничивают ширину раскрытия трещин в зависимости от степени агрессивного воздействия газовой и жидкой среды, класса напрягаемой и ненапрягаемой арматуры, продолжительности раскрытия трещин (длительное или кратковременное).

При этом одновременно нормируется минимальная толщина защитного слоя и плотность бетона. Однако в натуральных условиях количество и ширина раскрытия трещин существенно отличаются от расчетных и не остаются постоянными во времени. С одной стороны, условия для образования и развития трещин нередко создаются при изготовлении (особенно при термовлажностной обработке) и монтаже железобетонных элементов, при переменных механических и физико-химических воздействиях и т. п. С другой стороны, известно, что при благоприятном влажностном режиме, фильтрации воды и коррозионных процессах некоторых видов происходит коагуляция, т. е. «зарастание» трещин. В определенных условиях может со временем восстанавливаться высокая щелочность поровой влаги и соответственно пассивность стали в месте трещины за счет диффузии гидроокиси кальция из бетона [3, 10].

Результаты исследований НИИЖБ, Харьковского ПромстройНИИпроекта и другие

свидетельствуют, что предусмотренные СП 28.13330.2017 предельные значения ширины раскрытия трещин (при выполнении требований, касающихся плотности бетона и толщины защитного слоя) с известным запасом обеспечивают сохранность арматуры железобетонных конструкций, эксплуатирующихся даже в весьма агрессивных условиях. Трещины шириной раскрытия более 0,2...0,3 мм, возникающие в процессе эксплуатации вследствие различных причин, должны заделываться при проведении текущих и капитальных ремонтов конструкций.

Выводы

В статье сделан анализ различных видов коррозии бетона под влиянием всевозможных агрессивных жидких сред. Исследованы различные органические вещества по степени их агрессивности и распределения их по трем группам.

В определенной степени анализировался вопрос влияния разнородных воздействий на бетон и соответственно на долговечность конструкций (механическое воздействие, длительный нагрев и др.).

Исследовано влияние свойств материалов и параметров конструкций на долговечность сооружений. При этом были использованы результаты исследований других научно-исследовательских институтов (Харьковского ПромстройНИИпроекта, НИИЖБ, Харьковского национального технического университета строительства и архитектуры).

Литература

1. Долговечность бетона в агрессивных средах / С. Н. Алексеев, Ф. М. Иванов, С. Модры [и др.]. – Москва : Стройиздат, 1990. – 320 с. – Текст : непосредственный.
2. Вандаловская, Л. А. О долговечности железобетонных конструкций прядильных цехов вискозных производств / Л. А. Вандаловская. – Текст : непосредственный // Долговечность строительных конструкций и материалов : Натурные исследования, коррозия и защита / НИИ строительных конструкций. – Киев : Будівельник, 1973. – С. 14–22.
3. Разрушение бетона и его долговечность / Е. А. Гузеев, С. И. Леонович, А. Ф. Милованов

Reference

1. Alekseev, S. N.; Ivanov, F. M.; Modry, S. [et al.]. Durability of concrete in aggressive environments - Moscow : Stroyizdat, 1990. – 320 p. – Text : direct. (in Russian)
2. Vandalovskaya, L. A. On the durability of reinforced concrete structures of spinning shops of viscose production. – Text: direct. – In: Durability of building structures and materials: Field studies, corrosion and protection / Research Institute of building structures. – Kyiv : Budivelnik, 1973. – P. 14–22. (in Russian)
3. Guzeev, E. A.; Leonovich, S. I.; Milovanov, A. F. [et al.]. Destruction of concrete and its durability –

- [и др.]. – Минск : Тьдзень, 1997. – 170 с. – Текст : непосредственный.
4. Кудзис, А. П. Оценка надежности железобетонных конструкций / А. П. Кудзис. – Вильнюс : Мокслас, 1985. – 156 с. – Текст : непосредственный.
 5. Пинус, Б. И. О допустимой ширине раскрытия трещин в железобетонных конструкциях хлорных производств / Б. И. Пинус. – Текст : непосредственный // Повышение качества и долговечности строительных конструкций и материалов ; НИИСК ХарькПромстройНИИпроект. – Киев : Будівельник, 1976. – С. 40–44.
 6. Райзер, В. Д. Теория надежности в строительном проектировании / В. Д. Райзер. – Москва : Издательство АСВ, 1998. – 304 с. – Текст : непосредственный.
 7. Руководство по обеспечению долговечности железобетонных конструкций предприятий черной металлургии при их реконструкции и восстановлении : методическое пособие / Проектный и научно-исследовательский институт (Харьковский ПРОМСТРОЙНИИПРОЕКТ) Госстроя СССР, Научно-исследовательский институт бетона и железобетона (НИИЖБ) Госстроя СССР. – Москва : Стройиздат, 1982. – 112 с. – Текст : непосредственный.
 8. Чирков, В. П. Надежность и долговечность железобетонных конструкций зданий и сооружений / В. П. Чирков. – Текст : непосредственный // Российская архитектурно-строительная энциклопедия. – 1998. – Том V. – С. 86–177.
 9. Чирков, В. П. Прогнозирование сроков службы железобетонных конструкций : учебное пособие / В. П. Чирков. – Москва : МИИТ, 1997. – 56 с. – Текст : непосредственный.
 10. Сухов, Д. Концепция безопасности Еврокодов / Д. Сухов. – Текст : непосредственный // Строительные конструкции XXI века. Часть I. Строительные конструкции. Строительная механика и испытание сооружений : сборник материалов международной научно-практической конференции МГСУ ПГС, 2000, Москва ; Министерство образования и науки Российской Федерации, ФГГЮУ ВПО «Московский государственный строительный университет». – Москва : МГСУ, 2000. – С. 243–246.
- Minsk : Tydzen, 1997. – 170 p. – Text : direct. (in Russian)
4. Kudzis, A. P. Reliability assessment of reinforced concrete structures – Vilnius : Mokslas, 1985. – 156 p. – Text : direct. (in Russian)
 5. Pinus, B. I. On the allowable crack opening width in reinforced concrete structures of chlorine production – Text : direct. // Improving the quality and durability of building structures and materials ; NIISK KharkPromstroyNIIProekt. – Kyiv : Budivelnik, 1976. – P. 40–44. (in Russian)
 6. Raiser, V. D. Theory of reliability in building design / V. D. Raiser. – Moscow : ASV Publishing House, 1998. – 304 p. – Text : direct. (in Russian)
 7. Guidelines for ensuring the durability of reinforced concrete structures of ferrous metallurgy enterprises during their reconstruction and restoration: a methodological guide / Design and Research Institute (Kharkiv PROMSTROYNIIPROEKT) of the State Construction Committee of the USSR, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete (NIIZhB) of the State Construction Committee of the USSR. – Moscow : Sroyizdat, 1982. – 112 p. – Text : direct. (in Russian)
 8. Chirkov, V. P. Reliability and durability of reinforced concrete structures of buildings and structures. – Text : direct. – In: Russian architectural and construction encyclopedia. – 1998. – Volume V. – P. 86–177. (in Russian)
 9. Chirkov, V. P. Forecasting the service life of reinforced concrete structures: Textbook. – Moscow : MIIT, 1997. – 56 p. – Text : direct. (in Russian)
 10. Soukhov, D. Safety Concept of Eurocodes. – Text: direct. – In: *Building structures of the XXI century*. Part I. Building structures. Structural mechanics and testing of structures : Collection of materials of the international scientific and practical conference MGSU PGS, 2000, Moscow ; Ministry of Education and Science of the Russian Federation, FGGUU HPE «Moscow State University of Civil Engineering». – Moscow : MGSU, 2000. – P. 243–246. (in Russian)

Левченко Виктор Николаевич – кандидат технических наук, профессор, проректор по научно-педагогической и воспитательной работе ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: проектирование экономичных строительных конструкций и разработка оптимальных конструктивных и объемно-планировочных решений промышленных зданий и инженерных сооружений.

Дмитренко Евгений Анатольевич – кандидат технических наук, доцент кафедры железобетонных конструкций ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: развитие методик определения характеристик напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов при сложных режимах силового и температурного воздействий, оценка технического состояния и проектирование железобетонных конструкций.

Невгенъ Николай Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры железобетонных конструкций ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: проектирование экономичных строительных конструкций и разработка оптимальных конструктивных и объемно-планировочных решений промышленных зданий и инженерных сооружений.

Рябовол Денис Сергеевич – магистрант ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: проектирование экономичных строительных конструкций и разработка оптимальных конструктивных и объемно-планировочных решений промышленных зданий и инженерных сооружений.

Храмогина Ирина Александровна – магистрант ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: проектирование экономичных строительных конструкций и разработка оптимальных конструктивных и объемно-планировочных решений промышленных зданий и инженерных сооружений.

Левченко Віктор Миколайович – кандидат технічних наук, професор, проректор з науково-педагогічної і виховної роботи ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: проектування економічних будівельних конструкцій і розробка оптимальних конструктивних і об'ємно-планувальних рішень промислових будівель та інженерних споруд.

Дмитренко Євген Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри залізобетонних конструкцій ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: розвиток методик визначення характеристик напружено-деформованого стану залізобетонних елементів при складних режимах силового і температурного впливів, оцінка технічного стану і проектування залізобетонних конструкцій.

Невгенъ Микола Олександрович – кандидат технічних наук, доцент кафедри залізобетонних конструкцій ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: проектування економічних будівельних конструкцій і розробка оптимальних конструктивних і об'ємно-планувальних рішень промислових будівель та інженерних споруд.

Рябовол Денис Сергійович – магистрант ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: проектування економічних будівельних конструкцій і розробка оптимальних конструктивних і об'ємно-планувальних рішень промислових будівель та інженерних споруд.

Храмогіна Ірина Олександрівна – магистрант ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: проектування економічних будівельних конструкцій і розробка оптимальних конструктивних і об'ємно-планувальних рішень промислових будівель та інженерних споруд.

Levchenko Victor – Ph.D (Engineering), Professor, Vice-rector in education and pedagogic activities the FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: economically attractive building structures design and developing the structural and spatial designs of industrial buildings and engineering structures.

Dmitrenko Evgeniy – Ph.D., Associate Professor of Reinforced Concrete Constructions Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: development of methods of estimation of characteristics of the stress-strain state of reinforced concrete elements under complex modes of power and temperature influences, estimation of technical state and design of reinforced concrete constructions.

Nevgen Nikolai – Ph. D. (Engineering), Associate Professor; Reinforced Concrete Structures Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: Economically attractive building structures design and developing the structural and spatial designs of industrial buildings and engineering structures.

Riabovol Denis – master's student, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: economically attractive building structures design and developing the structural and spatial designs of industrial buildings and engineering structures.

Chramogina Irina – master's student, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: economically attractive building structures design and developing the structural and spatial designs of industrial buildings and engineering structures.