



## АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ФУНДАМЕНТА ПОД ОХЛАЖДАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА С ВАРИАНТОМ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНОГО СТАЛЕФИБРОБЕТОНА

С. Н. Машталер

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, 286123.  
E-mail: mashtaler\_sergey@mail.ru

Получена 18 октября 2020; принята 27 ноября 2020.

**Аннотация.** Представлены результаты анализа технического состояния столбчатого фундамента холодильной установки машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) СП «Метален», а также теоретических исследований эффективности применения высокопрочного сталефибробетона при устройстве фундаментов данного сооружения с применением ПК «Ли́ра-САПР 2017». Рассмотрен пример использования диаграммного метода при расчете фундамента с учетом действительного режима работы сооружения в условиях воздействий повышенных температур. При помощи численных исследований столбов фундаментов МНЛЗ получены численные результаты влияния неоднородности температурно-усадочных деформаций на параметры напряженно-деформированного состояния сооружения. Численными исследованиями установлено, что использование высокопрочного сталефибробетона класса В100 с  $\mu_{sfb} = 2,5\%$  вместо бетона класса В40 при совместном действии силовых и температурно-усадочных воздействий с учетом физической нелинейности материалов приводит к снижению сжимающих и растягивающих напряжений на величину до 25 %, при этом максимальная ширина раскрытия трещин составляет не более 0,1 мм, что не превышает предельно допустимых значений.

**Ключевые слова:** столбчатые фундаменты, напряженно-деформируемое состояние, температурно-влажностные воздействия, высокопрочный сталефибробетон.

## АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ФУНДАМЕНТУ ПІД ОХОЛОДЖУВАЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА З ВАРІАНТОМ ЗАСТОСУВАННЯ ВИСОКОМІЦНОГО СТАЛЕФІБРОБЕТОНУ

С. М. Машталер

ДОН ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,  
2, вул. Державіна, м. Макіївка, ДНР, 286123.  
E-mail: mashtaler\_sergey@mail.ru

Отримана 18 жовтня 2020; прийнята 27 листопада 2020.

**Анотация.** Представлені результати аналізу технічного стану стовпчастого фундаменту холодильної установки машини безперервного лиття заготовок (МБЛЗ) СП «Метален», а також теоретичних досліджень ефективності застосування високоміцного сталефібробетону при влаштуванні фундаментів даної споруди із застосуванням ПК «Ли́ра-САПР 2017». Розглянуто приклад використання діаграмного методу розрахунку фундаменту з урахуванням дійсного режиму роботи споруди в умовах впливу підвищених температур. Отримано чисельні результати впливу неоднорідності температурно-усадкових деформацій на параметри напружено-деформованого стану споруди. Чисельними дослідженнями встановлено, що застосування високоміцного сталефібробетону класу В100 з  $\mu_{sfb} = 2,5\%$  замість бетону класу В40 при

спільній дії силових і температурно-усадкових впливів з урахуванням фізичної нелінійності призводить до зниження стискальних і розтягувальних напружень на величину до 25 %, при цьому максимальна ширина розкриття тріщин становить не більш 0,1 мм, що не перевищує гранично допустимих значень.

**Ключові слова:** стовпчасті фундаменти, напружено-деформований стан, температурно-вологісній вплив, високоміцний сталевібробетон.

## ANALYSIS OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE FOUNDATION FOR THE COOLING DEVICE OF STEELMAKING PRODUCTION WITH THE OPTION OF USING HIGH-STRENGTH STEEL FIBER CONCRETE

Sergii Mashtaler

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,  
2, Derzhavina Str., Makeyevka, DPR, 286123.*

*E-mail: mashtaler\_sergey@mail.ru*

*Received 18 October 2020; accepted 27 November 2020.*

**Abstract.** The results of the analysis of the technical state of the columnar foundation of the refrigeration unit of the continuous casting machine (CCM) of the SP «Metalen», as well as theoretical studies of the effectiveness of the use of high-strength steel-fiber-reinforced concrete for the construction of the foundations of CCM, using software package «Lira-SAPR 2017», are presented in this article. An example of using the diagrammatic method in calculating the foundation, taking into account the actual operating mode of the structure under conditions of exposure to high temperatures, is considered. Numerical results of the influence of the nonuniformity of temperature and shrinkage deformations on the parameters of the stress-strain state of the structure are obtained. Numerical studies have established, that the use of high-strength steel-fiber reinforced concrete of class B100 with  $\mu_{sfb} = 2,5$  % instead of concrete of class B40 under the combined effect of force and high temperature and shrinkage actions, taking into account the physical nonlinearity of materials, leads to a decrease in compressive and tensile stresses by up to 25 %, while the maximum crack width is lesser than 0,1 mm, which does not exceed maximum permissible values.

**Keywords:** columnar foundations, stress-strain state, temperature and humidity effects, high-strength steel fiber concrete.

### Формулировка проблемы

При эксплуатации машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) сталеплавильных цехов конструкции столбчатого фундамента холодильной установки подвержены неравномерному температурно-влажностному воздействию, что приводит к возникновению напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов с температурными и влажностными градиентами по сечению. Перепад температуры по сечению элементов сооружений и неоднородность влажностных деформаций вызывает неоднородность прочностных и деформационных свойств бето-

на, обуславливает возникновение температурно-влажностных моментов, образование системы ортогональных трещин, 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 фундаментов холодильной установки 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.

В процессе эксплуатации сооружения МНЛЗ выявлено образование и развитие повреждений в колонных частях фундаментов силового характера, требующих разработки технических решений по их усилению. 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

С целью изучения условий эксплуатации элементов конструкций, работающих в условиях неравномерного нагрева, было выполнено натурное исследование деформаций и распределения температуры в конструкциях столбчатых фундаментов холодильной установки машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) СП «Метален» (г. Енакиево) в различные технологические периоды эксплуатации.

Исследованные столбы выполняют функцию несущих конструкций для главных стальных балок холодильной установки, совместно с которыми образуют однопролетную статически неопределимую раму, жестко сопряженную с днищем фундаментной плиты. Размеры сечения фундамента и расположение арматуры представлено на рис. 2 а.

Для определения действительного распределения температуры по объему конструкции при

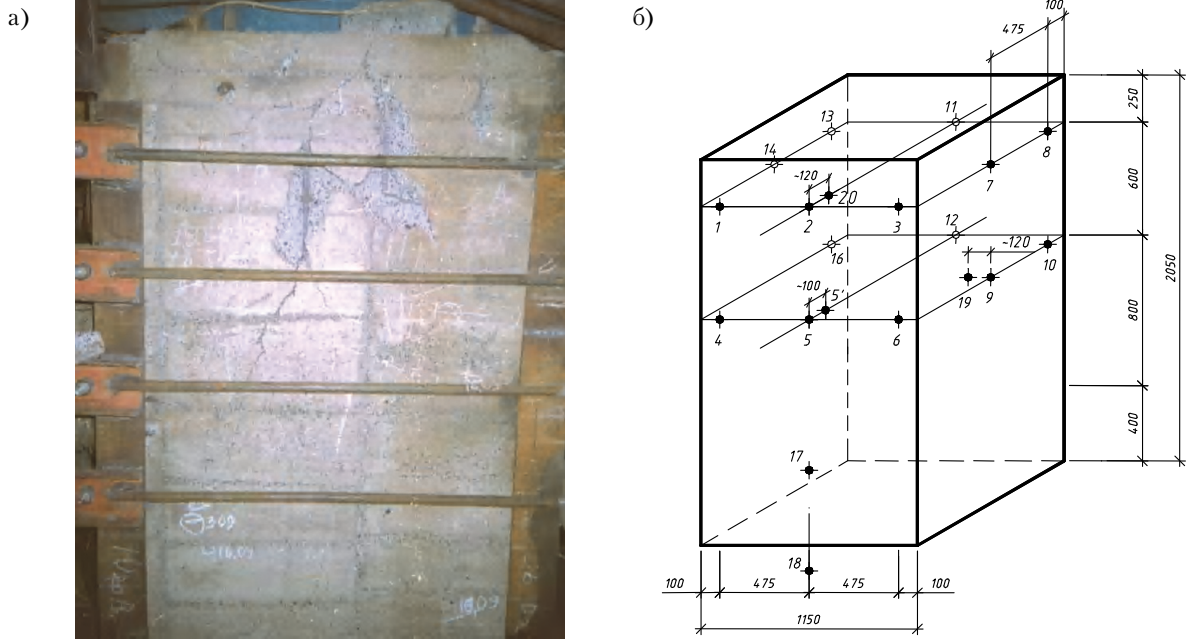
различных режимах эксплуатации в период технологической остановки установки в предварительно пробуренные отверстия в тело фундаментов были заложены ХК-термопары. Схема расположения отверстий для закладки термопар показана на рис. 1б.

Результаты натурных исследований, описанные в работе [1], показали, что конструкции фундаментов за период эксплуатации приобрели существенные повреждения в виде системы вертикальных трещин со скалыванием поверхностных слоев бетона (рис. 2а), а наружные грани столбов подвержены неравномерному нагреву. При этом направление теплового потока не совпадает с направлениями главных осей сечения (рис. 2б). Конструкции столбов испытывают при этом сложную форму напряженного состояния – косое внецентренное сжатие.

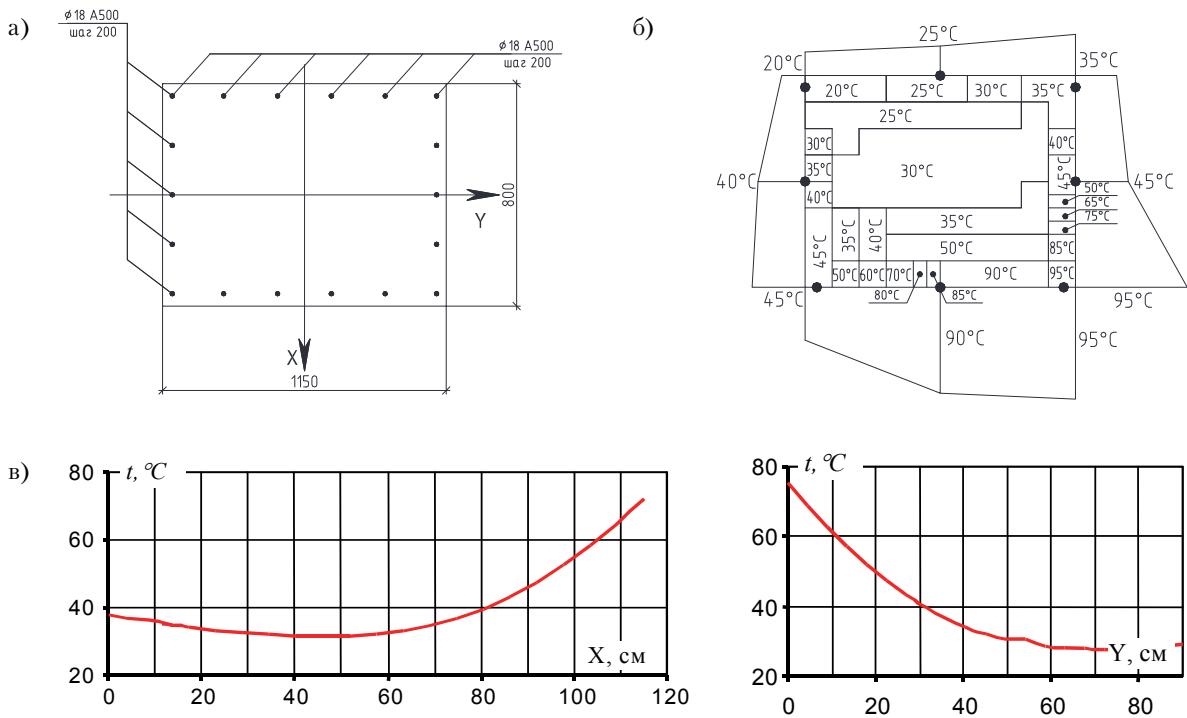
Исходные данные для расчетного определения НДС столбов фундаментов МНЛЗ СП «Метален» получены путем натурных измерений деформаций и неоднородного распределения температуры по объему конструкций столбов в различные технологические периоды эксплуатации.

НДС конструкций фундаментов определялось для этапа возведения, на котором было определено исходное напряженное состояние, обусловливаемое воздействием собственного веса фундамента и технологического оборудования, и для этапа эксплуатации с использованием данных натурных измерений температуры (рис. 1б, 2б, в). При этом величина продольной силы и изгибающего момента на этапе возведения были получены из статического расчета и составили соответственно  $N_z = 1,1$  МН и  $M_x = 0,008$  МН·м [1].

С целью изучения и оценки НДС конструкций столбчатого фундамента, а также оценки эффективности применения высокопрочного сталефибробетона были выполнены сопоставительные расчеты конструкций в двух вариантах исполнения: с использованием бетона проектного класса по прочности В40 и высокопрочного сталефибробетона с процентом фибрового армирования  $\mu_{sfb} = 2,5$  %. Расчет конструкций фундаментов на температурные и силовые воздействия выполнялся методом конечных элементов с применением ПК «Ли́ра-САПР 2017» с учетом физической нелинейности материалов.



**Рисунок 1.** Конструкция исследуемого объекта: а) повреждения конструкции столбчатого фундамента; б) схема расположения ХК-термопар МНЛЗ СП «Метален» г. Енакиево.



**Рисунок 2.** Конструктивная схема и особенности работы объекта: а) схема армирования; б, в) распределение температуры в сечениях конструкции фундамента МНЛЗ.

Для учета физической нелинейности использовался кусочно-линейный закон (№14) с

заданием диаграмм деформирования бетона и армирования. Диаграмма деформирования для

высокопрочного сталефибробетона с процентом фибрового армирования  $\mu_{sfb} = 2,5\%$  при нагреве до  $t = 90^\circ\text{C}$  представлена на рис. 3.

Моделирование конструкции столбчатого фундамента выполнено объемными физически нелинейными универсальными пространственными конечными элементами (тип 236), моделирование продольной арматуры – физически нелинейными шаговыми КЭ (тип 204), моделирование поперечной арматуры – универсальными пространственными стержнями КЭ (тип 10). Для описания нелинейных диаграмм деформирования бетона и стали применялся кусочно-линейный закон деформирования (тип 14). Параметры диаграммы деформирования бетона приняты согласно [17] для  $\mu_{sfb} = 2,5\%$  и в идеализированной форме представлены на рис. 3.

Общий вид расчетной модели и схема армирования конструкции фундамента представлены на рис. 4.

В результате статического расчета с использованием проектного бетона класса В40 получены значения параметров НДС столбчатого фундамента. Величины продольных напряжений  $N_z$  (рис. 5а) составили в среднем 27 МПа, что превышает расчетное сопротивление на сжатие бетона класса В40, равное  $R_b = 22$  МПа. Напряжения в стержнях продольной и поперечной

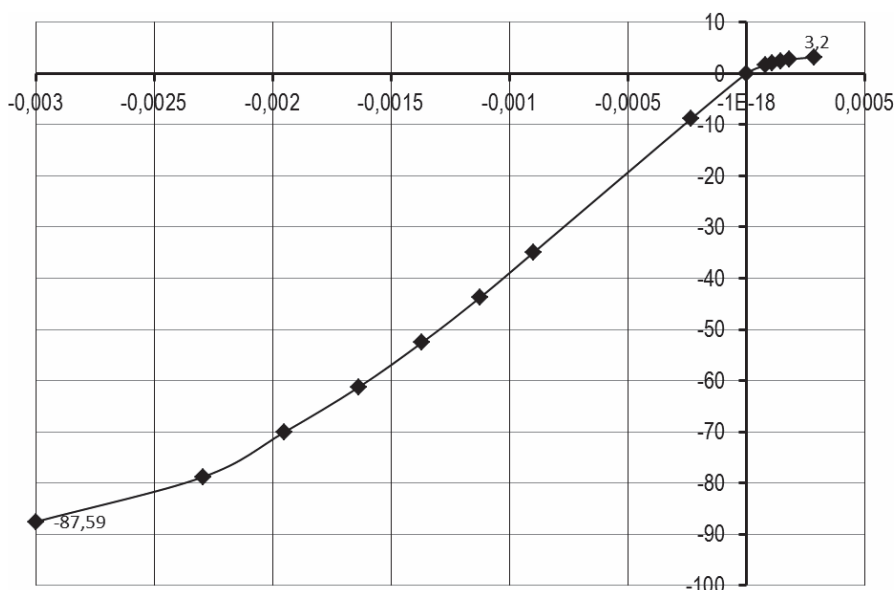
арматуры составили соответственно 21 МПа и 20 МПа (рис. 5г, д). Максимальные растягивающие напряжения составили в среднем 10 МПа, что значительно превышает расчетное сопротивление бетона по прочности на растяжение бетона класса В40, равное  $R_{bt} = 1,4$  МПа, что приводит к образованию трещин шириной раскрытия до  $a_{cr} = 2,0$  мм и соответствует результатам натуральных исследований (рис. 1а), что свидетельствует о состоянии конструкции, как непригодном к нормальной эксплуатации.

Изополя напряжений столбчатого фундамента (бетон класса В40) в сечениях 1-1...6-6 представлены на рис. 6.

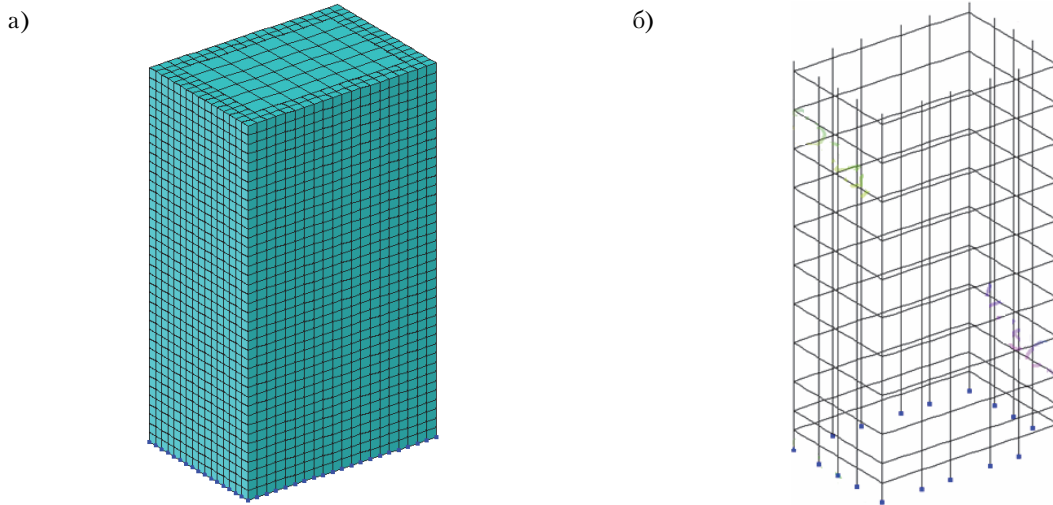
Характер повреждений, выявленный в процессе обследования конструкций столбов, соответствует выявленным в расчетах особенностям их напряженно-деформированного состояния, определенного в расчетах.

Для уменьшения величины растягивающих напряжений и снижения значения ширины раскрытия трещин  $a_{cr}$  рассмотрено применение высокопрочного сталефибробетона с процентом фибрового армирования  $\mu_{sfb} = 2,5\%$ .

При расчете конструкции столба фундамента МНЛЗ на совместное действие температурно-усадочных воздействий с использованием высокопрочного сталефибробетона с



**Рисунок 3.** Диаграмма « $\sigma$ - $\epsilon$ » для высокопрочного сталефибробетона с  $\mu_{sfb} = 2,5\%$  при температуре  $t = 90^\circ\text{C}$ , используемая при создании конечно-элементной модели.



**Рисунок 4.** Расчетная модель исследуемого объекта: а) общий вид; б) схема армирования столбчатого фундамента МНЛЗ.

процентом фибрового армирования  $\mu_{sfb} = 2,5\%$  установлено, что величины продольных напряжений  $N_z$  в среднем снизились до 19,2 МПа, максимальные растягивающие напряжения составили не более 3,66 МПа (рис. 7а, б, в), что больше экспериментально установленных значений  $R_{bt}$  для исследуемого варианта бетона при температурном нагреве, равного 3,2 МПа, вследствие чего отмечено образование трещин. Расчет ширины раскрытия трещин, выполненный согласно пунктам 8.2.15–8.2.18 СП [5], показал, что величина  $a_{срс}$  равна 0,19 мм, что меньше предельно допустимого значения ширины раскрытия трещин при продолжительном действии нагрузки  $a_{срс,ult} = 0,3$  мм.

Напряжения в вертикальной арматуре составили не более 137 МПа, а в поперечной арматуре – не более 21,7 МПа.

Изополя напряжений столбчатого фундамента (высокопрочный сталефибробетон с процентом фибрового армирования  $\mu_{sfb} = 2,5\%$ ) в сечениях 1-1...6-6, изображенных на рис. 2а, представлены на рис. 8.

Проведенный анализ параметров НДС элементов столбчатого фундамента свидетельствует о возможности использования высокопрочного сталефибробетона в конструкциях, работающих в условиях температурно-влажностных воздействий.

Проведенные численные исследования столбов фундаментов МНЛЗ позволили получить

достоверную информацию о влиянии неоднородности температурно-усадочных деформаций на конструкции. Характер распределения данных величин представлен на рис. 9–11.

### Заключение

1. Результаты статического расчета столбчатых фундаментов МНЛЗ СП «Метален» (г. Енакиево) показывают, что напряжения в конструкции достигает 27 МПа, что превышает расчетное сопротивление на сжатие бетона класса В40, равное  $R_b = 22$  МПа. Анализ изополей напряжения подтверждает данные и характер повреждений, выявленных в процессе обследования конструкций.
2. Анализ НДС конструкций столбчатых фундаментов МНЛЗ при использовании высокопрочного сталефибробетона класса В100 с  $\mu_{sfb} = 2,5\%$  вместо бетона класса В40 на совместное действие силовых и температурно-усадочных воздействий с учетом физической нелинейности материалов свидетельствует, что сжимающие напряжения не превышают 19,2 МПа, а растягивающие – не более 3,66 МПа (максимальная ширина раскрытия трещин не более 0,1 мм, что не превышает  $a_{срс,ult}$ ).
3. Проведенный анализ параметров НДС элементов конструкций МНЛЗ свидетельствует о возможности использования высокопрочного

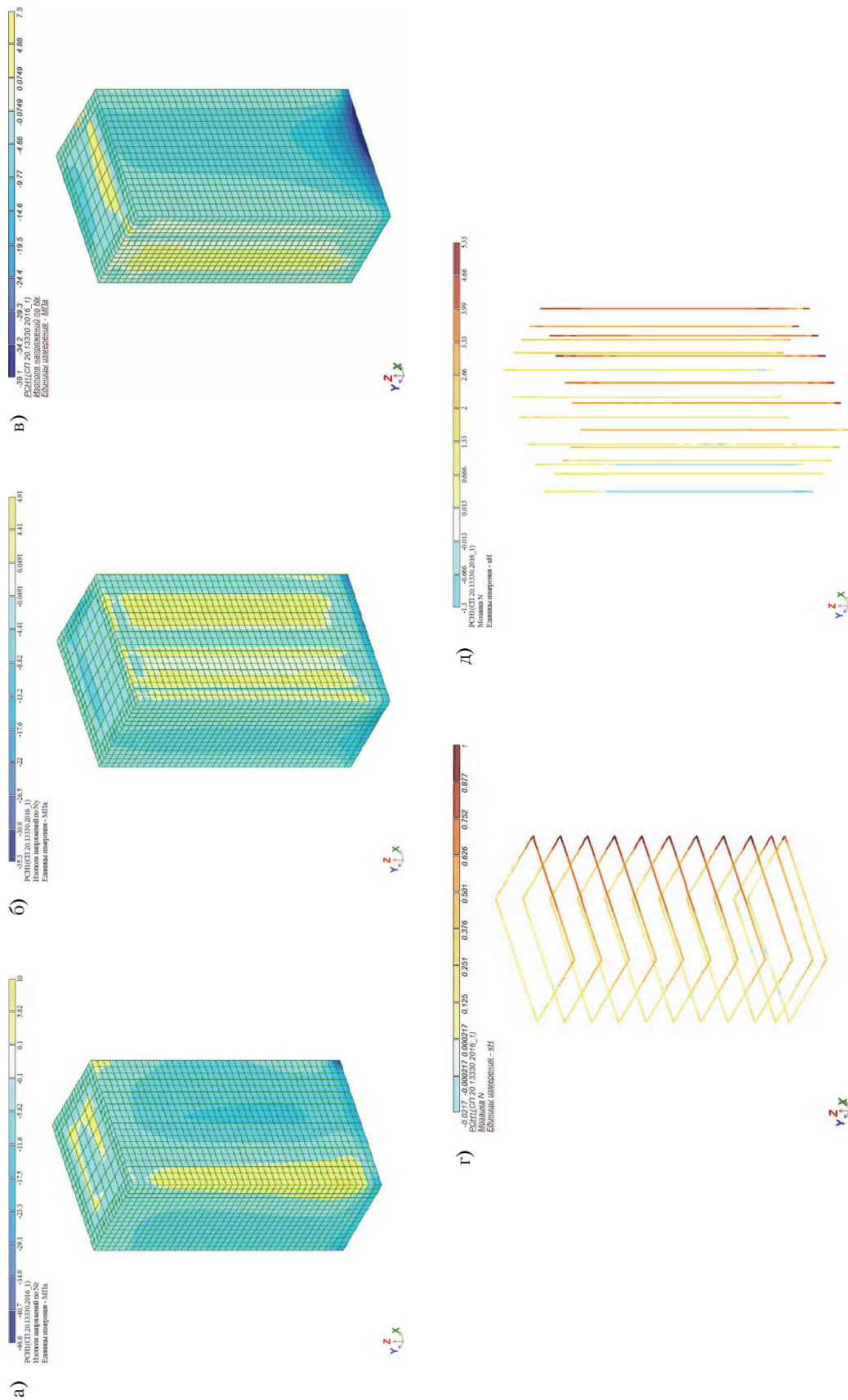


Рисунок 5. Параметры НДС столбчатого фундамента (бетон класса В40): а) изополя напряжений  $N_z$ ; б) изополя напряжений  $N_y$ ; в) изополя напряжений  $N_z$ ; г) мозаика усилий в продольной арматуре; д) мозаика усилий в поперечной арматуре.

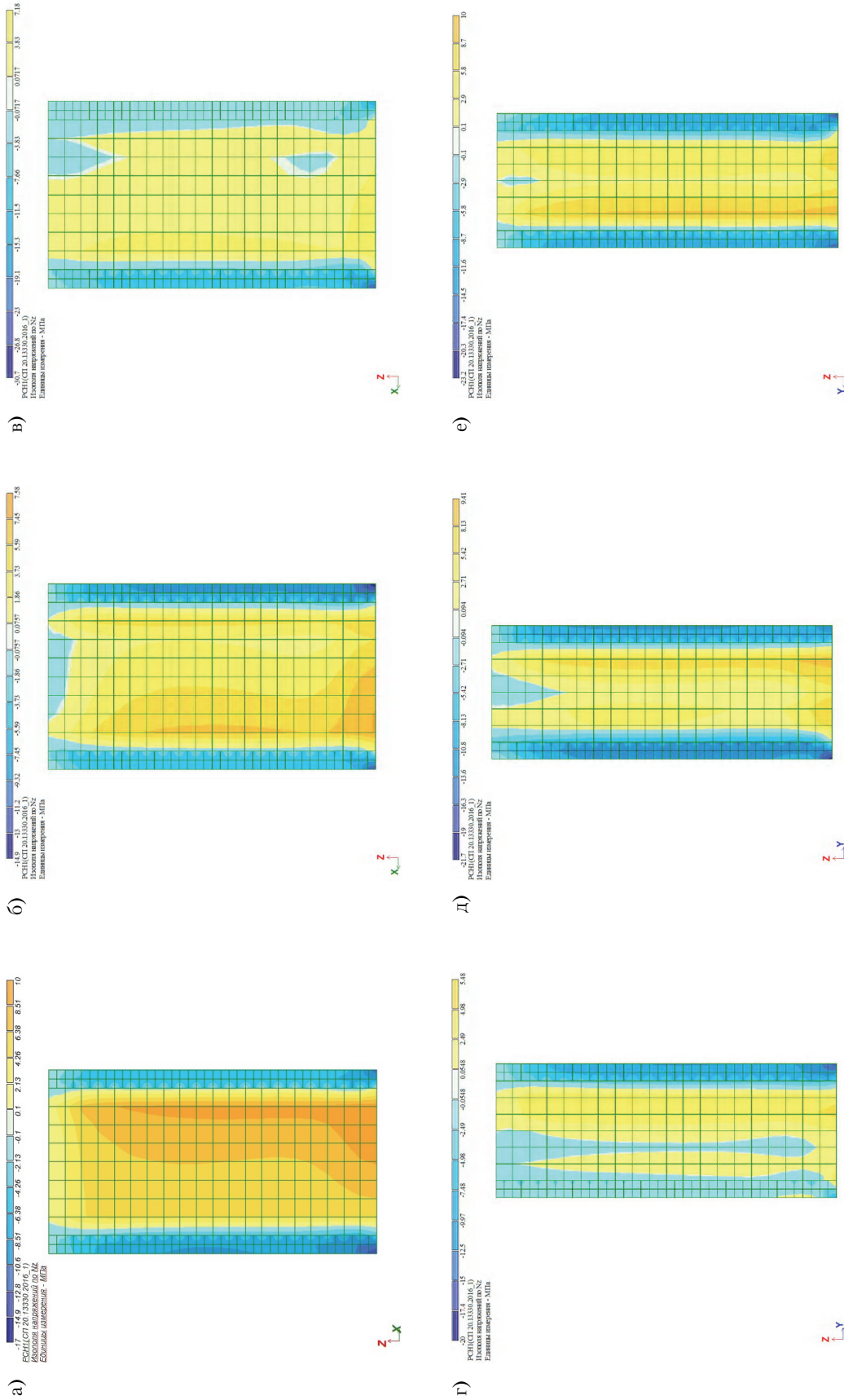
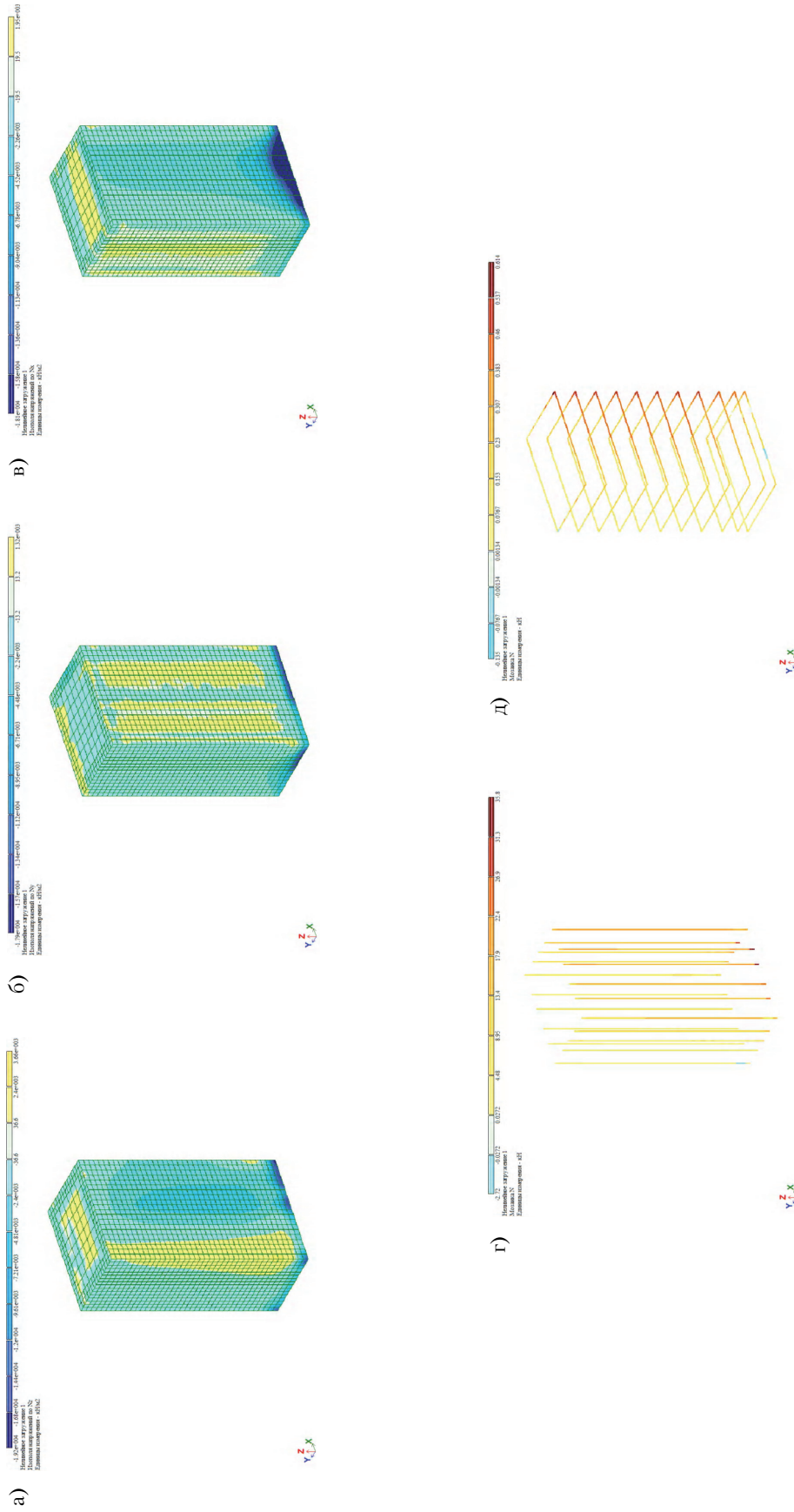
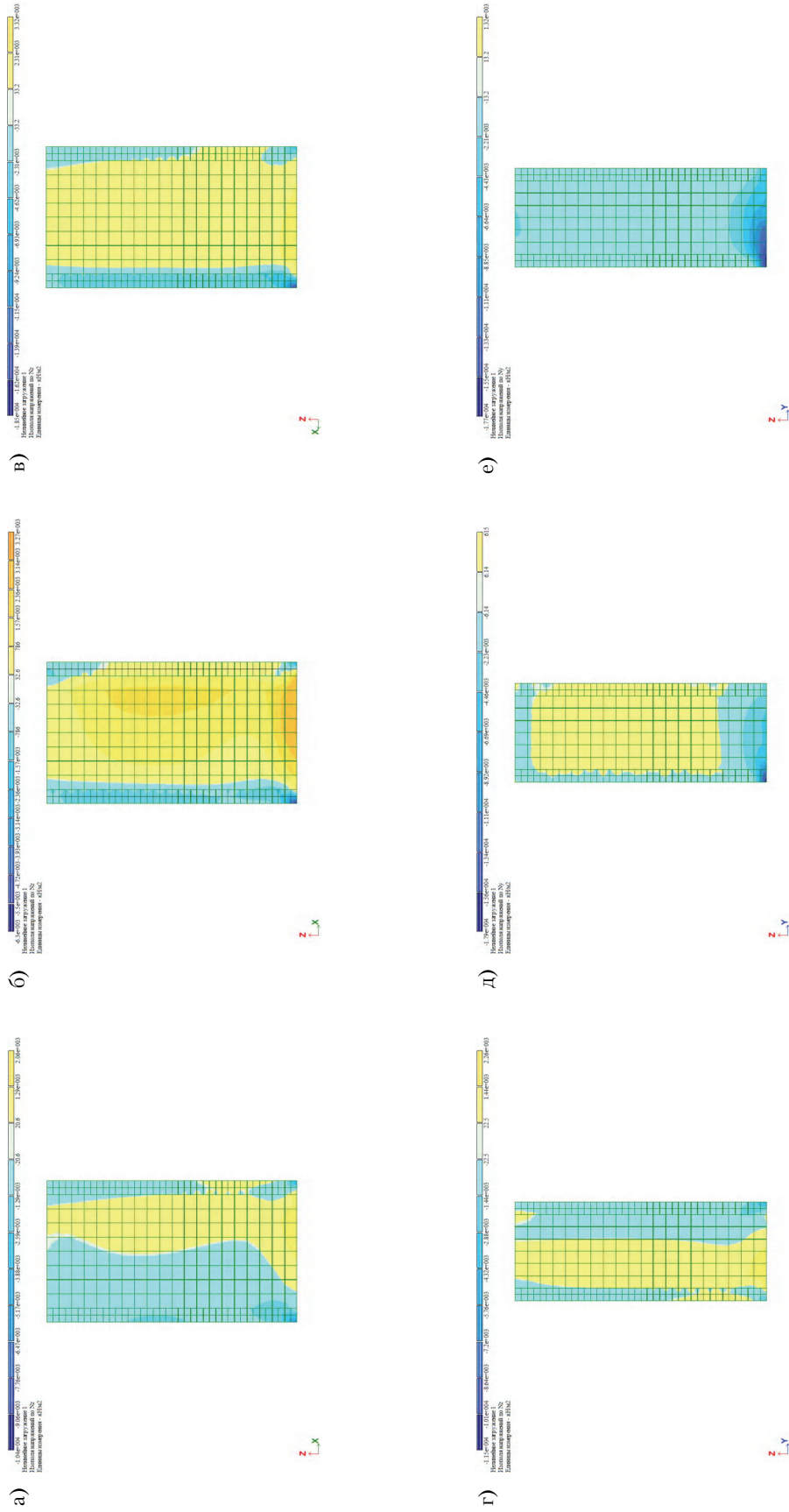


Рисунок 6. Изополя напряжений столбчатого фундамента (бетон класса В40): а) в сечении 1-1; б) в сечении 2-2; в) в сечении 3-3; г) в сечении 4-4; д) в сечении 5-5; е) в сечении 6-6.

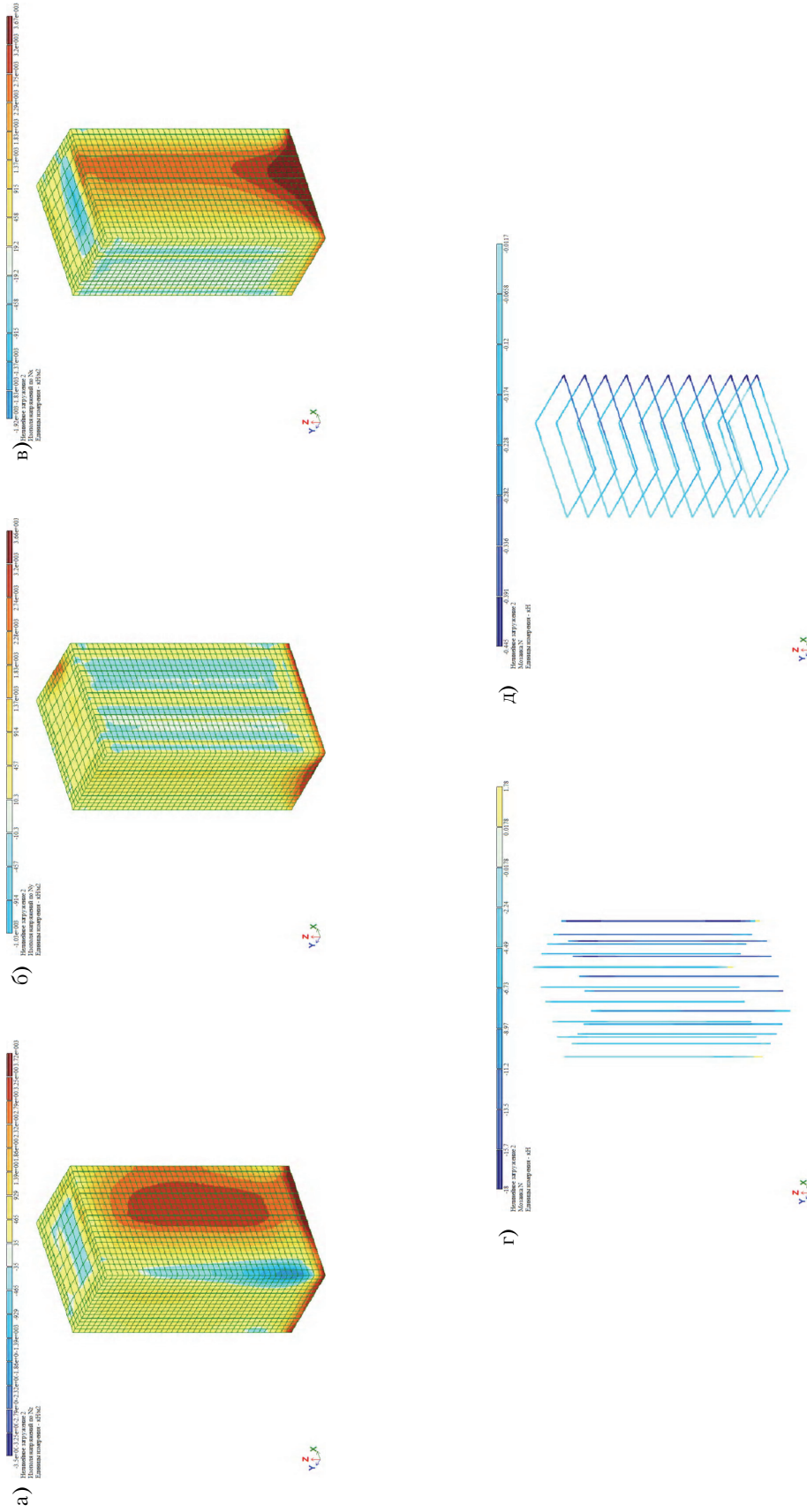




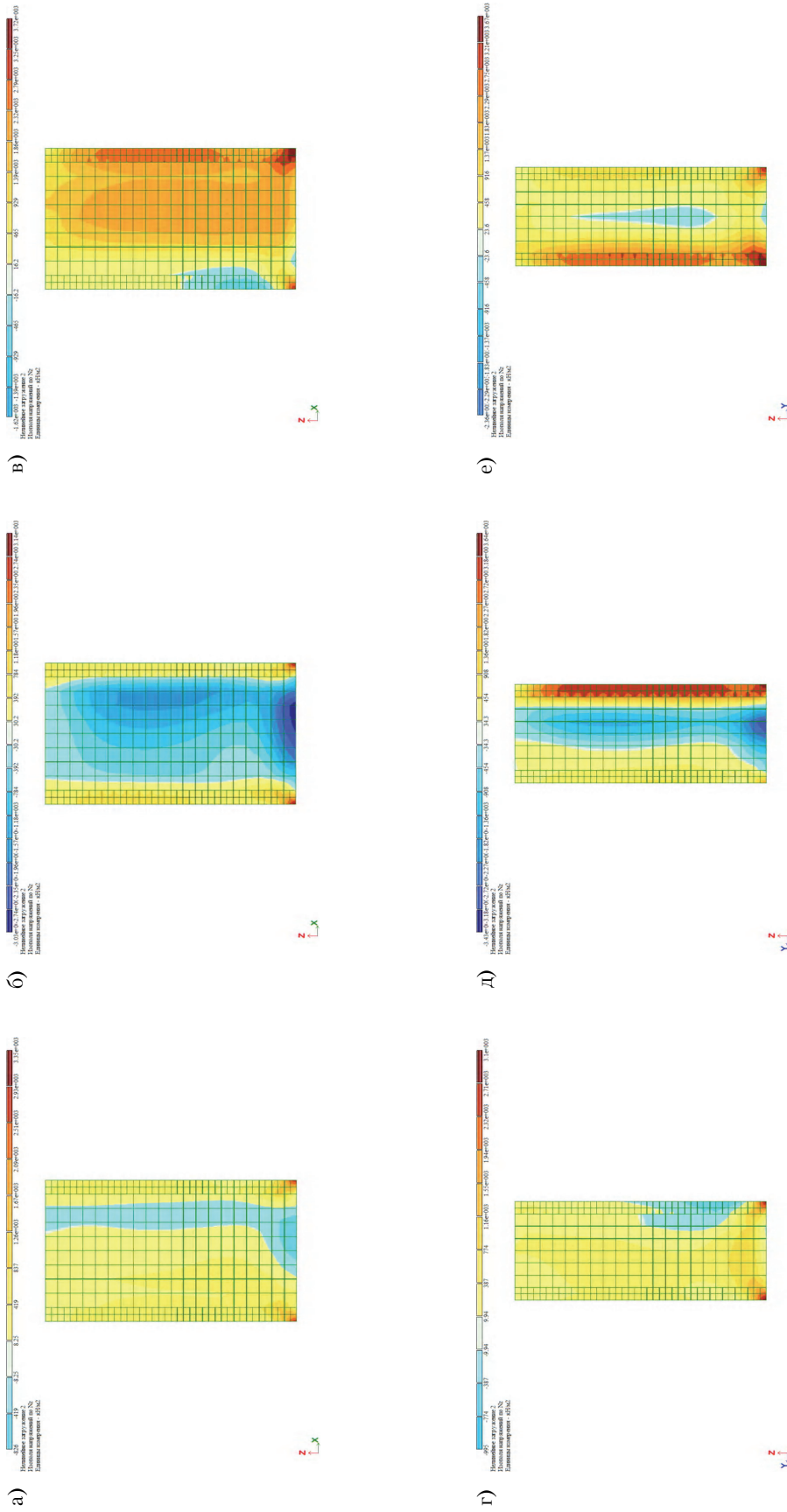
**Рисунок 7.** Параметры НДС столчатого фундамента с учетом неоднородного распределения температуры и деформаций усадки (высокопрочный сталефибробетон с процентом фибрового армирования  $\mu_{sfb} = 2,5\%$ ): а) изополя напряжений  $N_x$ ; б) изополя напряжений  $N_y$ ; в) изополя напряжений  $N_z$ ; г) мозайка усилий в продольной арматуре; д) мозайка усилий в поперечной арматуре.



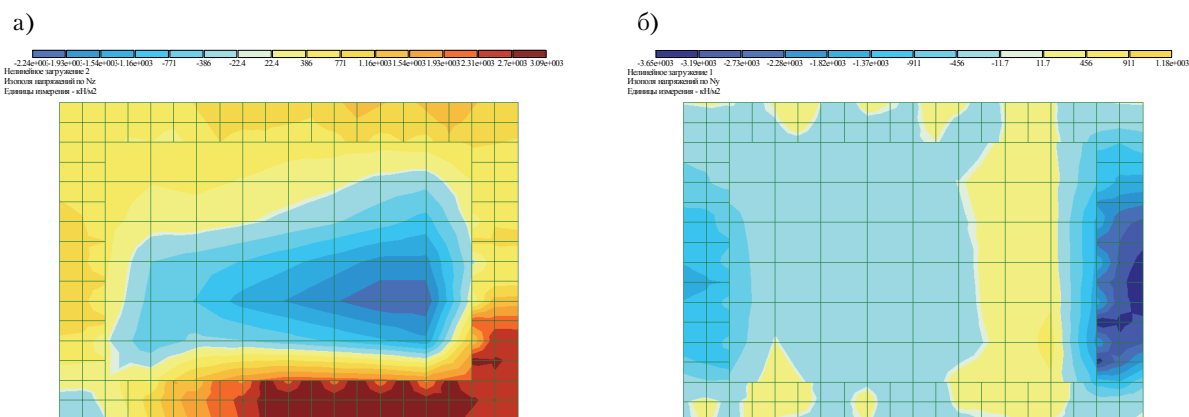
**Рисунок 8.** Изополя напряжений столбчатого фундамента с учетом неоднородного распределения температуры и деформаций усадки из высокопрочного сталефибробетона с процентом фибрового армирования  $\mu_{spb} = 2,5 \%$ : а) в сечении 1-1; б) в сечении 2-2; в) в сечении 3-3; г) в сечении 4-4; д) в сечении 5-5; е) в сечении 6-6.



**Рисунок 9.** Параметры НДС столбчатого фундамента от действия деформаций усадки (высокопрочный сталефибробетон с процентом фибрового армирования  $\mu_{ф,0} = 2,5 \%$ ): а) изополю напряжений  $N_z$ ; б) изополю напряжений  $N_y$ ; в) изополю напряжений  $N_x$ ; г) мозайка усилий в продольной арматуре; д) мозайка усилий в поперечной арматуре.



**Рисунок 10.** Изополя напряжений с учетом деформаций усадки столбчатого фундамента из высокопрочного сталефибробетона с процентом фибрового армирования  $\mu_{s/fb} = 2,5\%$ : а) в сечении 1-1; б) в сечении 2-2; в) в сечении 3-3; г) в сечении 4-4; д) в сечении 5-5; е) в сечении 6-6.



**Рисунок 11.** Характер распределения напряжений по сечению столбчатого фундамента из высокопрочного сталефибробетона с процентом фибрового армирования  $\mu_{sfb} = 2,5\%$ : а) от действия температурной усадки; б) совместного действия температурно-усадочных деформаций.

сталефибробетона в конструкциях, работающих в условиях температурно-влажностных воздействий, а приведенная методика расчета и анализа НДС конструкций с учетом фи-

зической нелинейности позволили получить достоверную информацию о влиянии неоднородности температурно-усадочных деформаций на конструкции.

## 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, № 1. С. 37–44.
2. Оценка эффективности применения высокопрочного сталефибробетона при возведении конструкций машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) [Электронный ресурс] / А. С. Волков, С. Н. Машталер, Д. О. Мозговой [и др.] // Современное промышленное и гражданское строительство. 2019. Т. 15, № 1. С. 45–55. Режим доступа : [http://donnasa.ru/publish\\_house/journals/spgs/2019-1/05\\_volkov\\_mashtaler\\_mozgovoi\\_prokopenko\\_golubets.pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/spgs/2019-1/05_volkov_mashtaler_mozgovoi_prokopenko_golubets.pdf).
3. Емельянов, В. А. Тепловая работа машин непрерывного литья заготовок [Текст] : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Металлургия чёрных металлов» / 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. – 121 с.

## Reference

1. Kalmykov, Yu. Yu. Stressed-deformed state of a reinforced foundation element at uneven heating [Text]. In: *Modern industrial and civic building*. 2007. Vol. 3, № 1. P. 37–44. (in Russian)
2. Volkov, A. S.; Mashtaler, S. N.; Mozgovoy, D. O. [et. al]. Evaluation of the effectiveness of highstrength steel fiber concrete in construction of a continuous casting machine (ccm) [Electronic resource]. In: *Modern industrial and civic building*. 2019. Vol. 15, № 1. P. 45–55. Access mode : [http://donnasa.ru/publish\\_house/journals/spgs/2019-1/05\\_volkov\\_mashtaler\\_mozgovoi\\_prokopenko\\_golubets.pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/spgs/2019-1/05_volkov_mashtaler_mozgovoi_prokopenko_golubets.pdf). (in Russian)
3. Emelyanov, V. A. Thermal operation of continuous casting machines [Text] : textbook for university students enrolled in the specialty «Metal manufacture of ferrous metals». М. : «Metal manufacture», 1988. 143 p. (in Russian)
4. Pryadko, N. V. Inspection and strengthening of industrial buildings [Text]. 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 high and high temperatures [Text]. М. : CISD State Committee of Construction, 1985. 121 p. (in Russian)
6. GOST 20910-90. Heat-resistant concretes. Specifications [Text]. М. : Stroizdat, 1991. 19 p. (in Russian)

6. ГОСТ 20910-90. Бетоны жаростойкие. Технические условия [Текст]. – Взамен ГОСТ 20956-75, ГОСТ 20955-75, ГОСТ 23283-78, ГОСТ 23521-79, ГОСТ 20910-82; введ. 1991-07-01. – М.: Стройиздат, 1991. – 19 с.
7. Волков, А. С. Влияние повышенных температур (до +200 °С) и длительности нагрева на диаграммы деформирования высокопрочного модифицированного бетона [Текст] / А. С. Волков // Будівельні конструкції: міжвідомчий науково-технічний збірник НДІБК. 2013. Т. 2, вип. 2013(78). 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. 2018. Т. 2. – М.: Издательство АСВ. С. 265–275.
9. Korsun, V. Characteristics of mechanical and rheological properties of concrete under heating conditions up to 200 °C [Электронный ресурс] / V. Korsun, A. Korsun, A. Volkov // MATEC Web of Conferences 6, 07002 (2013). № 6. P. 1–8. – Режим доступа : <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 [Текст] / V. Korsun, N. Vatin, A. Franchi [et al.] // Procedia Engineering, 2015. № 117. P. 975–984.
11. Korsun, V. Determination of the Critical Duration of the First Heating of Heavy Concrete by the Criterion of the Maximum Strength Reduction [Электронный ресурс] / V. Korsun, A. Korsun, S. Mashtaler // Applied Mechanics and Materials. 2015. Vol. 725–726. P. 566–571. – Режим доступа : <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 [Текст] / V. I. Morozov, Yu. V. Pukharenko, A. V. Yushin // Materials Physics and Mechanics. 2017. Vol. 31, № 1–2. P. 40–43.
13. Experimental diagrams of fiber concrete straining under tension and compression and their implementation in calculation of bearing capacity of fiber-reinforced concrete flexural elements [Электронный ресурс] / T. Evdokimova, V. Morozov, E. Opbul [et al.] // Materials Science Forum. 2016. Vol. 871. P. 160–165. – Режим доступа : 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.
7. Volkov, A. S. Influence of elevated temperatures (up to +200 °C) and heating duration on deformation diagrams of high-strength modified concrete [Text]. In: Building structures: interdepartmental scientific and technical collection SRIBS. 2013. Vol. 2, Issue. 2013(78). P. 117–123. (in Russian)
8. Korsun, V. I.; Mashtaler, S. N. Influence of temperatures elevated to 200 °C on the characteristics of the physical and mechanical properties of high-strength steel fiber reinforced concrete [Text]. In: *Fundamental, exploratory and applied research of the RAABS on scientific support for the development of architecture, urban planning and the construction industry of the Russian Federation in 2017: collection of scientific papers RAABS*. 2018. Vol. 2. М.: Publisher ACB. P. 265–275. (in Russian)
9. Korsun, V.; Korsun, A.; Volkov, A. Characteristics of mechanical and rheological properties of concrete under heating conditions up to 200 °C [Electronic resource]. In: *MATEC Web of Conferences* 6, 07002 (2013). № 6. P. 1–8. Access mode: <http://dx.doi.org/10.1051/mateconf/20130607002>. (in English)
10. Korsun, V.; Vatin, N.; Franchi, A. [et al.]. 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]. In: *Procedia Engineering*. 2015. № 117. P. 975–984. (in English)
11. Korsun, V.; Korsun, A.; Mashtaler, S. Determination of the Critical Duration of the First Heating of Heavy Concrete by the Criterion of the Maximum Strength Reduction [Electronic resource]. In: *Applied Mechanics and Materials*. 2015. Vol. 725–726. P. 566–571. Access mode: <https://www.scientific.net/AMM.725-726.566>. (in English)
12. Morozov, V. I.; Pukharenko, Yu. V.; Yushin, A. V. The numerical investigations of double-span concrete beams strengthened with fiber reinforced plastics across the oblique section [Text]. In: *Materials Physics and Mechanics*. 2017. Vol. 31, № 1–2. P. 40–43. (in English)
13. Evdokimova, T.; Morozov, V.; Opbul, E. [et al.]. Experimental diagrams of fiber concrete straining under tension and compression and their implementation in calculation of bearing capacity of fiber-reinforced concrete flexural elements [Electronic resource]. In: *Materials Science Forum*. 2016. Vol. 871. P. 160–165. Access mode: DOI: 10.4028/ www.scientific.net/ MSF.871.160. (in English)
14. Nekrasov, K. D.; Zhukov, V. V.; Gulyayeva, V. F. Heavy concrete at elevated temperatures [Text]. М.: Стройиздат, 1972. 128 p. (in Russian)
15. SP 63.13330-2016. Concrete and reinforced concrete structures. Basic provisions [Text]. М.: CITD of State construction of the Russian Federation, 2016. 164 p. (in Russian)
16. Krichevsky, A. P. Calculation of reinforced concrete engineering structures for temperature effects [Text]. М.: Стройиздат, 1984. 148 p. (in Russian)

15. СП 63.13330-2016. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения [Текст] : актуализированная редакция СНиП 52-01-2003 ; введ. 2019-06-20. – М. : ЦИТП Госстроя РФ, 2016. – 164 с.
16. Кричевский, А. П. Расчет железобетонных инженерных сооружений на температурные воздействия [Текст] / А. П. Кричевский. – М. : Стройиздат, 1984. – 148 с.
17. 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.
17. Korsun, V. I.; Mashtaler, S. N. Influence of temperatures elevated to 200 °C on the characteristics of physical and mechanical properties of high-strength steel-fiber reinforced concrete [Text]. In: *Fundamental, exploratory and applied research of the RAABS on scientific support for the development of architecture, urban planning and the construction industry of the Russian Federation in 2017: collection of scientific papers RAABS*. Vol. 2. М. : Publisher АСВ. P. 265–275. (in Russian)

**Машталер Сергей Николаевич** – кандидат технических наук, доцент 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.

**Машталер Сергій Миколайович** – кандидат технічних наук, доцент 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.

**Mashtaler Sergii** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Reinforced Concrete Constructions Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of methods for determining the characteristics of the stress-strain state of reinforced concrete (steel-fiber concrete) elements under simple modes of force and temperature effects, assessment of the technical condition and design of reinforced concrete structures.