

Влияние деформации железобетонных балочных элементов при неравномерном нагреве

Н. Нго¹

¹ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Информация о статье Научная статья

Аннотация

В настоящее время в химической промышленности и энергетической сфере много разрушенных сооружений под воздействием высоких температур. В данной статье проанализировано влияние деформации железобетонных балочных элементов конструкций (ЖБЭК) соответствующих граничных условий при разностороннем нагреве до +200 градусов Цельсия. Использован метод конечных элементов (МКЭ) для моделирования процесса деформирования железобетонных балочных элементов конструкций в ANSYS Mechanical (Workbench), а также получены данные о деформации железобетонных балочных элементов конструкций. Одним из самых распространенных таких комплексов сегодня является программа ANSYS, использующая метод конечных элементов, представляет собой многоцелевой пакет проектирования и анализа, признанный во всем мире. ANSYS Mechanical (Workbench) предоставляет широкие возможности для выполнения проектных разработок, анализа и оптимизации.

Ключевые слова: Железобетонный балочный элемент конструкций (ЖБЭК), деформация, разносторонний нагрев, метод конечных элементов (МКЭ), ANSYS Mechanical (Workbench)

Содержание

1.	Введение	68
2.	Методы	71
3.	Результаты и обсуждение	72
4.	Заключение	82

1. Введение

К настоящему времени существенное развитие получили два типа моделей: модели, реализующие идею работы бетона как ортотропного тела [1] и модели, базирующиеся на гипотезах теории малых упругопластических деформаций [3, 5, 6, 7, 8] и вторые модели рассмотрены в этой статье.

Проблема расчета ЖБЭК с учетом температуры в ANSYS Mechanical (Workbench), учитывающих физическую линейность деформирования железобетона и длительные процессы в ЖБЭК при температурных воздействиях в условиях существенной однородности и анизотропии материала.

Для ЖБЭК принимаем значения:

- ширины: 0,15 м;
- высоты: 0,25 м;
- длины: 1 м.

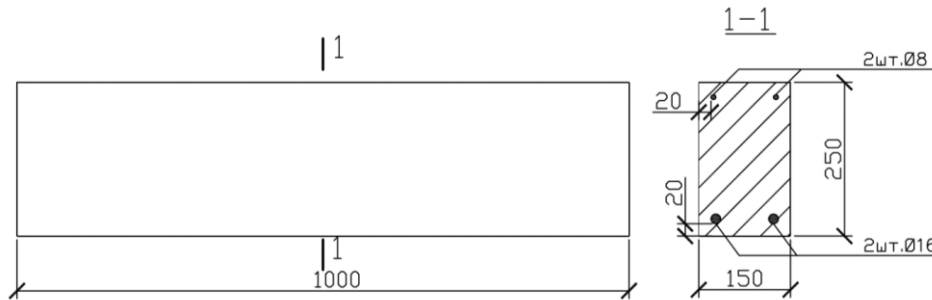


Рис.1.1 Размеры ЖБЭК, мм

Работа Г.А. Гениев и др. [5] показывает, что описание напряженно-деформированного состояния (НДС) бетона является сложной задачей. Поэтому, расчет ЖБЭК рекомендуется выполнить в определении НДС ЖБЭК при длительном действии эксплуатационных нагрузок и технологических и климатических температур в разнообразных сочетаниях с оценкой предельных состояний по образованию и раскрытию трещин.

Такой расчет ЖБЭК реализуется в ANSYS Mechanical (Workbench). Одним из наиболее распространенных приближенных численных методов – методом конечных элементов.

Некоторые теоретические деформации по формулам:

Простейшим видом деформации является деформация растяжения или сжатия. Её можно характеризовать абсолютным удлинением Δl , возникающим под действием повышенных температур. Связь между Δl и температурой не только механических свойств вещества, но и от геометрических мест ЖБЭК. Отношение абсолютного удлинения Δl к первоначальной длине l образца называется нормальной деформацией ε [2]:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (1.1)$$

Где:

ε - нормальная деформация; Δl - абсолютное удлинение; l – первоначальная длина. При растяжении $\varepsilon > 0$, при сжатии $\varepsilon < 0$.

Деформация сдвига γ характеризуется величиной относительного сдвига [2]:

$$\gamma = \frac{BA}{BC} = \tan \alpha \approx \alpha \quad (1.2)$$

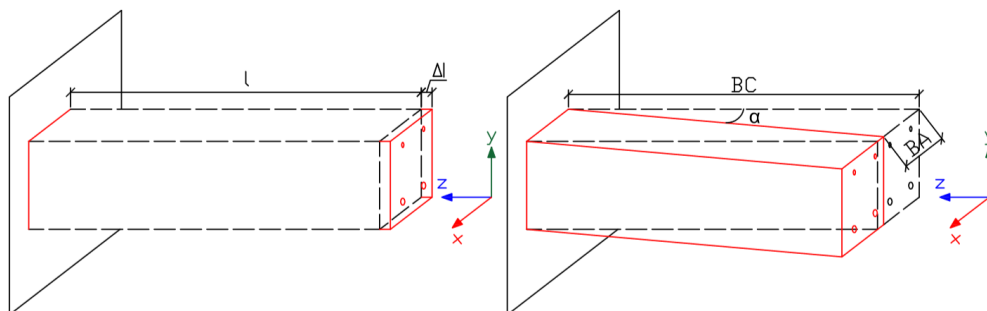


Рис.1.2 Деформация растяжения/сжатия (налево) и сдвига (направо)

Общая величина деформаций ненагруженного бетона при действии повышенных температур включает три вида деформаций – деформации усадки, обратимые и необратимые температурные деформации, определена по формуле [3]:

$$\varepsilon_b = \varepsilon_b^u(t) + \varepsilon_b^o(t) - \varepsilon_y(t) \quad (1.3)$$

Где:

$\varepsilon_b^u(t)$ и $\varepsilon_b^o(t)$ – соответственно необратимые и обратимые температурные деформации при нагреве бетона до температуры t^o , $\varepsilon_y(t)$ – деформации усадки бетона при повышенной температуре t^o .

Для конструкций средней массивности с модулем открытой поверхности $M_0 = 40..5 \text{ м}^{-1}$ при отсутствии данных о распределении полей влажности бетона, в формуле температурно-усадочных деформаций допускается замена функции изменения влажности функцией времени действия температуры, что существенно упрощает расчеты [4].

$$\varepsilon_b(t^o, t) = [\alpha_b^u(t^o) + \alpha_b^o(t^o) + \Delta\alpha_b^o(t^o, T)] \cdot (t^o - t_{норм}^o) - \varepsilon_{cs}(t^o, T) \quad (1.4)$$

Где:

$\alpha_b^u(t^o)$ – коэффициент линейных необратимых температурных деформаций; $\alpha_b^o(t^o)$ – коэффициент линейной обратимой температурной деформации бетона, имеющего влажность, равновесную со средой при температуре t^o ; $\Delta\alpha_b^o(t^o, T)$ – коэффициент, характеризующий приращение линейной обратимой температурной деформации бетона, влажность которого превышает равновесную при температуре t^o ; $t_{норм}^o$ – значение нормальной температуры; T – время действия повышенной температуры t^o ; $\varepsilon_{cs}(t^o, T)$ – относительная деформация усадки бетона при повышенных температурах.

С учетом температурных воздействий зависимость между деформациями и напряжениями устанавливается обобщенным законом Гука [9]:

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} [\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)] + \alpha t \quad (1.5)$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E} [\sigma_y - \nu(\sigma_x + \sigma_z)] + \alpha t \quad (1.6)$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E} [\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)] + \alpha t \quad (1.7)$$

$$\gamma_{xy} = \tau_{xy} / G \quad (1.8)$$

$$\gamma_{yz} = \tau_{yz} / G \quad (1.9)$$

$$\gamma_{zx} = \tau_{zx} / G \quad (1.10)$$

Где:

E – модуль упругости при растяжении; $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$ – модуль упругости при сдвиге или модуль сдвига; ν

– коэффициент Пуассона. Для многих материалов $\nu = 0,25$. Для конструкционных сталей $\nu = 0,3$; $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ – относительные удлинения в направлениях x, y, z ; $\gamma_{xy}, \gamma_{xz}, \gamma_{yz}$ – компоненты сдвиговой деформации в прямоугольных координатах; α – коэффициент теплового расширения; $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ – нормальные компоненты напряжения, параллельные осям x, y, z ; $\tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yx}$ – компоненты касательного напряжения в прямоугольных координатах; t – время.

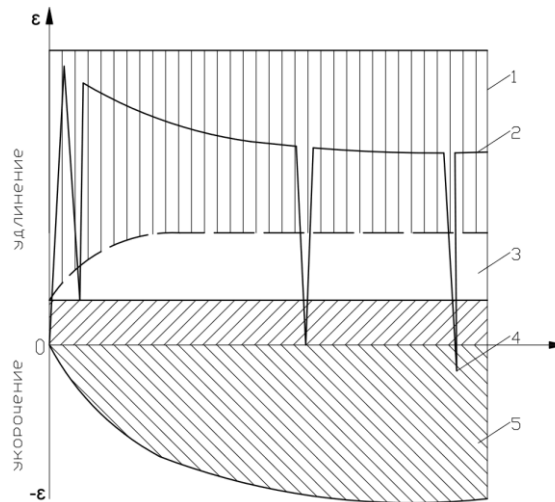


Рис.1.3 Компоненты температурно-усадочных деформаций бетона при повышенных температурах

1 – обратимые температурные деформации; 2 – обобщенная кривая температурно-усадочных деформаций; 3 – уменьшение обратимых температурных деформаций, вызванное уменьшением влажности бетона; 4 – необратимые температурные деформации; 5 – деформации усадки.

Описание варианта геометрических мест ЖБЭК в ANSYS Mechanical (Workbench):

Для упрощения описания ЖБЭК в ANSYS Mechanical (Workbench) использована гипотеза об однородности и изотропности свойств бетона как материала является одной из основополагающих при разработке теорий кратковременного и длительного деформирования бетона.

Решение ЖБЭК для реальных балочных конструкций достигается реализацией в расчете соответствующих граничных условий. При этом рассматривались следующие варианты:

Вариант 1. Консольная железобетонная балка (ЖБ) - ЖБ с одним жестко зафиксированным концом. Для такой ЖБ принято следующее условное обозначение:



Рис.1.4 Консольная железобетонная балка

Вариант 2. ЖБ с жестким защемлением на концах: ЖБ и стены, на которые ЖБ опирается, бетонируются одновременно или при бетонировании ЖБ предусмотрены закладные детали для жесткого соединения с другими элементами конструкции. Для такой ЖБ принято следующее условное обозначение:



Рис.1.5 Железобетонная балка с жестким защемлением на концах

Вариант 3. ЖБ на двух шарнирных опорах: Если ЖБ устанавливается в проектное положение после изготовления, ширина опирания ЖБ на стены меньше 200мм и в ЖБ не предусмотрены закладные детали для жесткого соединения с другими элементами конструкции, то такая ЖБ должна рассматриваться как ЖБ на шарнирных опорах. Для такой ЖБ принято следующее условное обозначение:



Рис.1.6 Железобетонная балка на двух шарнирных опорах

ЖБЭК, работающие в условиях воздействия повышенных температур, так как с момента возведения до начала эксплуатации и, следовательно, до начала воздействия температур, проходит, как правило, значительный период времени работы под действием длительно действующих нагрузок от собственного веса конструкций.

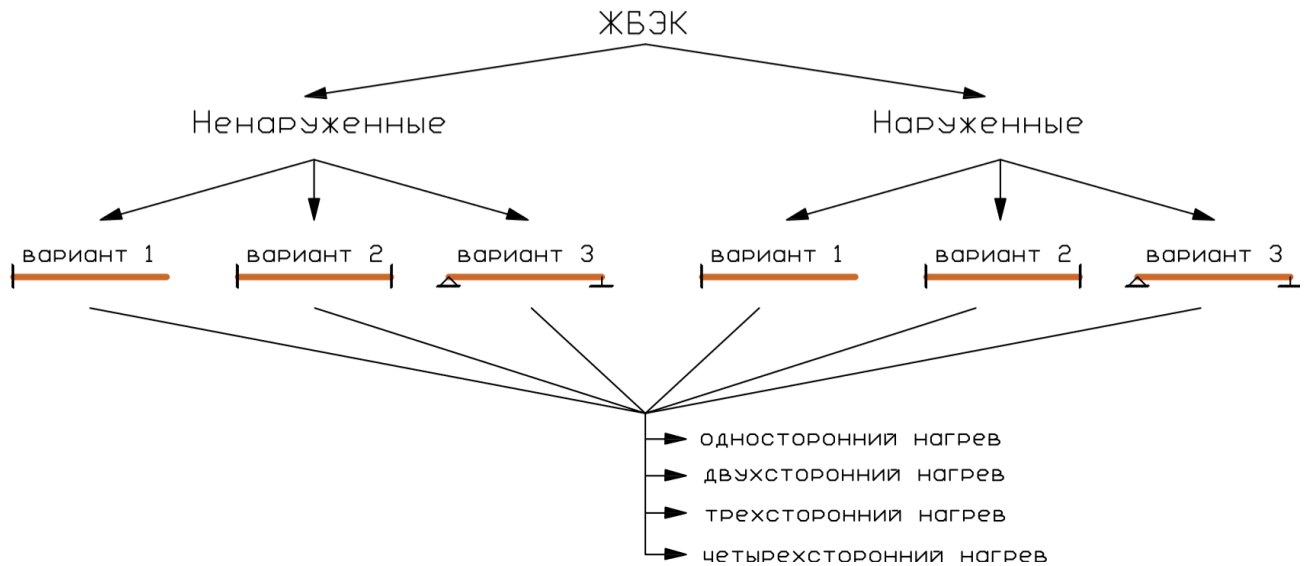


Рис.1.7 Схема испытания ЖБЭК

В таблице 1 приведены физико-механические свойства бетона и арматуры, используемых в рассматриваемой ЖБЭК.

Таблица 1.

Физико-механические свойства бетона и стали арматуры	
Плотность бетона	2300 кг/м ³
Модуль Юнга бетона	30 МПа
Коэффициент Пуассона	0,18
Предел прочности при сжатии	41 МПа
Предел прочности при растяжении	5 МПа
Модуль Юнга стали	200 ГПа
Коэффициент Пуассона стали	0,3
Предел текучести стали	250 МПа

2. Методы

Для расчета деформации ЖБЭК использован метод конечных элементов (МКЭ) [10]. Этот метод основан в перемещениях для гетерогенной анизотропной среды заключается в решении дифференциальных уравнений равновесия в перемещениях:

$$\nabla \cdot \sigma + f_v = 0 \quad (1.11)$$

Где:

$\sigma = {}^4C(r) \cdot \varepsilon$ - обобщенный закон Гука;

$\sigma = \sigma_{ij} e_i e_j = \sigma^T$ - тензор напряжений (2-го ранга);

$\varepsilon = \varepsilon_{ij} e_i e_j$ - тензор деформаций (2-го ранга).

В случае малых деформаций ($|\nabla u| \ll 1$), тензор деформаций ε выражается через вектор перемещений с помощью соотношения Коши:

$$\varepsilon = \frac{1}{2} (\nabla u + (\nabla u)^T) = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) e_i e_j = \varepsilon^T \quad (1.12)$$

Где:

$$\varepsilon_{11} = \frac{\partial u_1}{\partial x_1}, \varepsilon_{22} = \frac{\partial u_2}{\partial x_2}, \varepsilon_{33} = \frac{\partial u_3}{\partial x_3} \text{ - относительные деформации;}$$

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \gamma_{ij}, \gamma_{ij} = \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \text{ - сдвиги}$$

$$\text{Таким образом, } \sigma = {}^4C(r) \cdot \varepsilon = {}^4C(r) \cdot \nabla u$$

Дифференциальные уравнения равновесия принимают вид:

$$\nabla \cdot ({}^4C(r) \cdot \nabla u) + f_v = 0 \quad (1.13)$$

Где:

$r = x_1 e_1 + y_2 e_2 + z_3 e_3$ - радиус-вектор рассматриваемой точки, $r \in \text{ЖБЭК}$

$u = u_k e_k$ - вектор перемещений

$$\nabla = \frac{\partial}{\partial x_k} e_k + \frac{\partial}{\partial y_k} e_k + \frac{\partial}{\partial z_k} e_k \text{ - оператор Гамильтона}$$

${}^4C(r) = C_{ijkl} e_i e_j e_k e_l$ - тензор упругих модулей (4-го ранга)

$f_v = f_{vk} e_k$ - вектор объемных сил

К системе уравнений равновесия добавляются граничные условия:

$u|_s = u_s(r)$ - кинематические граничные условия, $u_s(r)$ - заданный на границе вектор перемещения;

$n \cdot \sigma|_s = n \cdot {}^4C(r) \cdot \nabla u|_s = f_s(r)$ - статические граничные условия, $f_s(r)$ - заданный вектор поверхностных сил;

$u|_{s_1} = u_s(r); n \cdot \sigma|_{s_2} = n \cdot {}^4C(r) \cdot \nabla u|_{s_2} = f_s; S = S_1 \cup S_2$ - смешанные граничные условия.

Определяющие соотношения в линейной теории упругости для гетерогенной анизотропной среды:

$\sigma = {}^4C(r) \cdot \varepsilon = C_{ijmn} \varepsilon_{mn} e_i e_j$ - обобщенный закон Гука;

$\varepsilon = {}^4S(r) \cdot \sigma = S_{ijmn} \sigma_{mn} e_i e_j$ - обобщенный закон Гука в обратной форме, ${}^4S(r)$ - тензор упругих податливостей (4-го ранга);

$$\sigma = \frac{\partial W(\varepsilon)}{\partial \varepsilon} \text{ - формула Грина;}$$

$$\varepsilon = \frac{\partial W(\sigma)}{\partial (\sigma)} \text{ - формула Кастильяно.}$$

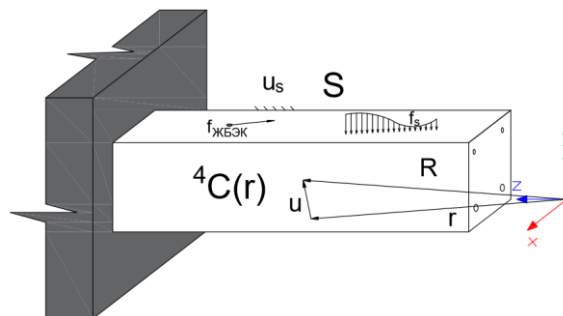


Рис.1.8 ЖБЭК с приложенными объёмными и поверхностными нагрузками

3. Результаты и обсуждение

Вариант 1

ЖБЭК при одностороннем нагреве и $t = \infty$ (бесконечное) - время действия повышенной температуры t^0 С.

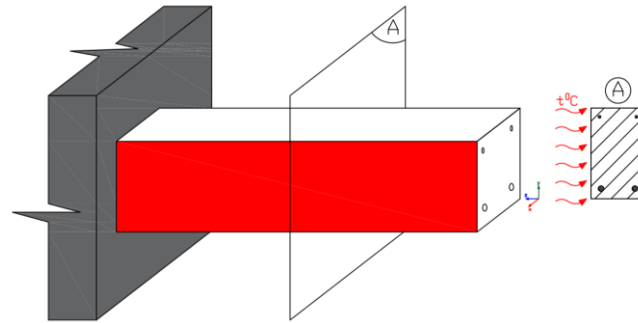


Рис.1.9 Односторонний нагрев ЖБЭК, $t=50,100,150,200^{\circ}\text{C}$

*) Поверхность ЖБЭК действующих температур обозначена красным.

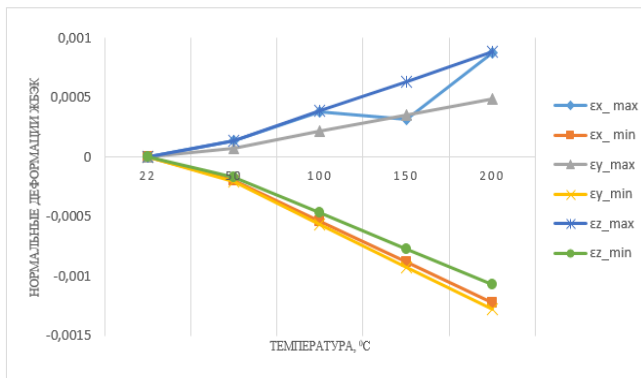


График 1.1 Нормальные деформации ЖБЭК (ненагруженный)

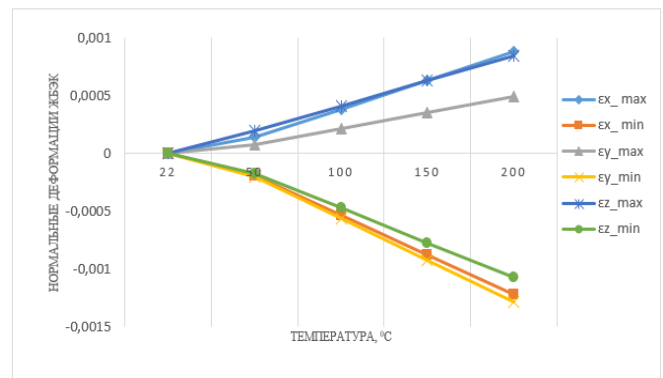


График 1.3 Нормальные деформации ЖБЭК (нагруженный)

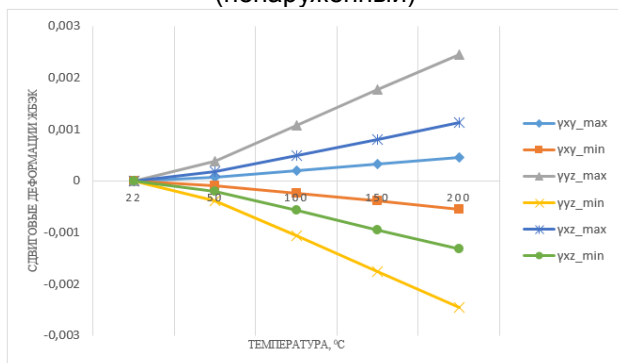


График 1.2 Сдвиговые деформации ЖБЭК (ненагруженный)

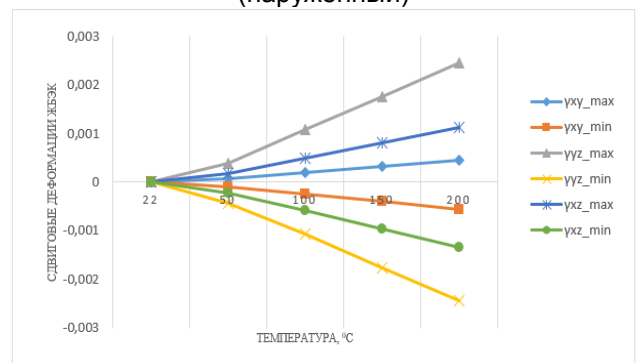
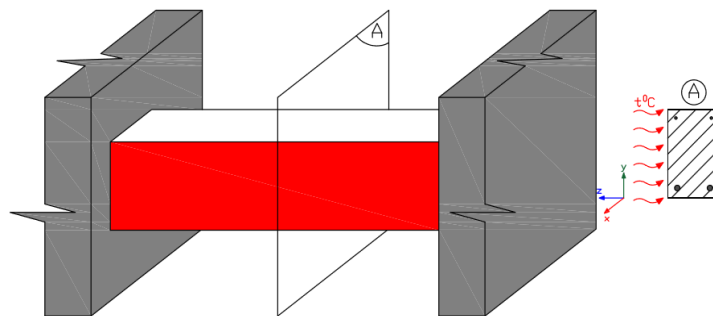


График 1.4 Сдвиговые деформации ЖБЭК (нагруженный)

Вариант 2

ЖБЭК при одностороннем нагреве и $t=\infty$ (бесконечное) - время действия повышенной температуры t^0 С.



*) Поверхность ЖБЭК действующих температур обозначена красным.

Рис.1.10 Односторонний нагрев ЖБЭК, $t=50,100,150,200^{\circ}\text{C}$

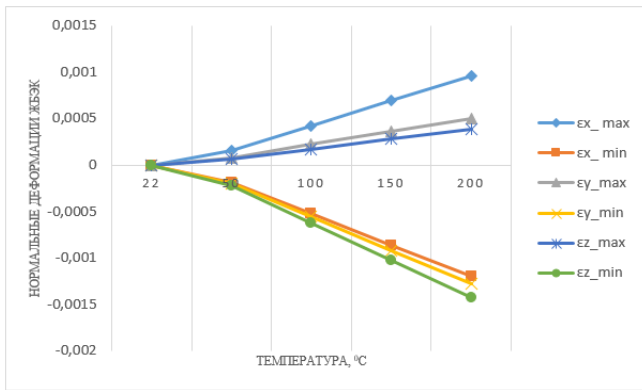


График 1.5 Нормальные деформации ЖБЭК (ненагруженный)

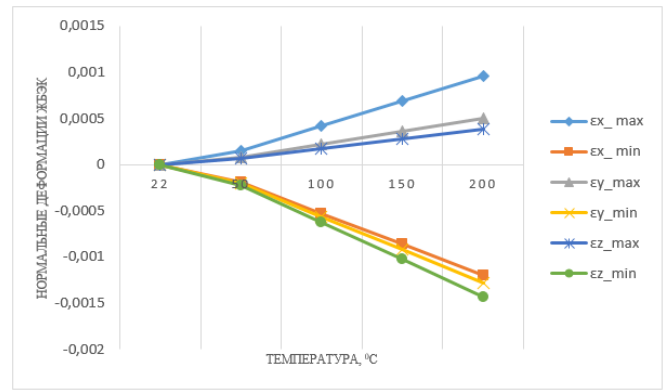


График 1.7 Нормальные деформации ЖБЭК (нагруженный)

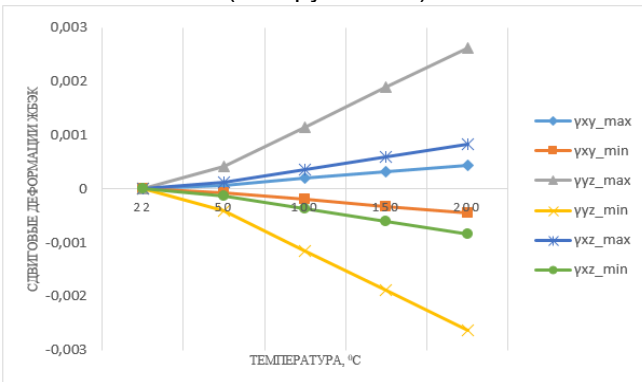


График 1.6 Сдвиговые деформации ЖБЭК (ненагруженный)

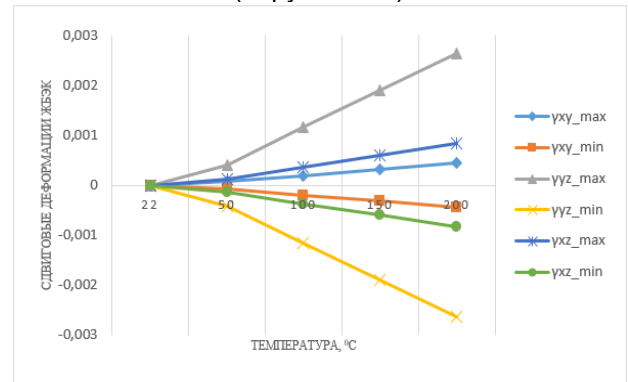
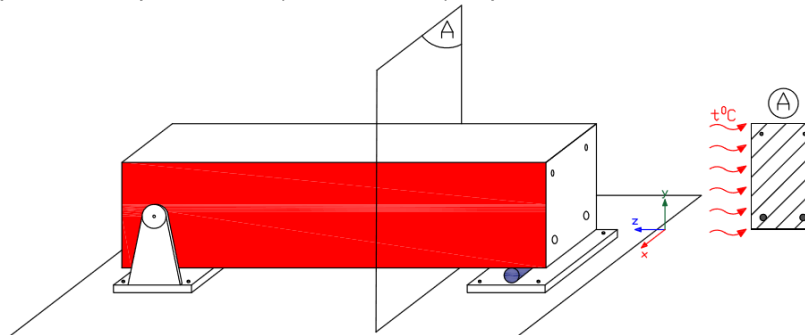


График 1.8 Сдвиговые деформации ЖБЭК (нагруженный)

Вариант 3

ЖБЭК при одностороннем нагреве и $t = \infty$ (бесконечное) - время действия повышенной температуры t^0C .



*) Поверхность ЖБЭК действующих температур обозначена красным.

Рис.1.11 Односторонний нагрев ЖБЭК, $t=50, 100, 150, 200^0C$

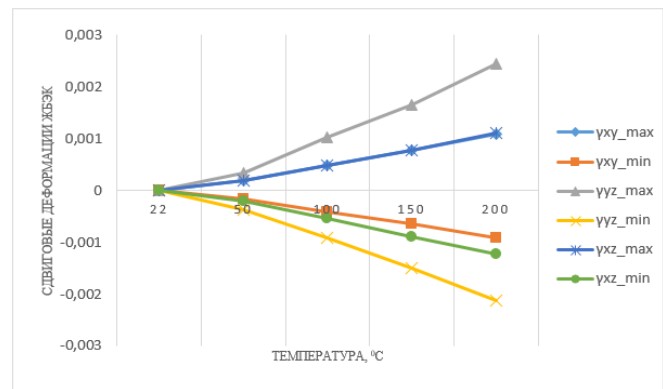
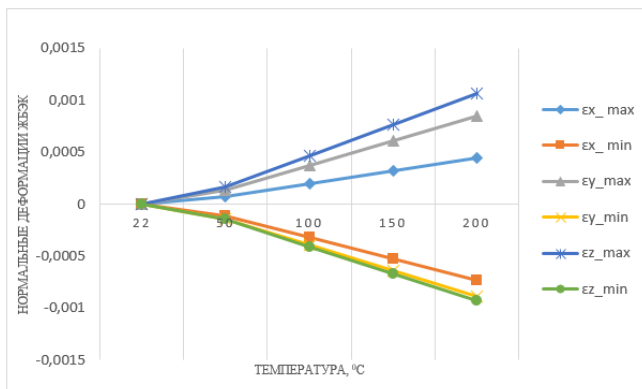


График 1.9 Нормальные деформации ЖБЭК (ненагруженный)

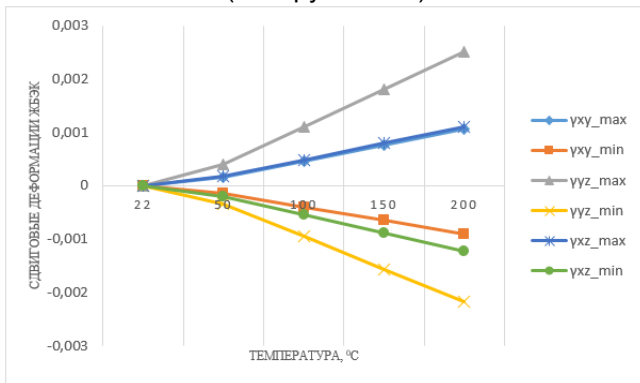


График 1.10 Сдвиговые деформации ЖБЭК (ненагруженный)

График 1.11 Нормальные деформации ЖБЭК (нагруженный)

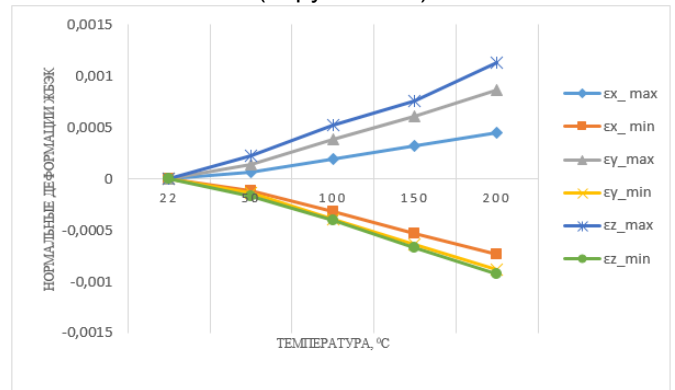
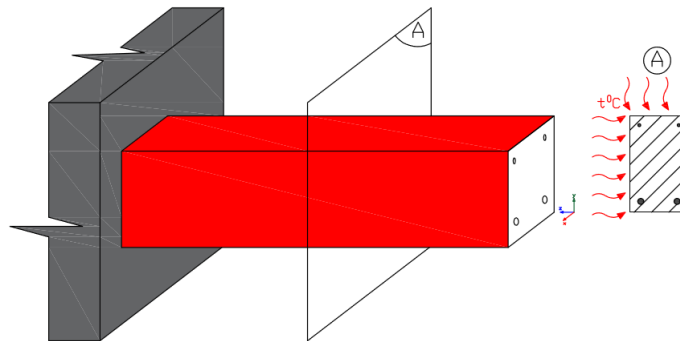


График 1.8 Сдвиговые деформации ЖБЭК (нагруженный)

3.2 Двухсторонний нагрев

Вариант 1

ЖБЭК при двухстороннем нагреве и $t = \infty$ (бесконечное) - время действия повышенной температуры



*) Поверхность ЖБЭК действующих температур обозначена красным.

Рис. 1.12 Двухсторонний нагрев ЖБЭК, $t = 50, 100, 150, 200^{\circ}\text{C}$

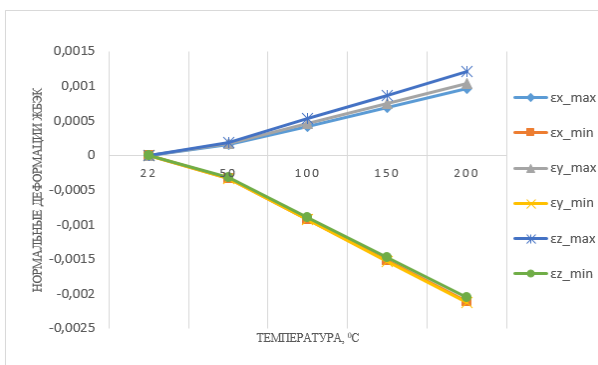


График 1.13 Нормальные деформации ЖБЭК (ненагруженный)

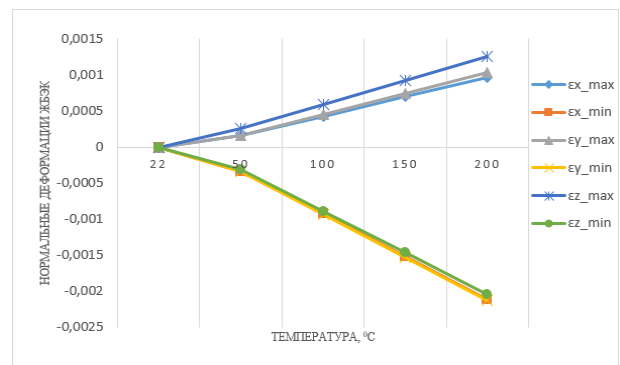


График 1.15 Нормальные деформации ЖБЭК (нагруженный)

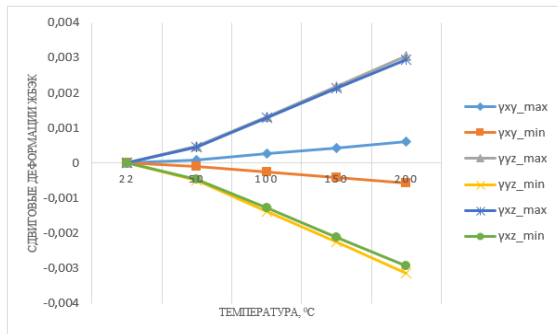


График 1.14 Сдвиговые деформации ЖБЭК (ненаруженный)

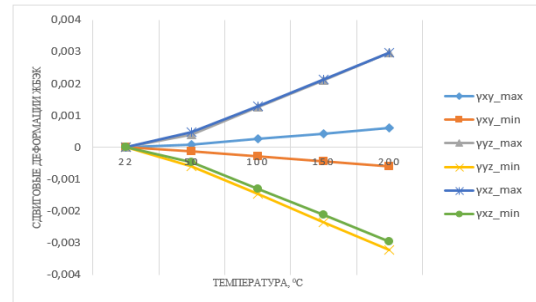
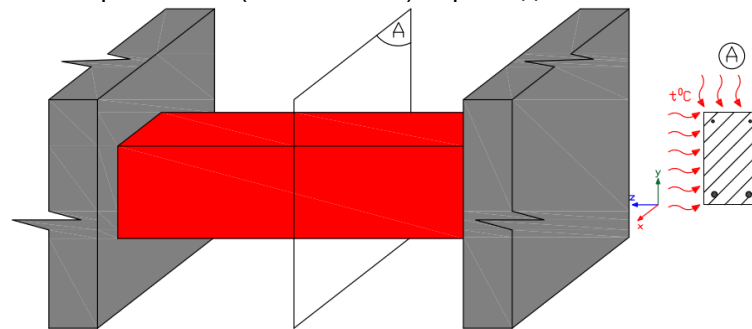


График 1.16 Сдвиговые деформации ЖБЭК (наруженный)

Вариант 2

ЖБЭК при двухстороннем нагреве и $t=\infty$ (бесконечное) - время действия повышенной температуры t^0C .



*) Поверхность ЖБЭК действующих температур обозначена красным.

Рис. 1.13 Двухсторонний нагрев ЖБЭК, $t=50, 100, 150, 200^0C$

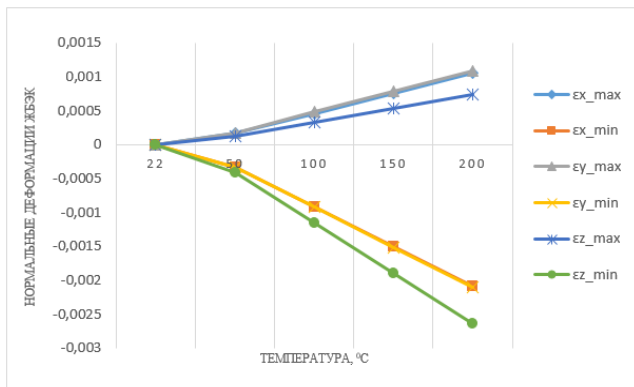


График 1.17 Нормальные деформации ЖБЭК (ненаруженный)

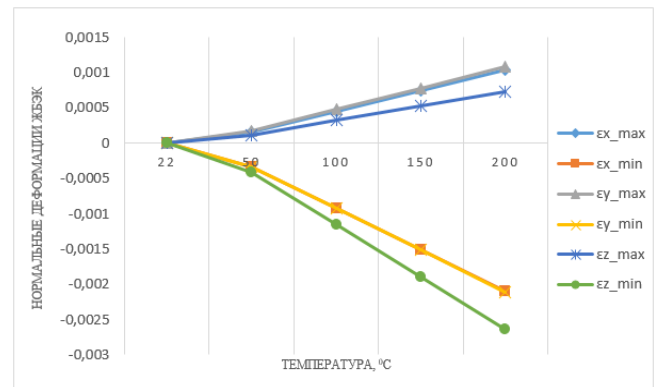


График 1.19 Нормальные деформации ЖБЭК (наруженный)

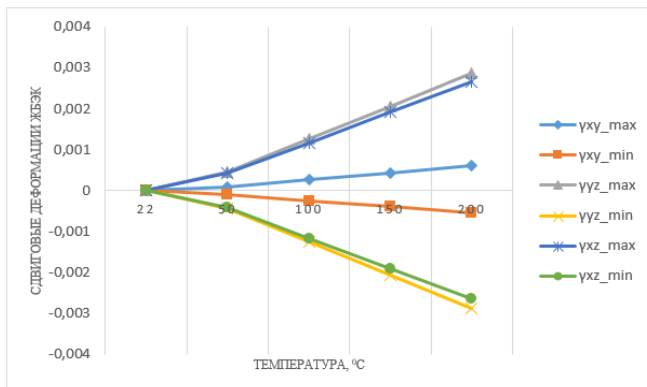


График 1.18 Сдвиговые деформации ЖБЭК (ненаруженный)

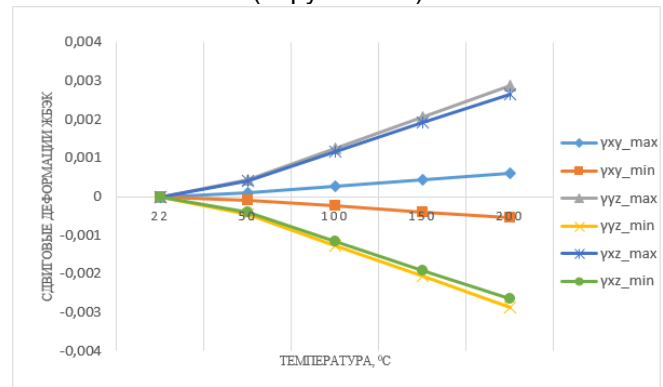


График 1.20 Сдвиговые деформации ЖБЭК (наруженный)

Вариант 3

ЖБЭК при двухстороннем нагреве и $t = \infty$ (бесконечное) - время действия повышенной температуры $t^0\text{C}$.

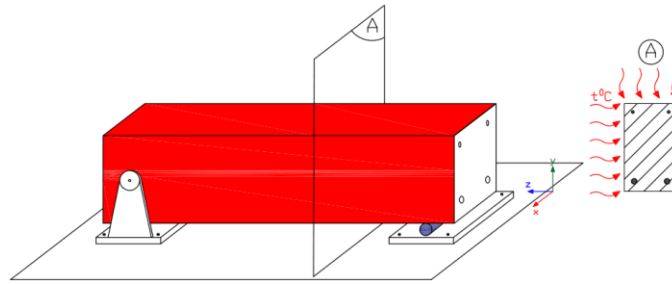


Рис.1.14 Двухсторонний нагрев ЖБЭК, $t=50,100,150,200^0\text{C}$

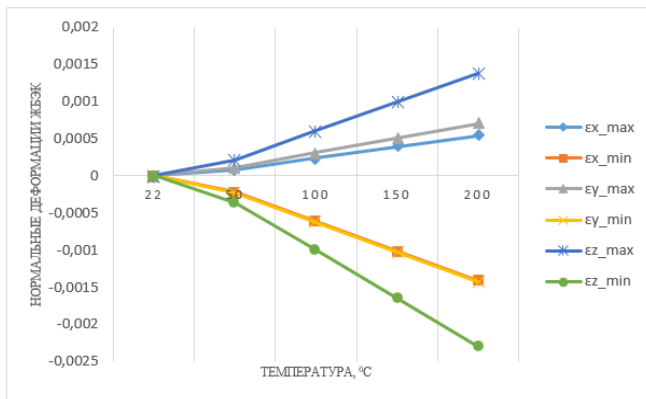


График 1.21 Нормальные деформации ЖБЭК (ненаруженный)

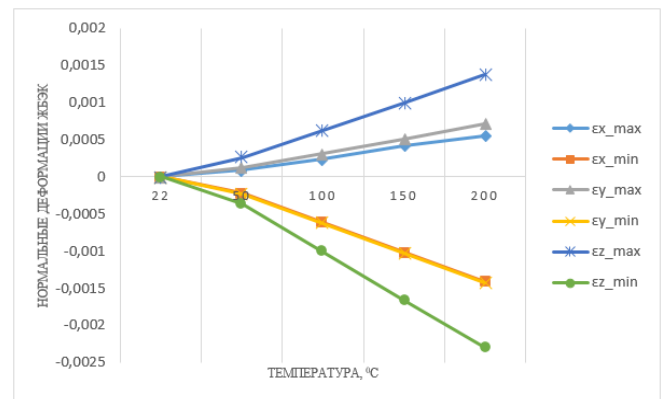


График 1.23 Нормальные деформации ЖБЭК (наруженный)

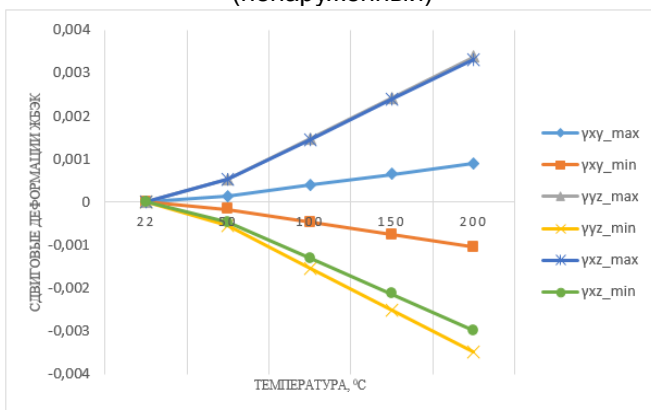


График 1.22 Сдвиговые деформации ЖБЭК (ненаруженный)

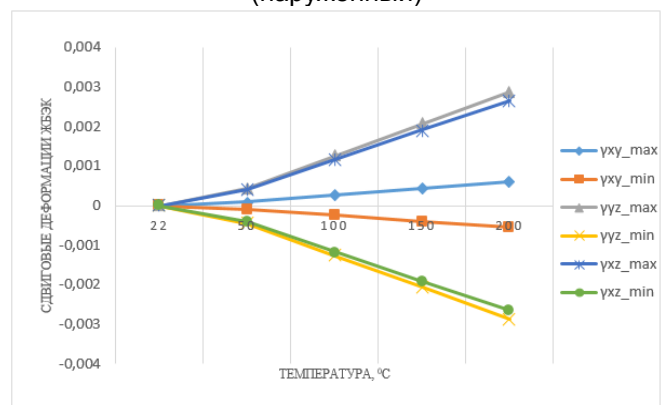
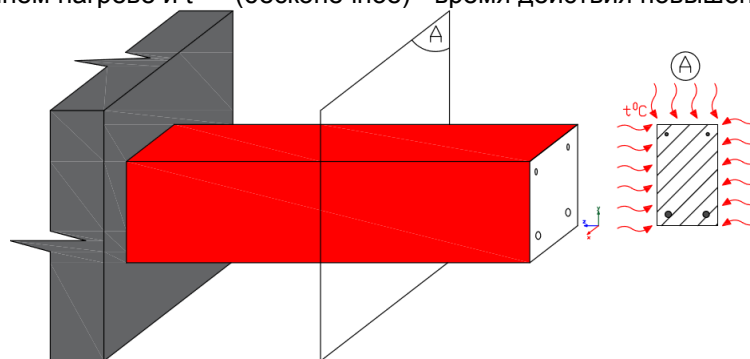


График 1.24 Сдвиговые деформации ЖБЭК (наруженный)

3.3 Трехсторонний нагрев

Вариант 1

ЖБЭК при трехстороннем нагреве и $t = \infty$ (бесконечное) - время действия повышенной температуры $t^0\text{C}$.



*) Поверхность ЖБЭК действующих температур обозначена красным.

Рис.1.15Трехсторонний нагрев ЖБЭК, $t=50,100,150,200^{\circ}\text{C}$

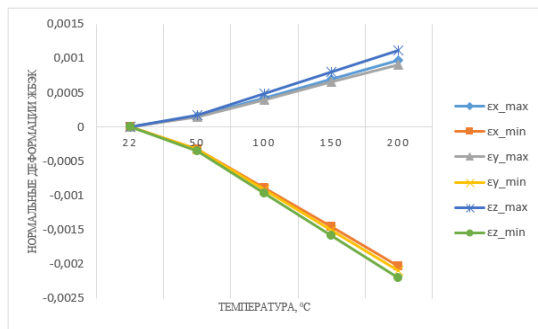


График 1.25 Нормальные деформации ЖБЭК (ненаруженный)

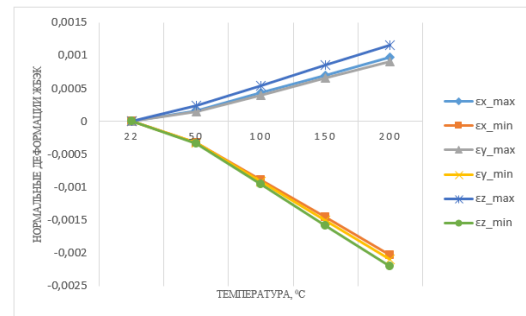


График 1.27 Нормальные деформации ЖБЭК (наруженный)

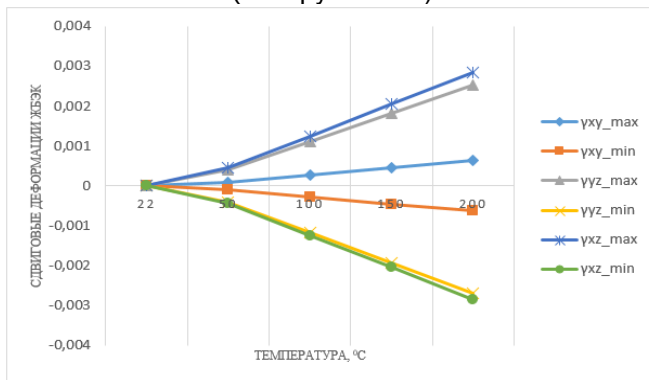
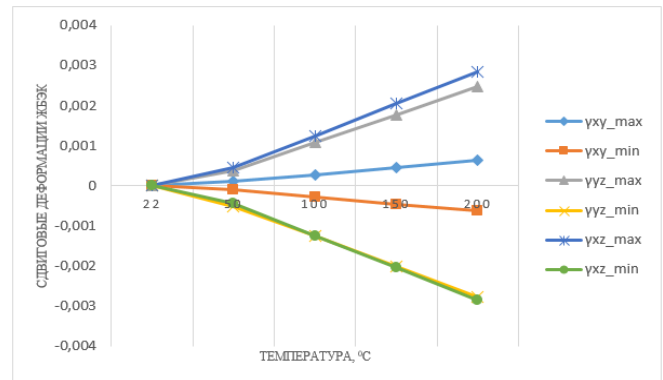


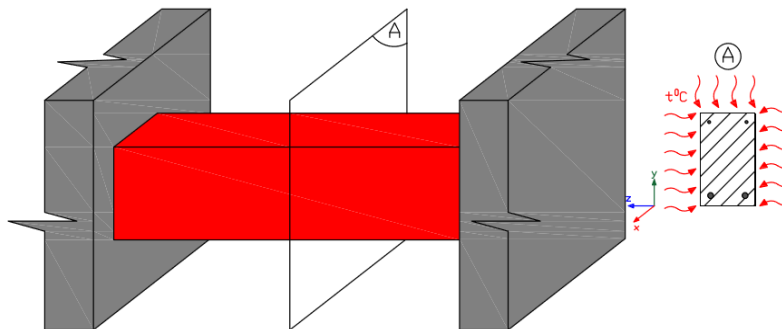
График 1.26 Сдвиговые деформации ЖБЭК (ненаруженный)



1.28 График Сдвиговые деформации ЖБЭК (наруженный)

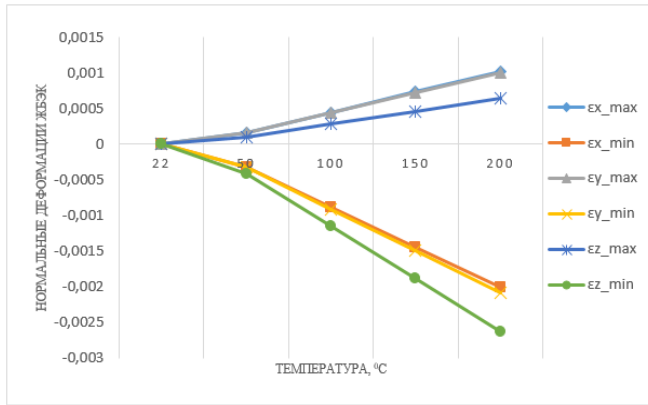
Вариант 2

ЖБЭК при трехстороннем нагреве и $t=\infty$ (бесконечное) - время действия повышенной температуры $t^{\circ}\text{C}$.

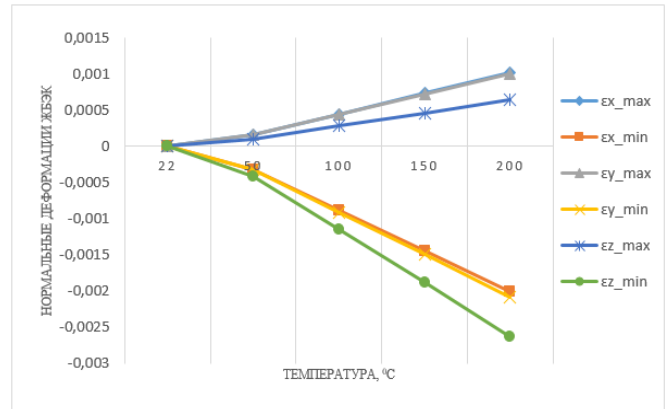


*) Поверхность ЖБЭК действующих температур обозначена красным.

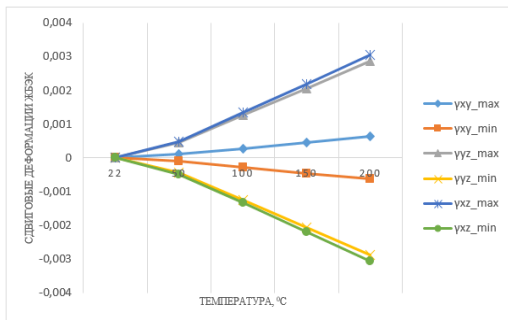
Рис.1.16Трехсторонний нагрев ЖБЭК, $t=50,100,150,200^{\circ}\text{C}$



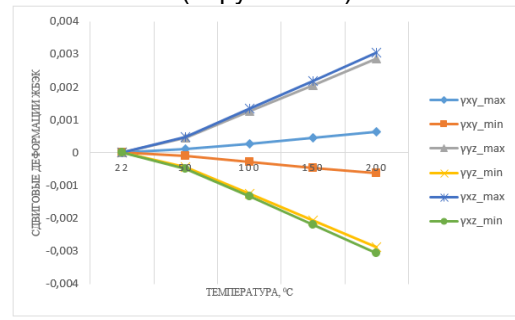
1.29 График Нормальные деформации ЖБЭК (ненаруженный)



1.31 График Нормальные деформации ЖБЭК (наруженный)



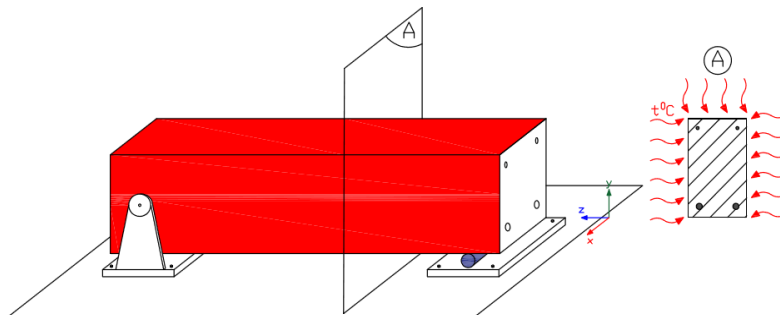
1.30 График Сдвиговые деформации ЖБЭК (ненаруженный)



1.32 График Сдвиговые деформации ЖБЭК (наруженный)

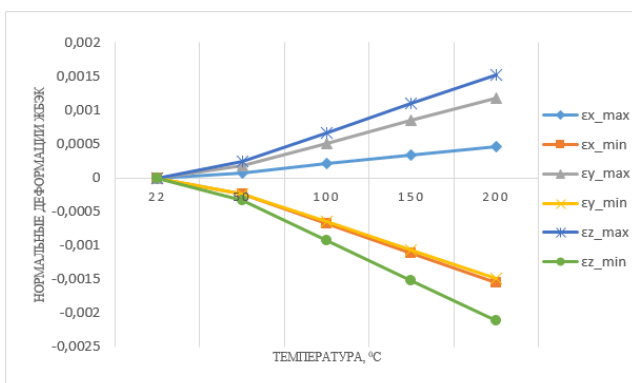
Вариант 3

ЖБЭК при трехстороннем нагреве и $t=\infty$ (бесконечное) - время действия повышенной температуры $t^{\circ}\text{C}$.

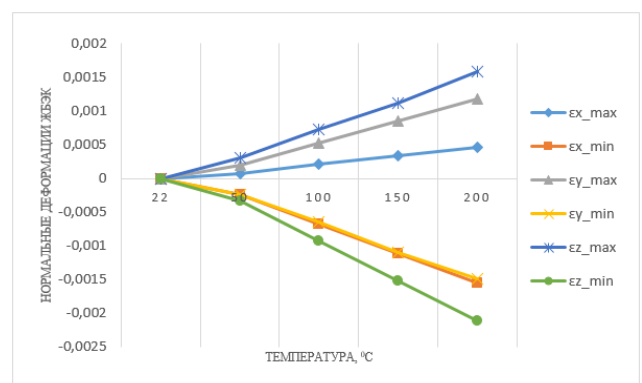


*) Поверхность ЖБЭК действующих температур обозначена красным.

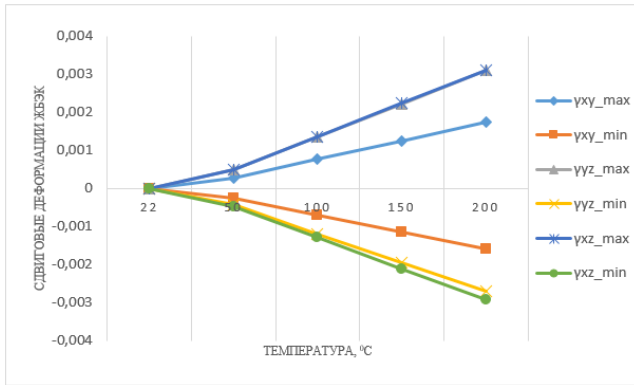
Рис. 1.17 Трехсторонний нагрев ЖБЭК, $t=50, 100, 150, 200^{\circ}\text{C}$



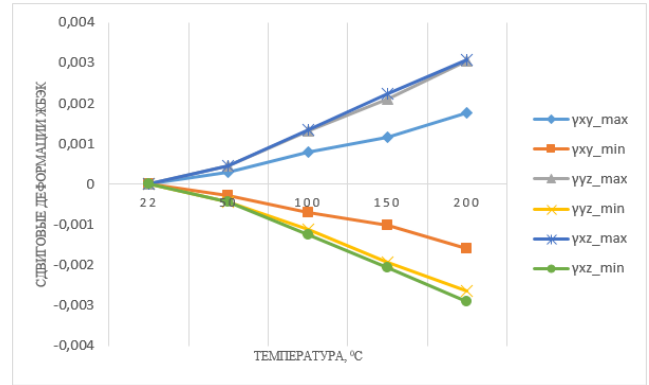
1.33 График Нормальные деформации ЖБЭК (ненаруженный)



1.35 График Нормальные деформации ЖБЭК (наруженный)



1.34 График Сдвиговые деформации ЖБЭК (ненагруженный)



1.36 График Сдвиговые деформации ЖБЭК (нагруженный)

3.4 Четырехсторонний нагрев

Вариант 1

ЖБЭК при четырехстороннем нагреве и $t = \infty$ (бесконечное) - время действия повышенной температуры t^0C .

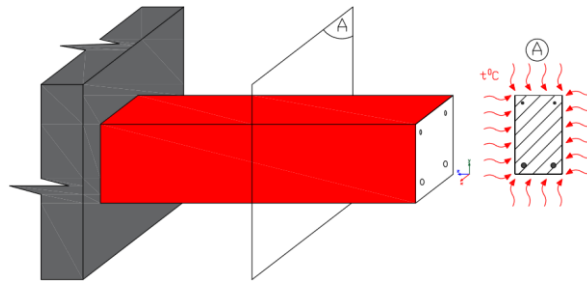
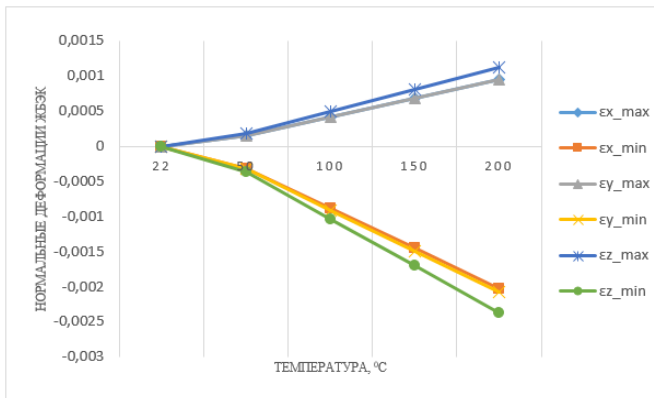
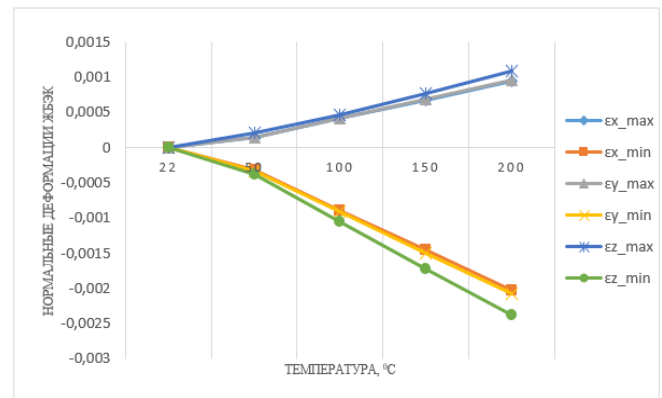


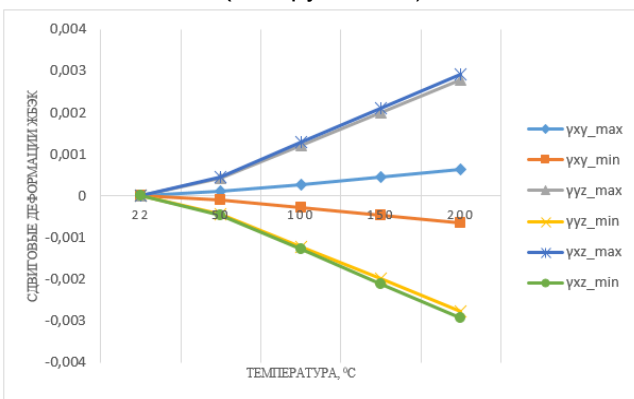
Рис.1.18 Четырехсторонний нагрев ЖБЭК, $t=50,100,150,200^0C$



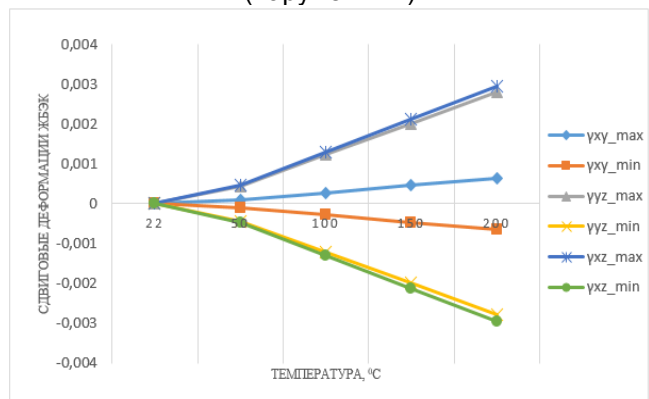
1.37 График Нормальные деформации ЖБЭК (ненагруженный)



1.39 График Нормальные деформации ЖБЭК (нагруженный)



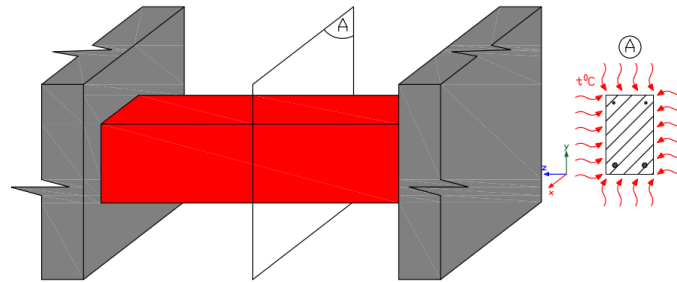
1.38 График Сдвиговые деформации ЖБЭК (ненагруженный)



1.40 График Сдвиговые деформации ЖБЭК (наруженный)

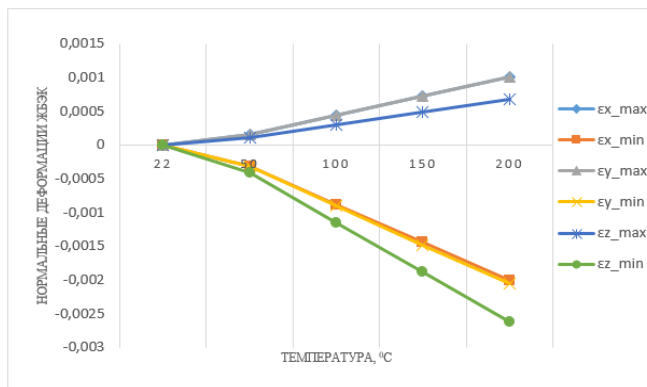
Вариант 2

ЖБЭК при четырехстороннем нагреве и $t=\infty$ (бесконечное) - время действия повышенной температуры $t^0\text{C}$.

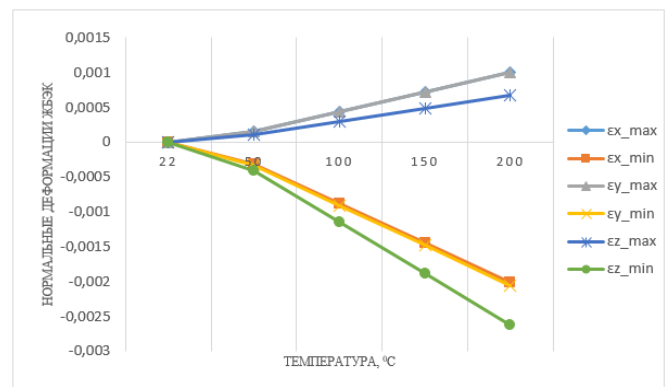


*) Поверхность ЖБЭК действующих температур обозначена красным.

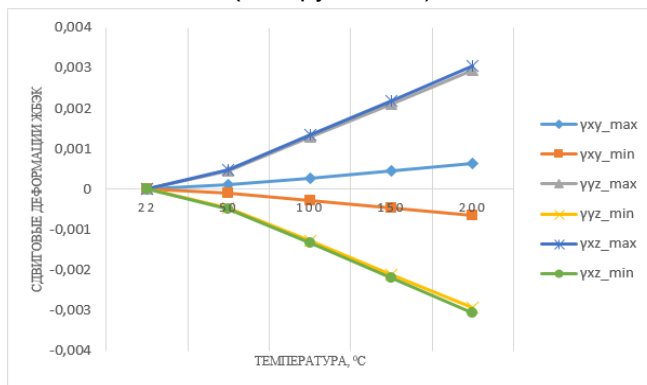
Рис.1.19 Четырехсторонний нагрев ЖБЭК, $t=50, 100, 150, 200^0\text{C}$



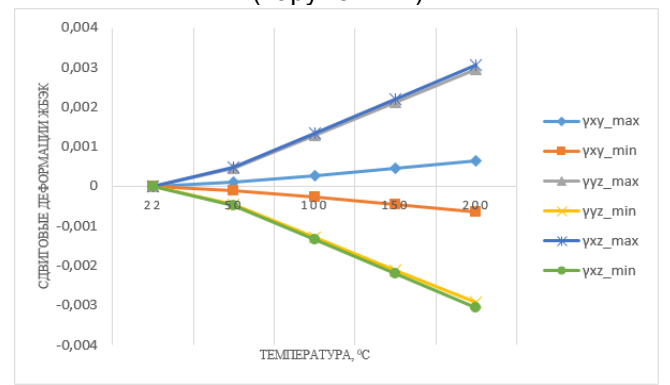
1.41 График Нормальные деформации ЖБЭК (ненаруженный)



1.41 График Нормальные деформации ЖБЭК (наруженный)



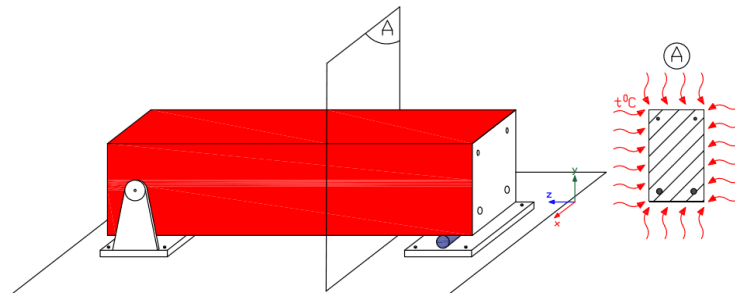
1.42 График Сдвиговые деформации ЖБЭК (ненаруженный)



1.44 График Сдвиговые деформации ЖБЭК (наруженный)

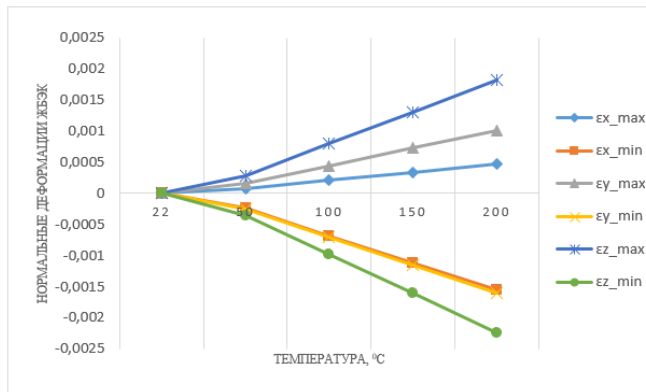
Вариант 3

ЖБЭК при четырехстороннем нагреве и $t=\infty$ (бесконечное) - время действия повышенной температуры $t^0\text{C}$.

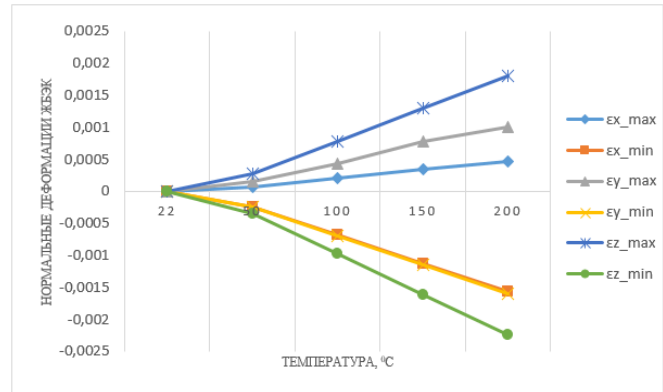


*) Поверхность ЖБЭК действующих температур обозначена красным.

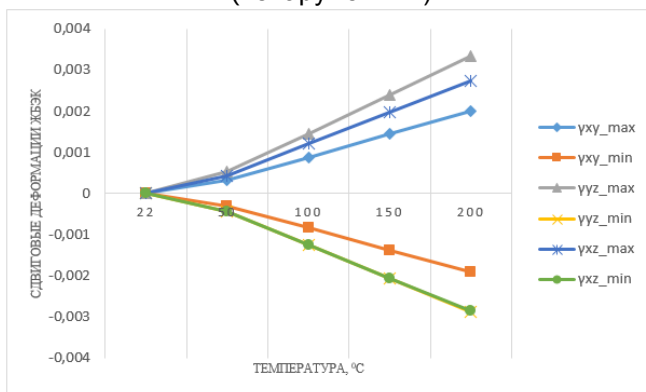
Рис.1.20 Четырехсторонний нагрев ЖБЭК, $t=50, 100, 150, 200^{\circ}\text{C}$



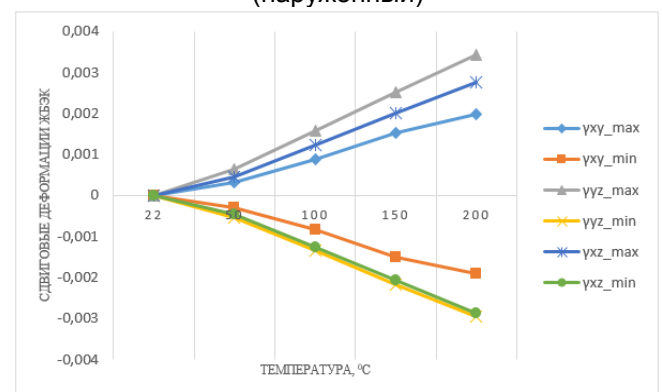
1.45 График Нормальные деформации ЖБЭК (ненагруженный)



1.47 График Нормальные деформации ЖБЭК (нагруженный)



1.46 График Сдвиговые деформации ЖБЭК (ненагруженный)



1.48 График Сдвиговые деформации ЖБЭК (нагруженный)

4. Заключение

По итогам расчета разностороннего нагрева до $+200^{\circ}\text{C}$ для различных вариантов ЖБЭК в бесконечности времени сделан следующий вывод: выполнена оценка деформаций ЖБЭК с тремя вариантами при разностороннем нагреве при одинаковом распределении температуры по высоте сечения ЖБЭК до $+2000^{\circ}\text{C}$. Установлено, что деформации для варианта 1 и 2 наибольшие примерно равны, деформации для варианта 3 наименьшие из трех вариантов. Полученные результаты деформаций ЖБЭК показывают, что значения деформации ЖБЭК разны для варианта 1, 2 и 3 в той же размерах ЖБЭК и температурных условиях.

References

Литература

- [1]. Карпенко Н.И. Теория деформирования железобетона с трещинами. – М.: Стройиздат, 1976. – 208 с.
- [2]. Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В. В. Справочник по сопротивлению материалов. - Киев: Наук. Думка, 1988. – 736 с.
- [3]. Кричевский А.П. Расчет железобетонных инженерных сооружений на температурные воздействия. – М.: Стройиздат, 1984. -148 с.
- [4]. Корсун В.И. Напряженно-деформированное состояние железобетонных конструкций в условиях температурных воздействий. – Макеевка: ДонГАСА, 2003. -153 с.

- [1]. Karpenko N.I. Teoriya deformirovaniya zhelezobetona s treshchinami. – M.: Stroyizdat, 1976. – 208 s.
- [2]. Pisarenko G.S., Yakovlev A.P., Matveyev V. V. Spravochnik po soprotivleniyu materialov. - Kiyev: Nauk. Dumka, 1988. – 736 s.
- [3]. Krichivskiy A.P. Raschet zhelezobetonnykh inzhenernykh sooruzheniy na temperaturnyye vozdeystviya. – M.: Stroyizdat, 1984. -148 s.
- [4]. Korsun V.I. Napryazhenno-deformirovannoye sostoyaniye zhelezobetonnykh konstruksiy v usloviyakh temperaturnykh vozdeystviy. – Makeyevka: DonGASA, 2003. -153 s.

- [5]. Гениев Г.А., Киссюк В.Н., Тюпин Г.А. Теория пластичности бетона и железобетона. М., Стройиздат. 1974.- 315 с.
- [6]. Круглов В.М. Нелинейные соотношения и критерий прочности бетона в трехосном напряженном состоянии // Строительная механика и расчет сооружений. – 1987, №1. – С.40-48.
- [7]. Лейтес Е.С. К построению теории деформирования бетона, учитывающей нисходящую ветвь диаграммы деформаций материала. – В кн.: Новые исследования элементов железобетонных конструкций при различных предельных состояниях. – М.: НИИЖБ, 1982. – С.24-32
- [8]. Яшин А.В. Критерии прочность и деформирования бетона при простом нагружении для различных видов напряженного состояния // расчет и конструирование железобетонных конструкций / Под ред. А.А. Гвоздева, - М.: 1977. – С.48-57.
- [9]. Василиев П.И., Кононов Ю.И. Температурные напряжения в бетонных массивах. Л., 1969, 120с.
- [10]. Лалин В.В., Терпугов В.Н. Конечно-элементные технологии построения расчетных алгоритмов для решения задач механики сплошных сред. Пермь.: Изд-во Пермского гос. университета, 2008.-382 с.
- [11]. Бруйка В.А. Инженерный анализ в ANSYS Workbench: Учеб. Пособ. / В.А. Бруйка, В.Г. Фокин, Е.А. Солдусова, Н.А. Глазунова, И.Е. Адеянов. – Самара: Самар. Гос. Техн. Ун-т, 2010. – 271 с.: ил.
- [5]. Geniyev G.A., Kissyuk V.N., Tyupin G.A. Teoriya plastichnosti betona i zhelezobetona. M., Stroyizdat. 1974.- 315 s.
- [6]. Kruglov V.M. Nelineynyye sootnosheniya i kriteriy prochnosti betona v trekhosnom napryazhennom sostoyanii // Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy. – 1987, №1. – S.40-48.
- [7]. Leytes Ye.S. K postroyeniyu teorii deformirovaniya betona, uchityvayushchey niskhodyashchuyu vetv diagrammy deformatsiy materiala. – V kn.: Novyye issledovaniya elementov zhelezobetonnykh konstruktсий pri razlichnykh predelnykh sostoyaniyakh. – M.: NIIZhB, 1982. – S.24-32
- [8]. Yashin A.V. Kriterii prochnost i deformirovaniya betona pri prostom nagruzhении dlya razlichnykh vidov napryazhennogo sostoyaniya // raschet i konstruirovaniye zhelezobetonnykh konstruktсий / Pod red. A.A. Gvozdeva, - M.: 1977. – S.48-57.
- [9]. Vasiliyev P.I., Kononov Yu.I. Temperaturnyye napryazheniya v betonnykh massivakh. L., 1969, 120s.
- [10]. Lalin V.V., Terpugov V.N. Konechno-elementnyye tekhnologii postroyeniya raschetnykh algoritmov dlya resheniya zadach mekhaniki sploshnykh sred. Perm.: Izd-vo Permskogo gos. universiteta, 2008.-382 s.
- [11]. Bruyaka V.A. Inzhenernyy analiz v ANSYS Workbench: Ucheb. Posob. / V.A. Bruyaka, V.G. Fokin, Ye.A. Soldusova, N.A. Glazunova, I.Ye. Adeyanov. – Samara: Samar. Gos. Tekhn. Un-t, 2010. – 271 s.: il.

Нго, Н., Влияние деформации железобетонных балочных элементов при неравномерном нагреве // Alfabuild. 2019. № 5 (12). С. 67-84.

Ngo, Hieu, Influence of deformation on reinforced concrete beam elements with uneven heating. Alfabuild. 2019. 5 (12). Pp. 67-84. (rus)

Influence of deformation on reinforced concrete beam elements with uneven heating

Hieu Ngo¹

¹ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia

Article info

scientific article

Abstract

Currently, in the chemical industry and the energy sector, many destroyed buildings are exposed to high temperatures. In this article, the influence of deformation of reinforced concrete structural elements (ZhBEK) of the corresponding boundary conditions is analyzed with versatile heating up to +200 degrees Celsius. The finite element method (FEM) was used to simulate the process of deformation of reinforced concrete structural elements in ANSYS Mechanical (Workbench), as well as data on the deformation of reinforced concrete structural elements of structures. One of the most common such complexes today is the ANSYS program, using the finite element method, is a multi-purpose package of design and analysis, recognized throughout the world. ANSYS Mechanical (Workbench) provides ample opportunities for the implementation of project development, analysis and optimization.

Keywords:

Reinforced structural elements (ZhBEK), deformation, versatile heating, finite element method (FEM), ANSYS Mechanical (Workbench)

¹ Corresponding author

1. номер1, lolala@mail.vah (sur1 Name, undergraduate)