

И.Г. ОВЧИННИКОВА, Ю.С. ВОЛКОВ✉

Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство»,  
2-я Институтская ул., д. 6, к. 5, г. Москва, 109428, Российская Федерация

# ПРИМЕНЕНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА В МАШИНОСТРОЕНИИ

## Аннотация

Во второй половине 50-х годов XX столетия, выполняя постановление Правительства СССР по снижению расхода металла в экономике страны, необходимого для оборонных нужд, было принято решение по расширению использования железобетона в машиностроении, что открыло новую грань применения этого материала. Научное обеспечение решения этой задачи было поручено НИИ бетона и железобетона Госстроя СССР, а точнее, лаборатории специальных конструкций этого института, которую возглавил талантливый инженер доктор технических наук И.Г. Людковский. Перед исследователями встала проблема максимальной замены металла в машиностроении на железобетон, включая изготовление станин для тяжелого оборудования. Исследователями лаборатории специальных конструкций было разработано несколько видов станин машин различного назначения, разной конфигурации, с различными эксплуатационными воздействиями: станины штамповочных прессов, клетки прокатных станов и станины крупных станков и т. д. Описанию исследования работы бетона при напряжении в период эксплуатации с характеристиками, значительно превосходящими традиционные физические характеристики металла, посвящена данная статья.

**Ключевые слова:** железобетон, экономия металла, станины, станки, прессы, тяжелое машиностроение, арматура, преднапряженный бетон, трубобетон

**Для цитирования:** Овчинникова И.Г., Волков Ю.С. Применение железобетона в машиностроении // *Бетон и железобетон*. 2024. № 2 (621). С. 20–26. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-2\(621\)-20-26](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-2(621)-20-26)

## Вклад авторов

Все авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

## Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

*Поступила в редакцию 28.05.2024*

*Поступила после рецензирования 10.06.2024*

*Принята к публикации 13.06.2024*

I.G. OVCHINNIKOVA, Yu.S. VOLKOV✉

Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev,  
JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 5,  
Moscow, 109428, Russian Federation

# THE USE OF REINFORCED CONCRETE IN MECHANICAL ENGINEERING

## Abstract

In the second half of the 50s of the twentieth century, fulfilling the decree of the Government of the USSR on reducing the consumption of metal, necessary for defense needs, in the country's economy, it was decided to expand the use of reinforced concrete in mechanical engineering, which opened a new facet of the use of this material. Scientific support for solving this problem was entrusted to the Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete of the USSR State Construction Committee, or rather, the laboratory of special structures of this institute, which was headed by a talented engineer, Doctor of Technical Sciences I.G. Ludkovsky.

The researchers faced the problem of maximum replacement of metal in mechanical engineering with reinforced concrete, including the manufacture of frames for heavy equipment. The researchers of the laboratory of special structures has developed several types of machine frames for various purposes, of different configurations, with different operational impacts: stamping press frames, rolling mill crates, large machine frames, etc. This article is devoted to the description of the study of the work of concrete under stress during operation with characteristics significantly exceeding the traditional physical characteristics of the metal.

**Keywords:** reinforced concrete, metal economy, bed frames, machine tools, presses, heavy machinery, reinforcement, prestressed concrete, pipe concrete

**For citation:** Ovchinnikova I.G., Volkov Yu.S. The use of reinforced concrete in mechanical engineering. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2024, no. 2 (621), pp. 20–26. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-2\(621\)-20-26](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-2(621)-20-26)

## Authors contribution statement

All authors made equal contribution to the study and the publication.

## Funding

No funding support was obtained for the research.

## Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

*Received 28.05.2024*

*Revised 10.06.2024*

*Accepted 13.06.2024*

### Введение

Работа над новыми для железобетона видами конструкций вызвала постановку новых научных тем, связанных с использованием железобетона в строительстве. Наиболее важным явилось изучение работы бетона при напряжении в период эксплуатации с характеристиками, значительно превосходящими традиционные физические характеристики металла. Для восприятия этих воздействий в железобетонных элементах машин создавали двух- и трехосное предварительное напряжение арматуры. Наиболее важной задачей было исследование двух- и трехосного предварительного напряжения для обеспечения работы бетона как материала преимущественно на сжатие.

Конструктивные формы выбирались, главным образом, в виде рам с колоннами цилиндрическими по сечению элементами конструкций и архитравами в виде толстых полудисков кругового и эллипсоидного очертания и создания предварительного напряжения конструкций рам с помощью навивки высокопрочной проволоки в горизонтальном и вертикальном направлениях. Необходимо было также изучить пределы упругой работы железобетонных полудисков при таких напряженных состояниях, их возможные деформации и характер разрушения при однократном и многократном повторяющихся нагружениях. Вторым важным направлением в исследовании работы бетона являлось изучение его выносливости и деформативности в процессе циклического нагружения при различном уровне напряжений в бетоне и неопределенно большом числе циклов нагружений как в пределах упругой работы, так и в упруго-пластической стадии напряженного состояния. Третьим направлением для железобетонных конструкций машин было изучение изменения жесткости крепления металлических деталей различной конфигурации к железобетонным станинам как на стадии изготовления, так и в период эксплуатации. Четвертым направлением было изучение жесткости крепления агрегированного оборудования к фундаментам самоанкерующимися болтами.

Наиболее сложной задачей была разработка станины (силовой рамы) штамповочного пресса беспрецедентной для прессостроения мощности 50 000 тс. Параллельно разрабатывались прессы меньших усилий. Чтобы иметь возможность создать станины из железобетона, в отличие от стальных аналогов, приходилось изменять форму самих станин. В железобетонных станинах прессов и в клетях прокатных станов, работающих на сжатие и изгиб, возникают весьма высокие напряжения, для восприятия бетоном которых потребовалось создание двух- и трехосного предварительного напряжения железобетонных элементов. В строительных конструкциях до того времени высокое двух- и трехосное напряженное состояние бетона не использовалось.

В НИИЖБ им. А.А. Гвоздева были проведены исследования с учетом требований к машиностроительному оборудованию с учетом того, что во всех его видах может быть допущена **только упругая стадия работы**. Верхняя граница условно упругой работы обычного бетона составляет примерно 0,3 от марочной (кубиковой) прочности бетона. Обжатие бетона (как специальная конструктивная мера) позволяет поднять границу упругой работы железобетона и одновременно создает повышение предела прочности материала. Железобетонные элементы, имеющие даже ненапряженную обойму в виде стальных труб или спиральной арматуры, при осевом сжатии находятся в условиях трехосного напряжения. Однако элементы с ненапрягаемой обоймой при высоких напряжениях, на которые можно передать нагрузку по условиям прочности, имеют повышенные величины как продольных, так и поперечных деформаций.

Если для обычных бетонов принято считать предельную величину деформации при сжатии 1,5 мм/мм, то в железобетонных машиностроительных элементах удалось добиться, что колонны даже с ненапряженной металлической обоймой имеют значительную прочность на сжатие при укорочении 30 мм/м, т. е. в 20 раз выше, чем при отсутствии обоймы. Если для обычных железобетонных элементов коэффициент поперечной деформации равен 0,16, то в элементах с обоймой, даже с ненапряженной, он может в процессе нагружения доходить до значения 0,5. Такие элементы могут иметь довольно широкое применение для цилиндрических неподвижных стоек, для опорных колонн рам прессов, вертикальных стоек клетей прокатных станов и др., а также для подвижных плунжеров, подштамповых блоков и др.

Исследовались также цилиндрические образцы диаметром 210 мм, высотой 410 мм, с кубиковой прочностью бетона 318 кгс/см<sup>2</sup> двух видов (первый – неармированные бетонные цилиндры в стальной обойме, второй – трубобетон в обойме). По сравнению с цилиндрами из обычного бетона без обойм прочность образцов с обоймой была в 4,2–7,8 раз выше, а граница упругих деформаций, столь важная в машиностроении, повысилась соответственно в 5,7 и 4,2 раза.

Однако бетонные цилиндры, армированные по наружному контуру высокопрочной проволокой, навитой на затвердевший бетон с одновременным ее натяжением (спирально армированные предварительно напряженные элементы), работают еще более эффективно. Исследования показали, что бетонные цилиндры, обвитые проволокой, создающей напряжение в бетоне  $0,3R_{np}$ , работают упруго до  $1,3-1,4R_{np}$ , в то время как предел упругости обычного бетона составляет  $0,4R_{np}$ . С увеличением поперечного сечения обоймы и величины обжатия бетона увеличивается прочность образцов и повышается предел упругости. Но величина двухосного напряжения, создаваемого спиральной обоймой, ограничивается растяжи-

вающими деформациями бетона в продольном направлении. Для увеличения нагрузки в цилиндре необходимо создание вертикального обжатия или использование трубобетона или трубобетона в обойме. Так, образцы диаметром 200 мм, изготовленные из бетона марки 400, имевшие армирование в виде пакета стальных трубок при проценте армирования 11,9 % и предварительно напряженной стальной обоймы с боковым обжатием 400 кгс/см<sup>2</sup>, равным кубиковой прочности бетона, выдержали многократную нагрузку в среднем сечении 3180 кгс/см<sup>2</sup>. До напряжения 1200–1300 кг/см<sup>2</sup> бетон работал упруго. В дальнейшем эти образцы были доведены до разрушения. К моменту разрушения среднее напряжение в поперечном сечении образцов было порядка 5000 кгс/см<sup>2</sup>. Так что имеется практическая возможность поднять величину напряжения от эксплуатационных нагрузок примерно до  $4-5R_{пр}$ . При этом модуль деформаций снижается незначительно. Двухосно преднапряженные элементы упруго работают при опирании их на кольцевые основания или отдельные опоры, что имеет место в архитравах цилиндрических прессов. Несущая способность таких элементов в результате двухосного предварительного напряжения возрастает в 1,5–2 раза.

Железобетонные двухосно напряженные цилиндры были подвергнуты давлению со стороны внутренней полости по величине, равной рабочему давлению пресса 400 кгс/см<sup>2</sup>. При этом цилиндры не получали никаких повреждений. Действующая нагрузка по отношению к призменной прочности бетона была на 20 % выше, а прочность цилиндров превосходила призменную прочность бетона на 70 %.

Многие машиностроительные конструкции работают на многократно повторяющуюся нагрузку. Испытания двухосно напряженных элементов плит цилиндрической формы, имевших высоту 0,2 от диаметра (соотношение, аналогичное размерам железобетонных архитравов некоторых прессов), испытывали многократно повторяющейся нагрузкой, равной 0,7 от разрушающей статической нагрузки аналогичных образцов. Они выдерживали без признаков разрушения 9,5 млн циклов нагружения. Такие же образцы при пульсирующей нагрузке, равной 0,8 от статической разрушающей, и при характеристике циклов напряжения (отношение минимального напряжения в цикле нагружения к максимальному), равном 0,125, разрушались после  $2,10^6$  циклов. Характерно, что деформации и напряжения в наружной спиральной предварительно напряженной обойме возрастали только при первых 100–200 тыс. нагружений, а затем оставались почти постоянными на всем продолжении испытаний.

Для конструкций полых цилиндров, работающих на внутреннее давление при высоком напряжении растяжения на внутренней поверхности, особенно эффективно применение двухосного преднапряже-

ния бетона, которое создает сопротивление трещинообразованию. Рабочее давление в полном цилиндре, как показали исследования, можно задавать на 29 % выше с призменной прочности бетона. При этом предельное давление, приложенное к внутренней поверхности цилиндра, может быть равным 1,7 призменной прочности бетона. Для увеличения интенсивного обжатия без опасения возникновения трещин необходимо создание трехосного напряженного состояния цилиндра. При этом укорочение от предварительного напряжения в вертикальном направлении должно быть выше, чем удлинение, возникающее в поперечном направлении.

Предварительно напряженная обойма из проволоки увеличивает жесткость конструкции в 1,5–2 раза. Исследование продольных и поперечных деформаций центрально сжатых элементов показало, что коэффициент поперечного расширения в двухосно напряженных элементах, работающих в упругой стадии, оказывается меньше, чем в ненапряженных, но увеличивается с ростом пластических деформаций.

Существенное уменьшение деформации при одновременном увеличении прочности бетона может быть получено при сочетании предварительно напряженной спиральной обоймы из высокопрочной проволоки с трубобетоном. В массивных железобетонных элементах, при воздействии многократно повторяющихся нагрузок, как правило, приходится считаться не с общими, а с местными деформациями, которые могут повлиять как на общий предел упругости элемента, так и на прочность контактируемых (сопрягающихся) между собой элементов, а также на точность работы оборудования. Так может произойти местная выработка бетона подштамповых зон.

Испытания показали, что бетон в предварительно напряженной обойме работает как упругий материал в пределах  $2,6-5R_{пр}$ . При больших удельных давлениях появляются местные пластические деформации, в результате чего под штампом происходят перераспределения напряжений, а эпюра приобретает сглаженный характер по сравнению с теоретическими значениями, полученными для упругого материала.

Проведенные исследования показали, что при наборе штампов разной высоты, когда усилие начинает распределяться под углом более 45°, в бетоне может быть получено равномерное распределение напряжений. В зависимости от жесткости штампа меняется характер распределения деформаций на поверхности бетона под штампом. Что касается истирания бетонной поверхности, то, как показали исследования, поверхность бетона архитрава, работающего на изгиб, после 3,5 млн циклов нагружения с местным давлением 400 кгс/см<sup>2</sup>, равным марочной прочности бетона, оставалась в месте контакта с металлическим штампом неповрежденной, никаких признаков истирания обнаружено не было.

Кроме цилиндрической формы станин, в которых архитравы подвергаются двухосному напряжению спиралью, возможно создание станин криволинейной формы, где верхние ригели имеют полукруглую или эллиптическую форму. В обоих случаях преднапряжению подвергается вся станина вместе с колоннами. В этом случае преднапряжение в вертикальном направлении возможно выполнять с помощью стержневой арматуры периодического профиля. В этих элементах, воспринимающих большие многократно повторяющиеся нагружения, также обязательным условием является отсутствие трещинообразования. Это основное требование диктуется тем обстоятельством, что станины с предварительно напряженными элементами (изгибаемые или центрально растянутые) должны выдерживать неограниченно большое количество циклов нагружения с сохранением необходимой жесткости. Выносливость и жесткость конструкции в этом случае имеют первостепенное значение. В тех случаях, когда по техническим требованиям эксплуатации прессы рабочие проемы необходимы в двух взаимно перпендикулярных направлениях, цилиндрические архитравы могут опираться на четыре опоры. Такая схема была принята для четырехколонного прессы усилием 10 000 тс модели 4632 УЗТМ. Колонны прессы в таких случаях целесообразно выполнять как трубобетонные или с напрягаемой кольцевой арматурой. С применением таких решений были разработаны также клетки ряда прокатных станов, в том числе для прокатного стана модели 4200 (число 4200 обозначает ширину прокатываемого листа стали в мм).

Наиболее рациональная конструкция станин различного назначения (прессы, клетки прокатных станов и др.) представляет собой двухосно и объемно напряженные железобетонные рамы с ригелями в виде дисков ломаного или криволинейного очертания с обжатием пучковой арматурой по контуру. Пучки состояли из четырех сплошных рядов проволок диаметром 4,5 мм с пределом прочности 12000–17000 кгс/см<sup>2</sup>. Натяжение их может выполняться либо специальной навивочной машиной, либо самим прессом.

Проведенные испытания показали, что принятая конструкция непрерывного пучка обеспечивает надежное обжатие рамы прессы или клетки прокатного стана. В некоторых станинах целесообразна была прямоугольная форма станины. В этом случае для создания преднапряжения элементов применялась стержневая арматура.

Эффективным решением конструкций железобетонных гидравлических цилиндров и плунжеров прессов была конструкция железобетонного двухслойного гидравлического цилиндра, состоящего из трех основных элементов: железобетонных предварительно напряженных стен, железобетонного днища и внутреннего тонкостенного металлического цилиндрического стакана. Сечение цилиндра назначается

по расчету на восприятие части рабочего давления, что снижает концентрацию напряжений в стальном цилиндре, что в свою очередь обеспечивает его большую долговечность. Кроме того, достигается экономия стали до 4 раз. Если выполнять бетонное днище монолитным со стенками, то на стыке железобетонного днища и стенок при обжатии возникает высокая концентрация напряжений и может произойти срез днища.

Из выполненных сотрудниками НИИЖБ разработок были получены следующие оптимальные варианты гидравлических цилиндров: в стальном стакане толщина стенок принята равной 0,065 внутреннего диаметра цилиндра, а толщина стального днища – в 1,5 раза больше толщины его стенки; в железобетонной части конструкции толщина стенки может быть назначена примерно равной 0,65 от внутреннего диаметра цилиндра, а толщина днища – 1,2 диаметра цилиндра.

Плунжеры могут быть созданы из трубобетона или бетона с двухосно предварительным напряжением. При сочетании этих двух видов конструкции расчетные напряжения в плунжере достигают 1000–1200 кгс/см<sup>2</sup>. К строительным конструкциям нигде не предъявляются столь высокие требования по прочности и жесткости, как в машиностроении. К примеру, при проектировании клетки прокатного стана было поставлено условие, чтобы при эксплуатации клетки упругие деформации не превышали 90 мк. Экспериментально предельно упругая деформация между опорными станинами прокатного стана «Кварто» составляла 80 мк. Затем эта клетка подвергалась испытанию многократно повторяющегося нагружения с разгрузкой 18 млн циклов. В результате этих испытаний было установлено, что упругая деформация между опорными подушками станины за весь период испытания практически не изменилась. Очень небольшие остаточные деформации в клетках компенсируются нажимными устройствами валков прокатных станов.

Аналогичная картина получилась и при испытании модели железобетонной клетки 4200, армированной не стержневой арматурой (как клетка стана «Кварто»), а проволочной арматурой. Упругая деформация от статической нагрузки составила 66 мк. Остаточные деформации после 5 млн циклов нагружения достигли 48 мк, при этом наметилась тенденция к стабилизации деформаций.

Эти положительные результаты подтверждаются таким фактором, что железобетонные станины имеют большое поперечное сечение элементов, иными словами, большую жесткость и незначительную в несущих элементах величину перепада напряжений. В предварительно напряженных силовых рамах прессов при пульсации обеспечивается перепад напряжений в бетоне и арматуре одного знака, причем амплитуда изменения напряжений в стали мала. Перепад напряжений в арматуре на 5–10 % обеспечивает высокую выносливость бетона в

конструкциях. Перепад напряжений в металлических станинах прессов ощутимо выше.

Полукруглая форма дисков ригелей рам прессов позволяет равномерно распределить по всей поверхности ригеля давление от обжимающей оплетки, не вызывая в арматуре концентрации напряжений, что особенно важно при многократно повторяющихся нагрузках.

Конструкция прессов с ригелями в виде дисков нашла применение в прессах трех видов: в вертикальном прессе усилием 600 тонн, в вертикальном прессе усилием 120 тонн и в проекте уникального пресса усилием 50 тыс. тонн для изготовления труб.

Испытания полукруглых железобетонных преднапряженных дисков проводились на моделях прессов. Изучалось, как распределяются напряжения от оплетки по кривой поверхности ригеля при наличии сил трения. Характер распределения давления оценивался по деформациям оплетки в разных точках криволинейного контура диска по датчикам, установленным в бетоне, и на проволоке оплетки по внешнему контуру диска.

Испытания проводили как на отдельных дисках, так и на сборной конструкции, состоящей из двух полудисков и двух колонн на концах прямолинейного участка, соединяющих эти диски. На деформации растяжения накладывались деформации от изгиба, особенно в углах дисков. Трение неблагоприятно влияет на напряженное состояние арматуры и бетона. По результатам испытаний была установлена закономерность распределения давления оплетки на поверхности диска криволинейного очертания с учетом сил трения, снижающих величину давления. В последнем случае это влияние может быть технически снижено или устранено.

Напряженное состояние бетона в дисках изучалось при действии обжатия его преднапряженной арматурой, затем при действии эксплуатационной нагрузки и местного влияния штампа на нижний ригель. При обжатии проволокой нейтральная ось внутри бетонных дисков находится на  $\frac{1}{4}$  высоты диска от горизонтального обреза. Добавление эксплуатационной нагрузки переместило нейтральную ось вверх, несколько выше середины. Наибольшее напряжение возникает под штампом.

Одним из важнейших вопросов, касающихся работы ригеля, является вопрос трещиностойкости. При испытании станин наблюдался момент появления трещин при предварительном обжатии и при нагружении, а также намечающиеся формы разрушения, хотя до разрушения не доводилось из-за потери устойчивости модели. При обжатии была зафиксирована лишь одна намечающаяся форма разрушения от больших растягивающих напряжений в пролете. Скалывания и срезов в опорных узлах не наблюдалось.

При действии нагрузки в середине пролета фик-

сировались две схемы разрушения. Первая – от больших растягивающих напряжений в крайнем волокне среднего радиального сечения, приводящих к появлению радиальной трещины. Она была возможна при ширине штампа, которая меньше, чем радиус диска. Вторая форма разрушения была возможна от скалывания углов при ширине штампа, превышающей радиус диска.

Станина пресса усилием 600 тс состояла из верхнего и нижнего железобетонных полудисков, соединенных четырьмя железобетонными стойками. Соединение стоек и дисков было выполнено через закладные детали с пазами заанкеренных в бетоне элементов с последующей их механической обработкой. Работа дисков изучалась с построением эпюр распределения напряжений по контуру и внутри бетонного массива в трех направлениях в период изготовления и эксплуатации экспериментальным и расчетным путями.

После напряжения арматуры при поэтапном нагружении особое внимание обращали на:

- появление трещин в наиболее опасных сечениях станины, в частности в средней зоне между дисками на боковой поверхности верхнего ригеля, в среднем сечении плоскости диска, а также в опорных сечениях ригеля;
- раскрытие швов между верхним ригелем и стойками пресса;
- деформативность ригеля в зоне приложения нагрузки, а также поперечную деформацию металлического стакана в верхней части ригеля;
- работу стыков высокопрочной предварительно напряженной арматуры.

Во время испытания видимых трещин в опасных сечениях не наблюдалось раскрытие швов между ригелем и стойками пресса. Суммарная деформация при нагрузке 750 т находилась в пределах 0,5–1,2 мм. Максимальная нагрузка на станину по отношению к экспериментальной нагрузке была равна 1,3, что превышало обычно допустимое значение в прессостроении. Напряженное состояние ригелей изучали с помощью тензометрических поверхностного и глубинного датчиков.

В среднем сечении плоскости диска нейтральная ось находилась на  $\frac{1}{4}$  высоты диска от нижней плоскости ригеля. Величины сжимающих напряжений в крайнем волокне достигали 20–25 кгс/см<sup>2</sup>. С учетом предварительного обжатия ригелей в период действия эксплуатационной нагрузки в ригеле сохранялись только напряжения сжатия.

Напряжения между стойками по нижней плоскости ригеля приближались к нулю. Наибольшее напряжение в арматуре от эксплуатационной нагрузки на прямолинейном участке составляло 415 кгс/см<sup>2</sup>, а напряжение при натяжении арматуры – 6120 кгс/см<sup>2</sup>, что суммарно было значительно меньше расчетной

величины. Деформаций в поперечном направлении стакана по приборам не замечено.

Таким образом, испытание станины подтвердило ее высокую прочность и жесткость, что позволило рекомендовать пресс ТЖ-600-1 для эксплуатации в производственных условиях.

#### Выводы

Теория и практика применения в течение многих лет обычного, преднапряженного и объемно-предварительно напряженного железобетона в машиностроении показали необычайные механические свойства этого материала для его применения в не строительной области, что открыло новую страницу в материаловедении, как в разделе физики.

#### Список литературы

1. Применение железобетона в машиностроении. Сборник статей под редакцией д-р техн. наук И.Г. Людковского. Москва: Издательство «Машиностроение», 1967. 502 с.

#### References

1. The Use of Reinforced Concrete in Mechanical Engineering. Collection of articles edited by Dr. I.G. Ludkovsky, Doctor of Technical Sciences. Moscow: Publishing house "Mashinostroenie", 1967, 502 p. (In Russian).

#### Информация об авторах / Information about the authors

**Ирина Гавриловна Овчинникова**, канд. техн. наук, главный специалист экспертно-аналитического отдела, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

**Irina G. Ovchinnikova**, Cand. Sci. (Engineering), Chief Specialist of the Expert and Analytical Department, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

**Юрий Сергеевич Волков**✉, канд. техн. наук, ученый секретарь, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», почетный член РААСН, Москва  
e-mail: volkov@cstroy.ru

**Yuri S. Volkov**✉, Cand. Sci. (Engineering), Scientific Secretary, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Honorary Member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Moscow  
e-mail: volkov@cstroy.ru

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author