



## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНОГО СТАЛЕФИБРОБЕТОНА ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ КОНСТРУКЦИЙ МАШИН НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ ЗАГОТОВОК (МНЛЗ)

А. С. Волков<sup>1</sup>, С. Н. Машталер<sup>2</sup>, Д. О. Мозговой<sup>3</sup>, Д. Р. Прокопенко<sup>4</sup>, Д. О. Голубец<sup>5</sup>

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, 86123.

E-mail: <sup>1</sup>volkovasing@mail.ru, <sup>2</sup>mashtaler\_sergey@mail.ru, <sup>3</sup>denis\_mozgovoy@rambler.ru,  
<sup>4</sup>Danaprokopenko111@gmail.com, <sup>5</sup>daryagolubets@mail.ru

Получена 6 марта 2019; принята 22 марта 2019.

**Аннотация.** Представлены результаты анализа технического состояния строительных конструкций камеры вторичного охлаждения машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) электросталеплавильного завода, а также теоретических исследований эффективности применения высокопрочного сталефибробетона при возведении строительных конструкций данного сооружения с применением современных расчетных комплексов на основе МКЭ. Рассмотрен пример использования диаграммных методов расчета при расчете железобетонной конструкции стен камеры вторичного охлаждения МНЛЗ при воздействии повышенных температур, а так же показано влияние данного метода на величины параметров НДС сооружения с учетом действительного режима работы сооружения. Приведены рекомендации по учету дискретного армирования при оценке НДС и конструированию подобных конструкций, работающих при сложных температурно-влажностных режимах при расчете в ПК «Лира САПР».

**Ключевые слова:** конструкции камеры вторичного охлаждения машины МНЛЗ, техническое состояние, температурно-влажностные воздействия, дефекты и повреждения, высокопрочный сталефибробетон.

## ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ВИСОКОМІЦНОГО СТАЛЕФІБРОБЕТОНУ ДЛЯ ЗВЕДЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ МАШИН БЕЗПЕРЕРВНОГО ЛИТТЯ ЗАГОТОВОК (МБЛЗ)

А. С. Волков<sup>1</sup>, С. М. Машталер<sup>2</sup>, Д. О. Мозговий<sup>3</sup>, Д. Р. Прокопенко<sup>4</sup>, Д. О. Голубец<sup>5</sup>

ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,  
2, вул. Державіна, м. Макіївка, ДНР, 86123.

E-mail: <sup>1</sup>volkovasing@mail.ru, <sup>2</sup>mashtaler\_sergey@mail.ru, <sup>3</sup>denis\_mozgovoy@rambler.ru,  
<sup>4</sup>Danaprokopenko111@gmail.com, <sup>5</sup>daryagolubets@mail.ru

Отримана 6 березня 2019; прийнята 22 березня 2019.

**Анотація.** Представлені результати аналізу технічного стану будівельних конструкцій камери вторинного охолодження машини безперервного лиття заготовок (МБЛЗ) електросталеплавильного заводу, а також теоретичних досліджень ефективності застосування високоміцного сталефібробетону при зведенні будівельних конструкцій даної споруди із застосуванням сучасних розрахункових комплексів на основі МКЕ. Розглянуто приклад використання діаграмних методів розрахунку при розрахунку залізобетонної конструкції стін камери вторинного охолодження МБЛЗ при впливі підвищених температур, а також показано вплив даного методу на величини параметрів НДС споруди з урахуванням дійсного режиму роботи споруди. Наведено рекомендації по врахуванню дискретного армування при оцінці НДС

та конструюванні таких конструкцій, що працюють при складних температурно-вологісних режимах при розрахунку в ПК «Ліра САПР».

**Ключові слова:** конструкції камери вторинного охолодження машини МБЛЗ, технічний стан, температурні та вологісні впливи, дефекти і ушкодження, високоміцний сталевібробетон.

## EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF HIGH-STRENGTH STEEL FIBER CONCRETE IN CONSTRUCTION OF A CONTINUOUS CASTING MACHINE (CCM)

Andrei Volkov<sup>1</sup>, Sergei Mashtaler<sup>2</sup>, Denis Mozgvoi<sup>3</sup>, Dana Prokopenko<sup>4</sup>, Darya Golubets<sup>5</sup>

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,  
2, Derzhavina Str., Makeyevka, DPR, 86123.*

*E-mail: <sup>1</sup>volkovasing@mail.ru, <sup>2</sup>mashtaler\_sergey@mail.ru, <sup>3</sup>denis\_mozgovoyy@rambler.ru,  
<sup>4</sup>Danaprokopenko111@gmail.com, <sup>5</sup>daryagolubets@mail.ru*

*Received 6 March 2019; accepted 22 March 2019.*

**Abstract.** The results of the analysis of the technical condition of the building structures of the secondary cooling chamber of the continuous casting machine (CCM) of the electric steel plant are presented. The theoretical studies of the effectiveness of the use of high-strength steel fiber concrete in the construction of this building structures using modern calculation complexes based on FEM are obtained. An example of the use of diagram methods of calculation in the calculation of reinforced concrete structure of the walls of the secondary cooling chamber CCM under the influence of high temperatures is considered. The influence of this method on the value of the stress-strain state parameters of structures, taking into account the actual mode of operation of the structure. Recommendations on the account of discrete reinforcement in the assessment of stress-strain state and the design of structures under complex temperature and humidity conditions using «Lira SAPR» software are given.

**Keywords:** the design of the secondary cooling chamber of the CCM machine, technical condition, temperature and humidity effects, defects and damage, high-strength steel fiber concrete.

### Формулировка проблемы

При эксплуатации машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) сталеплавильных цехов в камере вторичного охлаждения (КВО) заготовок при гидроохлаждении строительные конструкции подвергаются неравномерному температурно-влажностному воздействию, что приводит к появлению неравномерного нагрева конструкций с температурным градиентом в зимний период более 100 °С. При подобном режиме эксплуатации на внутренних поверхностях конструкций возникают неравномерные поля температурного нагрева, что приводит к сложному напряженному состоянию, что существенно влияет на несущую способность и эксплуатационную пригодность строительных конструкций.

### Анализ публикаций по теме исследования

Влияние температурного нагрева на напряженно-деформированное состояние строительных конструкций камеры вторичного охлаждения машины непрерывного литья заготовок является актуальной проблемой. Данное обстоятельство отражено в работах [1, 2, 4]. Кроме того, до настоящего времени для строительства подобных сооружений использовались, как правило, тяжелые жаростойкие бетоны средней прочности классов В25÷В40 согласно требованиям норм [5, 6], а нормативные документы по проектированию и расчету подобных конструкций с учетом температурно-влажностных воздействий либо очень ограничены, либо отсутствуют. В то же время экспериментальные данные, посвященные исследованиям температурных режимов,

отражают только их влияние на качество стали заготовок. Характер температурно-влажностных воздействий на строительные конструкции, учитываемых для их проектирования и дальнейшей эксплуатации, необоснованно игнорируется.

Установлено, что нормативный срок эксплуатации сооружения МНЛЗ составляет в среднем не более 10 лет, после истечения данного времени сооружение подвергается демонтажу для последующего нового строительства. При этом первый капитальный ремонт сооружений из-за агрессивности среды и жесткого режима работы проводится уже через 5 лет после введения в эксплуатацию [1, 2, 3]. Для увеличения нормативного срока эксплуатации конструкций, работающих в условиях воздействия повышенных температур при жестких режимах работы, целесообразно использование при их возведении современных высококачественных бетонов, прочность которых не снижается при подобных условиях работы [7-11], что требует дополнительных теоретических исследований.

### Изложение основного материала

Для решения данной задачи выполнен сопоставительный расчет и теоретический анализ эффективности применения высокопрочного сталефибробетона при возведении стен камеры вторичного тушения МНЛЗ сталеплавильного завода, где ЗВО предназначена для охлаждения и дальнейшего затвердевания непрерывного слитка металла после его выхода из кристаллизатора с температурой +1 000...1 300 °С, а также присутствует воздействие агрессивной тяжелой воды и пара на внутренние поверхности стен и перекрытий ЗВО.

В качестве объекта исследований рассматриваются конструкции рамного пространственного фундамента под МНЛЗ электросталеплавильного цеха ООО «ЭЛЕКТРОСТАЛЬ» в г. Куратово, построенного в 2007 г. из монолитного железобетона по каркасной конструктивной схеме с несущими стенами (ядра жесткости ЗВО) толщиной 700 мм и колоннами размерами 600×400 мм.

При проведении обследования конструкций рамного фундамента МНЛЗ, выполненного специалистами ООО «СВК» в 2018 г. выявлены следующие основные дефекты и повреждения конструкций монолитных стен камеры ЗВО [2]:

– участки разрушения защитного слоя бетона с внутренней стороны конструкций монолитных железобетонных стен и перекрытий ЗВО на глубину до 140 мм с обнажением и коррозионным износом арматуры до 50...70 % поперечного сечения;

– следы коррозии железобетона в результате воздействия агрессивной среды и повышенных температур в виде белых потеков и мелких трещин в наружном слое бетона конструкций шириной раскрытия 0,2...0,3 мм.

Согласно результатам измерения прочности бетона методом ударного импульса с использованием прибора «ОНИКС-2.5» установлено, что прочность бетона в стенах камеры находится в диапазоне от 21,7 МПа на внутренних до 31,4 МПа на наружных поверхностях стен камеры ЗВО, что в целом отображает их действительное техническое состояние. Основной причиной снижения до 30 % прочностных и деформационных свойств бетона на внутренних поверхностях железобетонных конструкций камеры являются деструктивные процессы, которые происходят в цементном камне и в зоне его контакта с заполнителем [14]. При нагревании железобетонных конструкций до +100 °С и воздействии систематического увлажнения основными факторами являются процессы термовлагопереноса при действии температурных градиентов, при этом рост растягивающих напряжений на границе контакта цементного камня с заполнителем приводит к образованию системы микротрещин и существенному снижению прочности бетона (до 60 %) и модуля упругости (до 40...60 %).

Расчет конструкций рамного фундамента на силовые и температурные воздействия выполнен с применением ПК «LIRA SAPR 2015» в три этапа. На первом этапе для расчета параметров НДС сооружения выполнен статический расчет с использованием жаростойкого бетона класса В25 (схема I) в линейной постановке, а также запасов несущей способности элементов камеры ЗВО. На втором этапе выполнен расчет сооружения с применением высокопрочного сталефибробетона класса В100 для конструкций камеры (схема IIa) в упругой постановке. На третьем этапе выполнен расчет сооружения с использованием высокопрочного сталефибробетона и учета его физической нелинейности (с использованием действительной диаграммы

деформирования материала для  $\mu_{sfb} = 2,5\%$  при воздействии температуры  $100\text{ }^\circ\text{C}$  [8–10]).

При выполнении расчета сооружения учитывались статические нагрузки и воздействия, предусмотренные рабочим проектом, без учета воздействия температурного градиента: собственный вес конструкций, полезные нагрузки на перекрытия, технологические нагрузки от оборудования. Температурные воздействия на внутренние поверхности стен камеры ЗВО, а также их распределение по поверхностям получены при обследовании при помощи инфракрасного пирометра и находились в диапазоне  $50\div 90\text{ }^\circ\text{C}$ . Учет температурного градиента выполнен с использованием наибольших значений, что характерно для зимнего периода эксплуатации для неотапливаемого здания ( $-10\text{ }^\circ\text{C}$ ). При расчете используется жесткий температурный режим, предполагающий наличие температурного градиента до  $110\text{ }^\circ\text{C}$  при сохранении температуры в камере ЗВО ( $t$  от  $25$  до  $100\text{ }^\circ\text{C}$ ).

Расчетная конечно-элементная модель сооружения рамного фундамента МНЛЗ представлена на рисунке 1.

Анализ НДС конструкций стен камеры ЗВО толщиной  $700\text{ мм}$  из бетона класса В25 (схема I) позволяет сформулировать следующие выводы:

1. Расчетные значения продольных напряжений по  $N_y$  в стенах камеры, в целом, не превышают:

$1\ 600\text{...} - 12\ 800\text{ кН/м}^2$ , а значения горизонтальных по  $N_x - 1\ 120\text{...} - 8\ 970\text{ кН/м}^2$  (рис. 2 а, б).

2. Значения изгибающих моментов  $M_x$  и  $M_y$  составили  $-83,1\text{...}885\text{ кНм/м}$  (РСН7) и  $-68,6\text{...}884\text{ кНм/м}$  (РСН7) соответственно (рис. 2 в, г). При этом максимальные сжимающие напряжения составляют  $98\%$  от расчетного сопротивления бетона, а растягивающие напряжения превышают прочность бетона на величину до  $65\%$ .

3. Приведенные величины вертикальных деформаций расширения по оси Z составили  $2,18\text{ мм}$ , а горизонтальные по направлениям осей X и Y  $-1,71\text{ мм}$  и  $0,99\text{ мм}$  соответственно.

4. По результатам расчета конструкций стен по 1-й и 2-й группам п. с. получено расчетное армирование: горизонтальное и вертикальное у наружной грани  $\varnothing 18$  с шагом  $100\text{ мм}$  ( $25,5\text{ см}^2$ ); горизонтальное и вертикальное армирование у внутренней грани  $\varnothing 18 + \varnothing 25$  с шагом  $100\text{ мм}$  ( $80,5\text{ см}^2$ ).

Согласно результатам расчета растягивающие напряжения в бетоне существенно превышают значения сопротивления бетона растяжению, расчетная площадь армирования превышает до  $28\%$  проектные значения ( $2\varnothing 20\text{ мм}$  с шагом  $100\text{ мм}$  ( $62,8\text{ см}^2$ ), т. е. несущая способность стен камеры вторичного охлаждения не обеспечена согласно результатам расчета по

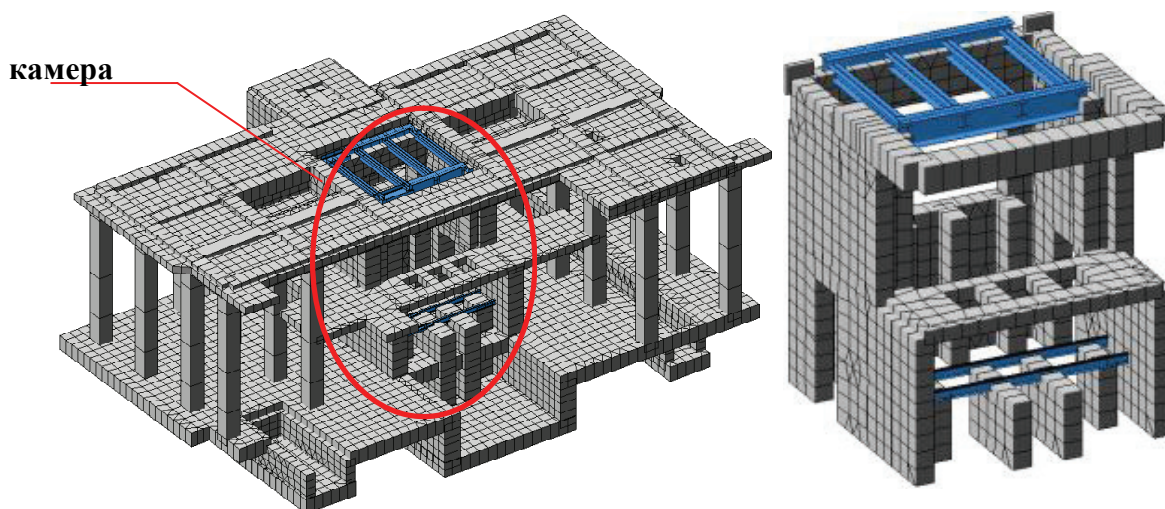
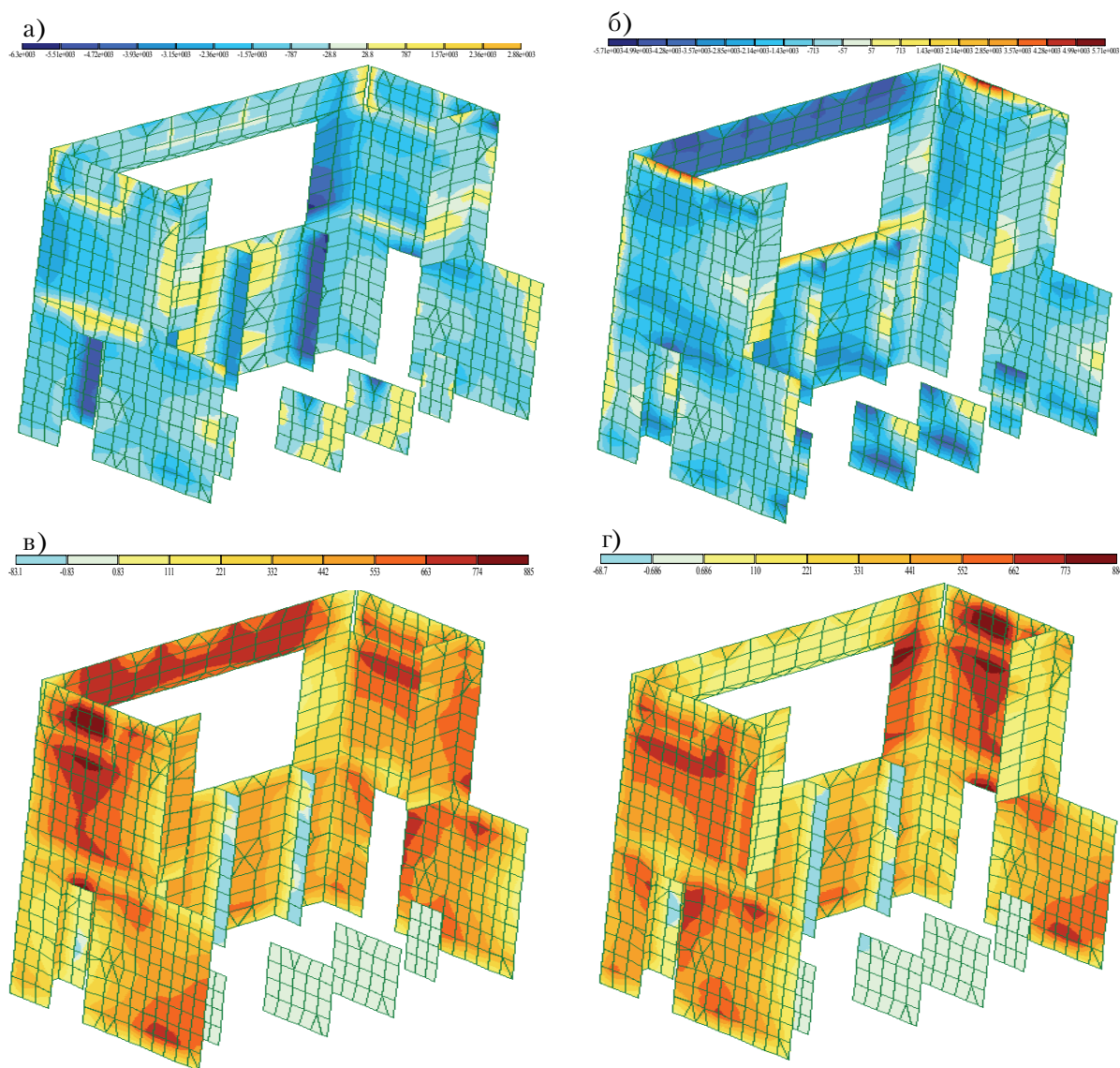


Рисунок 1. Расчетная конечно-элементная модель конструкции рамного фундамента и камеры ЗВО.



**Рисунок 2.** Изополя напряжений в конструкциях стен ЗВО для схемы I: продольных напряжений по  $N_y$  (а) и  $N_x$  (б), изгибающих моментов по  $M_x$  (в) и  $M_y$  (г).

трещиностойкости, что отображает действительное техническое состояние исследуемых конструкций [2].

При использовании для стен камеры ЗВО высокопрочного сталефибробетона класса В100 с процентом фибрового армирования 2,5 % (схема II) с характеристиками согласно экспериментальным исследованиям [8, 9, 10] толщина стен принята 400 мм, что существенно снижает материалоемкость при возведении, а анализ НДС конструкций позволяет сделать следующие выводы:

1. Расчетные значения продольных напряжений по  $N_y$  в стенах камеры, в целом, не превышают:

2 670...-21 400 кН/м<sup>2</sup> (рис. 3 а), а значения горизонтальных по  $N_x$  – 2 780...-22 000 кН/м<sup>2</sup> (рис. 3 б). При этом максимальные сжимающие напряжения составляют не более 45 % от расчетного сопротивления сталефибробетона на сжатие.

2. Значения изгибающих моментов  $M_x$  и  $M_y$  составили 1 140 кНм/м и 1 139 кНм/м соответственно (рис. 3 в, г).

3. Приведенные величины вертикальных деформаций расширения составили 2,5 мм, а горизонтальные по направлениям осей X и Y – 1,59 мм и 1,48 мм соответственно.

4. По результатам расчета конструкций стен толщиной 400 мм по предельным состояниям величины полной площади горизонтального и вертикального армирования у наружной грани составили 112 и 165 см<sup>2</sup> соответственно.
5. Для определения стержневого армирования в вертикальном и горизонтальном направлениях из суммарной площади арматуры с отличием расчетного сопротивления сопротивления фибрового армирования типа НЕ 07560 ( $R_f = 1\,150$  МПа) с процентом армирования 2,5 % и стержневой горячекатанной арматуры класса А400 ( $R_s = 350$  МПа) рекомендуется использовать выражения (1) и (2) с учетом требований нормативных документов [5, 6, 15]:

$$A_{s1} = (A_{s,tot} - A_f) \times \frac{R_s}{R_f \times m} = (193 - 100) \times \quad (1)$$

$$\times \frac{365}{1150 \times 0,9} = 327 \text{ мм}^2;$$

$$A_{s2} = (A_{s,tot} - A_f) \times \frac{R_s}{R_f \times m} = (162,8 - 100) \times \quad (2)$$

$$\times \frac{365}{1150 \times 0,9} = 221,5 \text{ мм}^2.$$

где  $m$  – коэффициент условий работы арматуры;

$A_{s,tot}$  – общая площадь горизонтальной или вертикальной арматуры;

$A_f$  – площадь фибрового армирования.

Принято вертикальное армирование 2Ø22А400с с шагом 200 мм (38,01 см<sup>2</sup>) и горизонтальное 2Ø18А400с с шагом 200 мм (25,45 см<sup>2</sup>).

Анализ напряженно-деформированного состояния конструкций стен камеры вторичного охлаждения с применением высокопрочного сталефибробетона В100 с процентом фибрового армирования 2,5 %, (схема Пб), выполненного с учетом физической нелинейности деформирования высокопрочного сталефибробетона класса В100 и линейного дополнительного армирования согласно результатам расчета схемы Па для стенок толщиной 400 мм, позволяет сформулировать следующие выводы:

1. Расчетные значения продольных напряжений по  $N_y$  в стенах камеры не превышают 2 800...-19 800 кН/м<sup>2</sup> (рис. 4 а), а значения продольных

напряжений по  $N_x$  – 2 450...-19 600 кН/м<sup>2</sup> (рис. 4 б), что меньше, чем соответствующие значения для схемы Па на 7,5 % и 11 % соответственно.

2. Значения изгибающих моментов  $M_x$  и  $M_y$  составили -95...605 кНм/м (рис. 4 в) и -90...641 кНм/м (рис. 4 г) соответственно, что меньше, чем соответствующие значения для схемы Па на 42,3 % и 33,8 % соответственно.
3. Приведенные величины вертикальных деформаций расширения составили 2,62 мм (+4,8 %), а горизонтальные по направлениям осей X и Y – -1,75...0,83 мм и -1,48...1,14 мм соответственно (+18,2 % и +1...14 % соответственно).

Результаты расчетов показывают, что использование диаграммных методов расчета с учетом физической нелинейности материалов привело к релаксации главных напряжений в стенах камеры вторичного охлаждения и их снижению до 11 %, а также существенному снижению изгибающих моментов от температурного градиента до 42,3 %, что более точно отображает действительную работу конструкций.

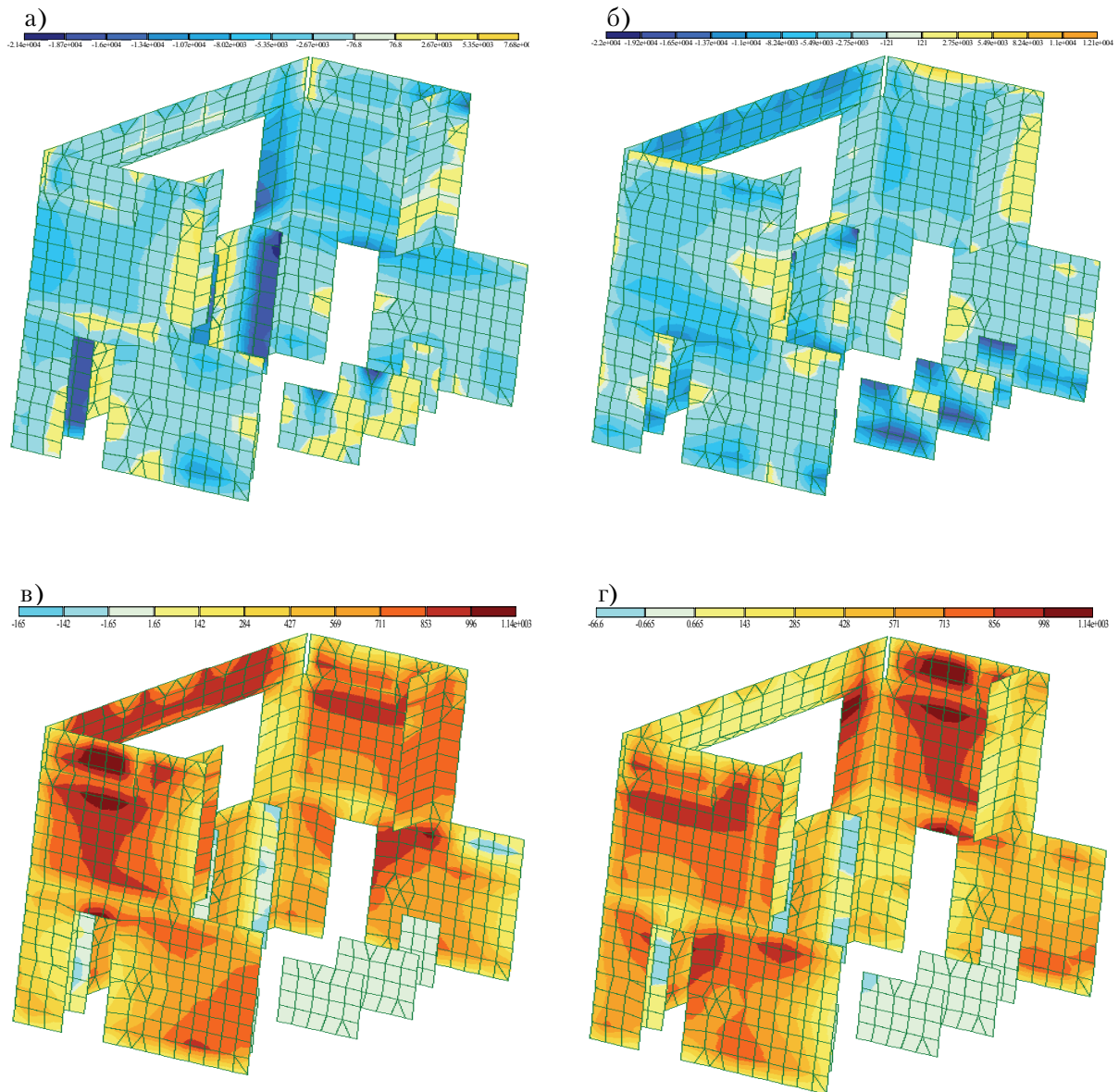
Выявленные снижения напряжений позволяют оптимизировать дополнительное армирование: вертикальное армирование из Ø20 А400с с шагом 100 мм (31,42 см<sup>2</sup>) и горизонтальное армирование из Ø16А400с с шагом 100 мм (20,11 см<sup>2</sup>) с наружной и внутренней граней стен.

Приведенные в расчете значения напряжений, полученные без учета физической нелинейности, представляются существенно завышенными, так как на порядок превышают несущую способность сечений, что объясняется жестким температурным режимом эксплуатации, принятым в расчете, который учитывает только кратковременный нагрев. При этом не учитывается релаксация напряжений для конструкций под нагрузками в условиях неравномерного нагрева в зонах с трещинами, которая приводит к общему снижению главных напряжений на величины порядка 5-10 % от начальных значений при первом нагреве [16].

## Заключение

Достоверная оценка НДС сложных сооружений при совместном действии силовых и температурных факторов возможна на основе поэтапного расчета всего сооружения в целом с применением

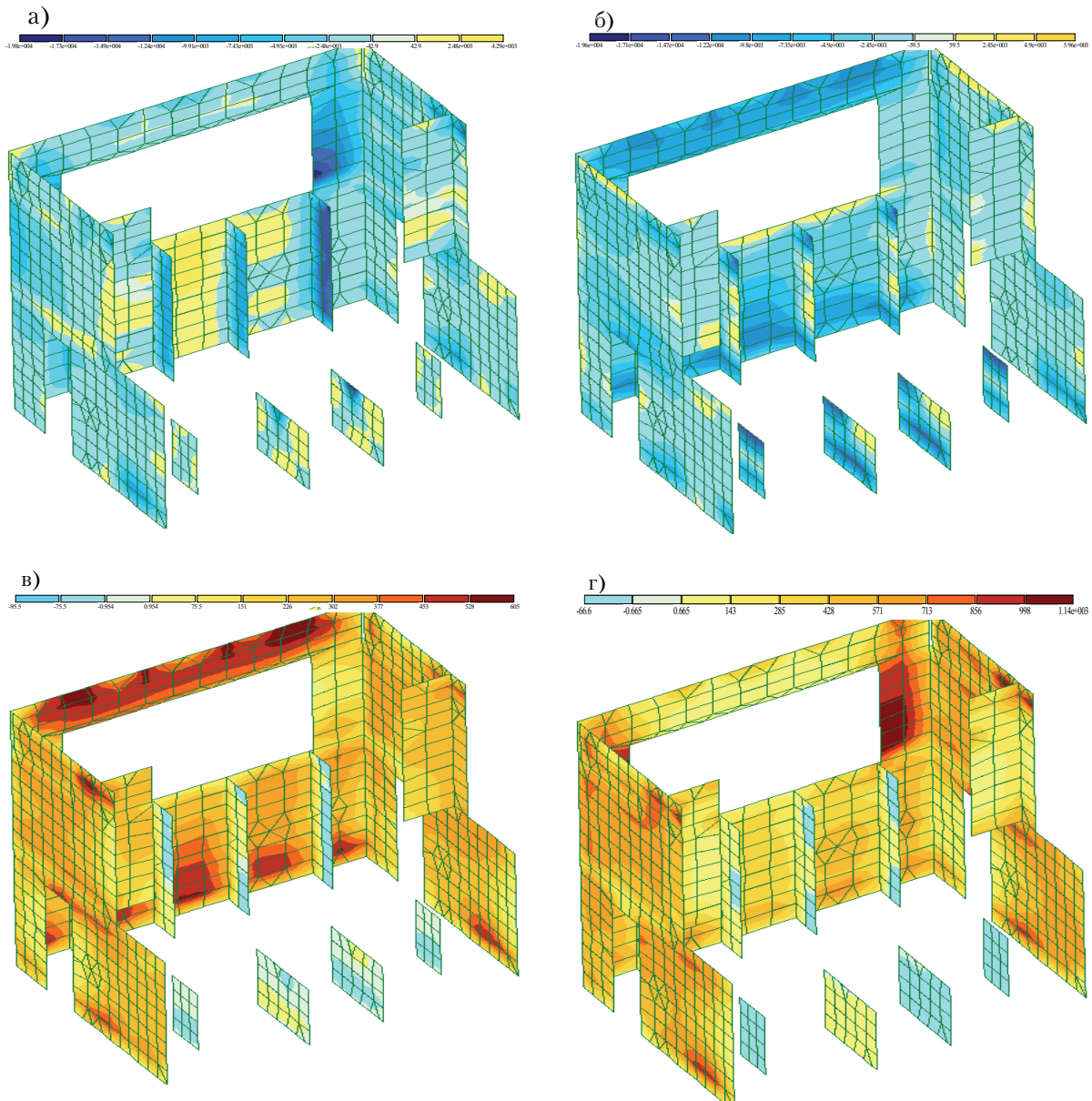




**Рисунок 3.** Изополя напряжений в конструкциях стен ЗВО для схемы Па: продольных напряжений по  $N_y$  (а) и  $N_x$  (б), изгибающих моментов по  $M_x$  (в) и  $M_y$  (г).

МКЭ (этап 1) с последующим уточнением НДС из расчета наиболее напряженных элементов с учетом физической нелинейности деформирования (кусочно-линейной зависимости в виде диаграмм деформирования материалов), учета

трещинообразования железобетона, зависимости механических свойств бетона и арматуры от температуры, что в современных вычислительных комплексах учитывается в недостаточной мере.



**Рисунок 4.** Изополю напряжений в конструкциях стен ЗВО для схемы Пб: продольных напряжений по  $N_y$  (а) и  $N_x$  (б), изгибающих моментов по  $M_x$  (в) и  $M_y$  (г).

## Литература

1. Калмыков, Ю. Ю. Напряженно-деформированное состояние элемента железобетонного фундамента при неоднородном нагреве [Текст] / Ю. Ю. Калмыков // Современное промышленное и гражданское строительство. 2007. Т. 3, № 4. С. 37–44.
2. Обследование, оценка технического состояния фундамента МНЛЗ ООО «Электросталь-Курахово» в г. Курахово с разработкой проектных решений и рекомендаций по их ремонту, усилению и дальнейшей эксплуатации: технический отчет о

## Reference

1. Kalmykov, Yu. Yu. Load-bearing condition of an element of the iron basement in a second heat source / Yu. Yu. Kalmykov // In: *Modern industrial and civil construction*. 2007. Vol. 3, № 4. P. 37–44. (in Russian)
2. Inspection, assessment of the technical condition of the Foundation CCM ООО «Elektrostal-Kurakhovo» in Kurakhovo с development of design solutions and recommendations for their repair, strengthening and further operation: technical report on the [Text] / ООО «SVK»; hands. Pryadko N. V. ;



- работе [Текст] / ООО «СВК»; рук. Прядко Н. В.; Исполн.: Руднева И. Н., Волков А. С. – Донецк, 2018. – 47 с.
3. Емельянов, В. А. Тепловая работа машин непрерывного литья заготовок: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Металлургия чёрных металлов» [Текст] / В. А. Емельянов. – М.: «Металлургия», 1988. – 143 с.
  4. Прядко, Н. В. Обследование и усиление конструкций промышленных зданий [Текст] / Н. В. Прядко. – Донецк: Норд-Пресс, 2010. – 268 с.
  5. СП 27.13330.2011 Бетонные и железобетонные конструкции, предназначенные для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур [Текст]. – Актуализированная редакция СНиП 2.03.04-84; введ. 2011-05-20. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985. – 121с.
  6. ГОСТ 20910-90. Бетоны жаростойкие. Технические условия [Текст]. – Введ. 1991-07-01. – М.: Стройиздат, 1991. – 19 с.
  7. Волков, А. С. Влияние повышенных температур (до +200°C) и длительности нагрева на диаграммы деформирования высокопрочного модифицированного бетона [Текст] / А. С. Волков // Будівельні конструкції: міжвідомчий науково-технічний збірник НДІБК. 2013. Вип. 2013(78), Т. 2. С. 117–123.
  8. Корсун, В. И. Влияние повышенных до 200 °С температур на характеристики физико-механических свойств высокопрочного сталефибробетона [Текст] / В. И. Корсун, С. Н. Машталер // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2017 году: сб. науч. тр. РААСН. Т. 2. – М.: Издательство АСВ, 2018. – С. 265–275.
  9. Korsun, V. Characteristics of mechanical and rheological properties of concrete under heating conditions up to 200 °C [Electronic resource] / V. Korsun, A. Korsun, A. Volkov // MATEC Web of Conferences 6, Concrete Spalling due to Fire Exposure, 07002. – Related Research. 2013. № 6. P. 1–8. – Access mode: <http://dx.doi.org/10.1051/mateconf/20130607002>.
  10. The Strength and Strain of High-Strength Concrete Elements with Confinement and Steel Fiber Reinforcement including the Conditions of the Effect of Elevated Temperatures [Text] / V. Korsun, S. Mashtaler, N. Vatin, A. Korsun [and etc.] // *Procedia Engineering*. 2015. Vol. 117. P. 970–979.
  11. Korsun, V. Determination of the Critical Duration of the First Heating of Heavy Concrete by the Criterion of the Maximum Strength Reduction [Electronic resource] / V. Korsun, A. Korsun, S. Mashtaler // *Applied Mechanics and Materials*. 2015. Vol. 725–726, P. 566–571. – Access mode: <https://www.scientific.net/AMM.725-726.566>.
  12. Morozov, V. I. The numerical investigations of double-span concrete beams strengthened with fiber reinforced Execution: Rudneva I. N., Volkov A. S. – Donetsk, 2018. – 47 p. (in Russian)
  3. Emelyanov, V. A. Thermal work of continuous casting machines: a training manual for university students enrolled in the specialty «Ferrous Metals» [Text] / V. A. Emelyanov. – M.: «Metallurgy», 1988. – 143 p. (in Russian)
  4. Pryadko, N. V. Inspection and strengthening of structures of industrial buildings [Text] / N. V. Pryadko. – Donetsk: Nord-Press, 2010. – 268 p. (in Russian)
  5. SP 27.13330.2011 Concrete and reinforced concrete structures designed to work in conditions of exposure to elevated and high temperatures [Text]. – Updated edition of SNiP 2.03.04-84; Enter 2011–05–20. – M.: TsITP Gosstroy USSR, 1985. – 121p.
  6. GOST 20910-90. Heat-resistant concrete. Technical conditions [Text]. – Enter 1991–07–01. – M.: Stroyizdat, 1991. – 19 p. (in Russian)
  7. Volkov, A. S. The influence of elevated temperatures (up to + 200 ° C) and the duration of heating on the deformation diagrams of high-strength modified concrete [Text] / A. S. Volkov // Building constructions: interdepartmental scientific and technical collection of NDIBK. 2013. Issue 2013(78), Vol. 2. P. 117–123. (in Russian)
  8. Korsun, V. I. The effect of elevated temperatures up to 200 ° C on the characteristics of the physic and mechanical properties of high-strength steel-fiber concrete [Text] / V. I. Korsun, S. N. Mashtaler // Fundamental, search and applied research of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences for scientific support of architecture, urban planning and the construction industry Federation in 2017: Sat. scientific tr. RAAC. Vol. 2. – M.: DIA Publishing House, 2018. – P. 265–275. (in Russian)
  9. Korsun, V. Characteristics of mechanical and rheological properties of concrete under heating conditions up to 200 °C [Electronic resource] / V. Korsun, A. Korsun, A. Volkov // MATEC Web of Conferences 6, Concrete Spalling due to Fire Exposure, 07002. – Related Research. 2013. № 6. P. 1–8. – Access mode: <http://dx.doi.org/10.1051/mateconf/20130607002>.
  10. The Strength and Strain of High-Strength Concrete Elements with Confinement and Steel Fiber Reinforcement including the Conditions of the Effect of Elevated Temperatures [Text] / V. Korsun, S. Mashtaler, N. Vatin, A. Korsun [and etc.] // *Procedia Engineering*. 2015. Vol. 117. P. 970–979.
  11. Korsun, V. Determination of the Critical Duration of the First Heating of Heavy Concrete by the Criterion of the Maximum Strength Reduction [Electronic resource] / V. Korsun, A. Korsun, S. Mashtaler // *Applied Mechanics and Materials*. 2015. Vol. 725–726, P. 566–571. – Access mode: <https://www.scientific.net/AMM.725-726.566>.
  12. Morozov, V. I. The numerical investigations of double-span concrete beams strengthened with fiber reinforced plastics across the oblique section [Text] /

- plastics across the oblique section [Text] / V. I. Morozov, Yu. V. Pukharenko, A. V. Yushin // *Materials Physics and Mechanics*. 2017. Vol. 31, № 1–2. P. 40–43.
13. Evdokimova, T. Experimental diagrams of fiber concrete straining under tension and compression and their implementation in calculation of bearing capacity of fiber-reinforced concrete flexural elements [Text] / T. Evdokimova, V. Morozov, E. Opbul, A. Khagai // *Materials Science Forum*. 2016. Vol. 871. P. 160–165. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.871.160.
  14. Некрасов, К. Д. Тяжелый бетон в условиях повышенных температур [Текст] / К. Д. Некрасов, В. В. Жуков, В. Ф. Гуляева. – М.: Стройиздат, 1972. – 128 с.
  15. СП 63.13330.2012 (19.10.2017). Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003 [Текст]. – Введ. 2013-01-01 / Госстрой РФ. – М.: ЦИТП Госстроя РФ, 2012. – 164 с.
  16. Кричевский, А. П. Расчет железобетонных инженерных сооружений на температурные воздействия [Текст] / А. П. Кричевский – М.: Стройиздат, 1984. – 148 с.
  - V. I. Morozov, Yu. V. Pukharenko, A. V. Yushin // In: *Materials Physics and Mechanics*. 2017. Vol. 31, № 1–2. P. 40–43.
  13. Evdokimova, T. Experimental diagrams of fiber concrete straining under tension and compression and their implementation in calculation of bearing capacity of fiber-reinforced concrete flexural elements [Text] / T. Evdokimova, V. Morozov, E. Opbul, A. Khagai // In: *Materials Science Forum*. 2016. Vol. 871. P. 160–165. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.871.160.
  14. Nekrasov, K. D. Heavy concrete under elevated temperatures [Text] / K. D. Nekrasov, V. V. Zhukov, V. F. Gulyaeva. – Moscow: Stroyizdat, 1972. – 128 p. (in Russian)
  15. SP 63.13330.2012 (19.10.2017). Concrete and reinforced concrete structures. The main provisions. Updated version of SNiP 52-01-2003 [Text]. – Enter 2013–01–01 / State Union of the Russian Federation. – M.: TsITP GF Russian, 2012. – 164 p. (in Russian)
  16. Krichevsky, A. P. Calculation of reinforced concrete engineering structures on temperature effects [Text] / A. P. Krichevsky – M.: Stroyizdat, 1984. – 148 p. (in Russian)

**Волков Андрей Сергеевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры железобетонных конструкций ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: исследование прочностных и деформативных свойств конструкций их модифицированного высокопрочного бетона, оценка технического состояния и проектирование железобетонных конструкций.

**Машталер Сергей Николаевич** – ассистент кафедры железобетонных конструкций ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: развитие методик определения характеристик напряженно-деформированного состояния железобетонных (сталефибробетонных) элементов при простых режимах силового и температурного воздействий, оценка технического состояния и проектирование железобетонных конструкций.

**Мозговой Денис Олегович** – магистрант ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: оценка технического состояния и проектирование железобетонных конструкций.

**Прокопенко Дана Романовна** – магистрант ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: оценка технического состояния и проектирование железобетонных конструкций.

**Голубец Дарья Олеговна** – магистрант ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: оценка технического состояния и проектирование железобетонных конструкций.

**Волков Андрій Сергійович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри залізобетонних конструкцій ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: дослідження міцнісних та деформативних властивостей конструкцій з модифікованих високоміцних бетонів, оцінка технічного стану і проектування залізобетонних конструкцій.

**Машталер Сергій Миколайович** – асистент кафедри залізобетонних конструкцій ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: розвиток методик визначення характеристик напружено-деформованого стану залізобетонних (сталефібробетонних) елементів при простих режимах силового і температурного впливів, оцінка технічного стану і проектування залізобетонних конструкцій.

**Мозговий Денис Олегович** – магістрант ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: оцінка технічного стану та проектування залізобетонних конструкцій.

**Прокопенко Дана Романівна** – магістрант ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: оцінка технічного стану та проектування залізобетонних конструкцій.

**Голубець Дар'я Олегівна** – магістрант ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: оцінка технічного стану та проектування залізобетонних конструкцій.

**Volkov Andrei** – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Reinforced Concrete Constructions Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: determination of strength and strain properties of modified high strength concrete structures, estimation of technical state and design of reinforced concrete constructions.

**Mashtaler Sergii** – assistant, Reinforced Concrete Constructions Department, 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 (steel fiber concrete) elements under simple modes of power and temperature influences, estimation of technical state and design of reinforced concrete constructions.

**Mozgovoi Denis** – Master's student, Donbas National Academy of Construction and Architecture. Scientific interests: assessment of technical condition and design of reinforced concrete structures.

**Prokopenko Dana** – Master's student, Donbas National Academy of Construction and Architecture. Scientific interests: assessment of technical condition and design of reinforced concrete structures.

**Golubets Darya** – Master's student, Donbas National Academy of Construction and Architecture. Scientific interests: assessment of technical condition and design of reinforced concrete structures.