УДК 624.012:53.09 DOI: https://doi.org/10.18664/1994-7852.165.2016.87762

ВЕРИФИКАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ФРАГМЕНТОВ КОКСОВЫХ БАТАРЕЙ ЧИСЛЕННЫМ МОДЕЛИРОВАНИЕМ В НЕЛИНЕЙНОЙ ПОСТАНОВКЕ

Д-р техн. наук С. Л. Фомин, А. М. Кравченко

ВЕРИФІКАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТІВ ФРАГМЕНТІВ КОКСОВИХ БАТАРЕЙ ЧИСЕЛЬНИМ МОДЕЛЮВАННЯМ У НЕЛІНІЙНІЙ ПОСТАНОВЦІ

Д-р техн. наук С. Л. Фомін, О. М. Кравченко

VERIFICATION OF THE RESULTS OF EXPERIMENTS FRAGMENTS COKE BATTERIES NUMERICAL MODELING IN NONLINEAR STATEMENT

Dr. Sciences S. Fomin, A. Kravchenko

Проведена аппроксимация экспериментального температурного поля по всем конечным элементам моделей исследуемых фрагментов коксовых батарей с боковым подводом отопительного газа, по результатам которой реализовано температурное воздействие при исследовании напряжённо-деформированного состояния численными методами в нелинейной постановке. Выявленные разрушения показали соответствие полученным в опытах, что доказывает достоверность разработанной методики.

Ключевые слова: *фундаменты коксовых батарей, аппроксимация температурного поля по замеренным температурам в отдельных точках, моделирование напряжённо-деформированного состояния методом конечных элементов в нелинейной постановке.*

Проведена апроксимація експериментального температурного поля по всіх скінчених елементах моделей досліджуваних фрагментів коксових батарей з бічним підведенням опалювального газу, за результатами якої реалізовано температурний вплив при дослідженні напружено-деформованого стану чисельними методами в нелінійній постановці. Виявлені руйнування показали відповідність отриманим в дослідах, що доводить достовірність розробленої методики.

Ключові слова: *фундаменти коксових батарей, апроксимація температурного поля по заміряних температурах в окремих точках, моделювання напружено-деформованого стану методом скінчених елементів у нелінійній постановці.*

Approximation of experimental temperature field was done for all finite element models of the studied fragments of coke oven batteries with gun flue inlet of heating gas. Its results were used to reveal temperature impact in the study of stress-strain state by numerical methods in nonlinear statement. The found destructions showed correspondence to the destructions received during experiments which proves the accuracy of the developed method.

Keywords*: foundations of coke oven batteries, approximation of temperature field measured at discrete points, modeling of stress-strain state of the finite elements method in nonlinear statement.*

Введение. Актуальность научных разработок по проблеме обусловлена необходимостью совершенствования конструктивных решений фундаментов коксовых батарей с боковым подводом отопительного газа. В работе [1] приведены

результаты экспериментального исследования фрагментов монолитных железобетонных фундаментов коксовых батарей с боковым подводом отопительного газа при статической нагрузке и нагревании.

Исследования выполнены на новой установке для проведения огневых испытаний [2], опытные образцы, моделирующие фрагменты фундамента, выполнены в натуральную величину. Получены новые сведения о работе железобетонных конструкций, что позволило усовершенствовать характер армирования, доказать целесообразность конструктивных решений фундаментов из жаростойкого бетона без футеровки боровов.

В данном исследовании проведена верификация результатов этих исследований на основе детальной обработки полученных температурных полей и применения нелинейных численных моделей при анализе напряжённо-деформированного состояния фрагментов.

Анализ последних исследований и публикаций. Анализ переноса тепла в фундаментах коксовых батарей проведён в работе [3], нелинейная модель ввода-вывода для коксовой батареи рассмотрена в работе [4], расчёт потерь тепла фундаментной плиты при неравномерных температурных профилях внутренней температуры – в работе [5], расчёту потери тепла в плите с неоднородными внутри профилями температурами воздуха посвящена работа [6], прочности жаростойкого бетона на сжатие при нагреве, кубиковой и призменной прочности бетона при повышенных температурах – работы [7, 8].

В актуализированных нормативных документах [9-14] приведены требования, принципы, правила расчёта и проектирования бетонных и железобетонных конструкций, предназначенных для работы в условиях повышенных и высоких температур. В работе [14] рассмотрены температурные поля в конструкциях фундаментов коксовых батарей, в работе [15] – проблемы, опыт, возможные решения и рекомендации, компьютерные модели железобетонных конструкций, в работе [16] – экспериментальная модель фрагмента коксовых батарей.

Определение цели и задачи исследования. Целью экспериментальных исследований ставилась верификация результатов экспериментальных исследований на основе детальной обработки полученных температурных полей и применения нелинейных численных моделей при анализе напряжённо-деформированного состояния фрагментов.

Задачами являлись:

– разработка методики аппроксимации распределения температуры в экспериментальной модели фрагмента фундамента коксовых батарей;

– определение двумерных температурных полей в элементах образцов;

– выявление влияния температурных моментов на перераспределение усилий;

– определение характера образования разрушения в процессе нагружения и нагревания;

– определение особенностей напряжённо-деформированного состояния при наличии и отсутствии футеровки боровов.

Основная часть исследования. Для решения поставленных задач построена расчётная геометрическая модель из прямоугольных элементов, которая будет использована для аппроксимации температурного поля и нелинейного численного анализа напряжённо-деформированного состояния фрагментов коксовых батарей при статической нагрузке и температурном воздействии.

Задача в первой части состоит в восстановлении с определённой мерой близости значений температуры во всех элементах модели по экспериментальным значениям в отдельных сечениях, которая называется аппроксимацией (сглаживанием). Расчётная модель представлена на рис. 1.

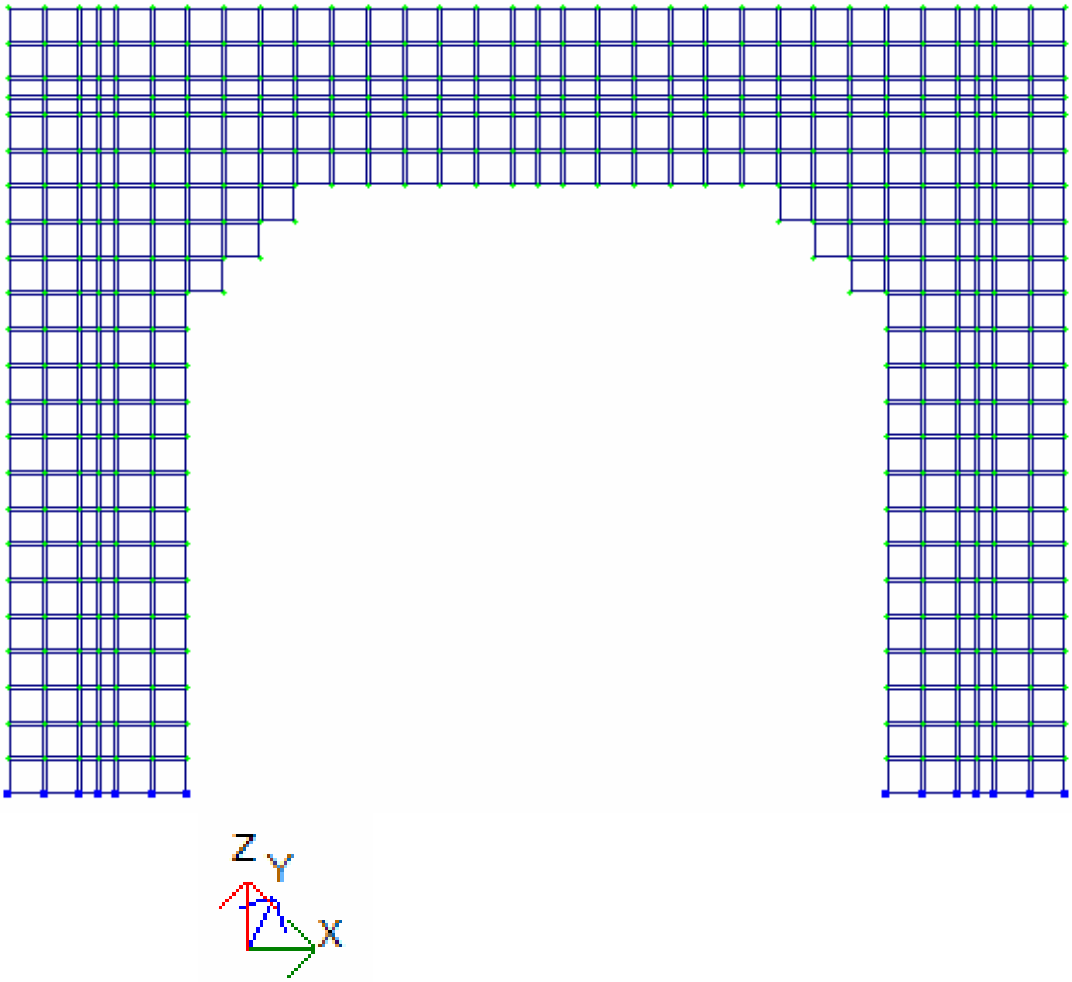


Рис. 1. Расчётная геометрическая модель фрагмента коксовой батареи

Высота модели составляет 2200 мм, ширина – 1940 мм, ширина стоек – 500 мм, высота ригеля – 500 мм. Размеры квадратных элементов 10х10 см и 5х5 см, прямоугольных 5х10 см.

Термопары в опытных образцах заложены в двух сечениях стоек на расстоянии от низа 700 мм и 1430 мм, в двух сечениях по диагонали верхних углов и в сечении посредине ригеля (рис. 2).

Проведение обработки результатов испытания образцов-фрагментов фундаментов коксовых батарей. Несмотря на большое количество термопар (45 шт.), для корректного анализа этого недостаточно, поскольку при расчёте напряжений и деформаций необходимо задать температуру в каждый элемент. Аппроксимация проводилась следующим образом. В первом сечении левой стойки, расположенной на расстоянии 70 мм, методом линии тренда подбиралась зависимость температуры от X, с началом координат на левой грани колонны, используя табличный процессор Excel, которая с максимальной степенью близости приближается к опытной зависимости и оценивается коэффициентом детерминации R^2.

Значения опытных температур в первой стойке приведены в табл. 1.

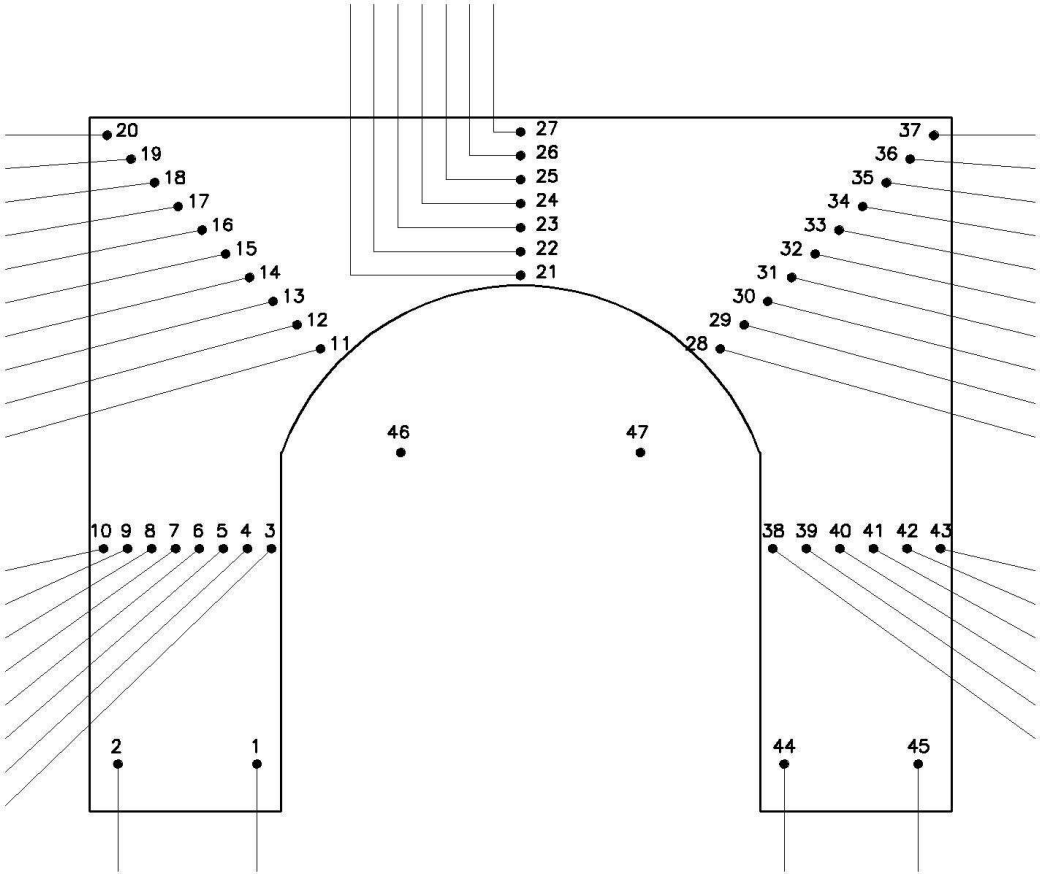


Рис. 2. Расположение термопар на фрагменте фундамента

Для первого сечения (№1-2 термопар) получим формулу

$$T=49{,}16X + 23{,}15\ ^{o}C, \quad R^2 = 1. \qquad (1)$$

По этой формуле определяем средние температуры в шести столбцах первого сечения:

X, м	0.05	0.15	0.225	0.25	0.35	0.45
T , ºC	25.608	30.524	34.211	35.44	40.356	45.272
Z, м	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7

Для второго сечения при Z=0,75 м (№3-10) формула имеет вид

$$T=2005\cdot X^2 - 387\cdot X + 99{,}79\ ^{o}C, \qquad R^2 = 0.994. \qquad (2)$$

По этой формуле определяем средние температуры в шести столбцах второго сечения:

X, м	0.05	0.15	0.225	0.25	0.35	0.45
T, °C	85.4525	86.8525	114.2181	128.3525	209.9525	331.6525
Z, м	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75

Таблица 1

Значения опытных температур в первой стойке

Z, м	0.07	0.07	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
X, м	0.430	0.070	0.040	0.100	0.150	0.200	0.265	0.325	0.380	0.440
T , ºC	44.3	26.6	80.4	86	105.3	105.3	127.2	182.6	243.8	320.5
№№ Тп	1	2	10	9	8	7	6	5	4	3
Z, м	2.095	2.024	1.953	1.883	1.812	1.741	1.677	1.589	1.540	1.497
X, м	0.155	0.200	0.297	0.367	0.438	0.509	0.573	0.661	0.710	0.753
T, ºC	58.8	71.7	129.7	96.3	104.5	112.4	113.7	176.8	220	221.9
№№ Тп	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11

В диагональном сечении температуры зависят от X и Z. По оси X имеем формулу

$$T=446{,}8\cdot X^2 -109{,}9\cdot X + 67{,}53\ ºC, \qquad R^2 =0{,}98. \tag{3}$$

По этой формуле определяем средние температуры в ячейках шести столбцов диагонального сечения:

X м	0.05	0.15	0.225	0.25	0.35	0.45
T, °C	61	61.098	65.42175	67.98	83.798	108.552
Z, м	2.1	2	1.95	1.9	1.8	1.7

Таким образом, для каждого столбца первой стойки получены средние температуры в трёх точках по высоте. По этим значениям тем же методом находим эмпирические формулы распределения температуры вдоль оси Z.

Для первого столбца температура распределяется по следующей зависимости:

$$T=30{,}41\cdot Z^3 - 136{,}8\cdot Z^2 +170{,}8\cdot Z + 23{,}9\ ºC, \qquad R^2 =1, \tag{4}$$

по которой вычисляем все значения температуры по вертикали.

Для второго столбца

$$T=31{,}69\cdot Z^3 - 140{,}3\cdot Z^2 +169{,}9\cdot Z + 28{,}81\ ºC, \qquad R^2 =1. \tag{5}$$

Для третьего столбца

$$T=55{,}91\cdot Z^3 - 233{,}4\cdot Z^2 +260\cdot Z + 31{,}62\ ºC, \qquad R^2 =1. \tag{6}$$

Для четвёртого столбца

$$T=79{,}1\cdot Z^3 - 309{,}8\cdot Z^2 +321{,}9Z + 32{,}21\ ºC, \qquad R^2 =1. \tag{7}$$

Для пятого столбца

$$T=126{,}2\cdot Z^3 - 526\cdot Z^2 +526\cdot Z + 34{,}8\ ºC, \qquad R^2 =1. \tag{8}$$

Для шестого столбца

$$T=239{,}2\cdot Z^{3}-964{,}3\cdot Z^{2}+991{,}2\cdot Z+35{,}48\ ^{o}C,\qquad R^{2}=1. \qquad (9)$$

Аналогичные процедуры применяются для аппроксимации температур в ригеле.

На рис. 3 показано температурное поле во фрагменте № 1 коксовой батареи с боковым подводом газа и футеровкой шамотной кладкой.

61	61	69	83	76	96	98	100	102	104	105	106	107	108	108	108
61	60	66	74	70	80	91	101	109	117	124	129	133	136	138	139
62	61	65	69.61	70.4	74	94	112	128	141	153	163	170	176	179	181
62	62	66	68	72	75	100	121	141	157	172	184	193	200	204	205
63	62	66	68	75	78	107	133	156	176	193	207	218	226	231	233
65	65	69	69	84	90	129	163	194	220	243	261	276	287	293	296
68	68	74	73	95	109	210	200	220							
72	71	79	78	109	133	275	280								
75	75	85	85	125	160	302									
78	77	91	93	141	189										
82	82	98	101	158	220										
84	85	104	109	173	250										
87	88	110	117	188	277										
88	90	114	123	200	302										
89	91	117	129	209	321										
89	91	119	132	215	334										
87	90	118	133	216	339										
84	87	116	131	212	335										
79	83	110	126	202	320										
72	76	102	116	185	293										
64	68	90	103	160	256										
53	57	75	85	128	197										
40	44	55	62	86	125										

футеровка
бетон

Рис. 3. Температурное поле во фрагменте № 1 коксовой батареи с боковым подводом газа и футеровкой шамотной кладкой

На рис. 4 представлен общий вид расчетной модели фрагмента №1 железобетонного фундамента с футеровкой из шамотной кладки.

По разработанной методике проведено численное исследование напряженно-деформированного состояния фрагмента фундамента коксовых батарей с

боковым подводом отопительная газа в нелинейной постановке на ПК Лира с целью верификации результатов экспериментов.

Расчетная модель плиты собрана из физически нелинейных четырехугольных конечных элементов плоской задачи КЭ230 (балка-стенка).

Стойки представлены 6 столбцами: трех бетонных (первый шириной 10 см, второй 10 см, третий 5 см) и трех из футеровки шамотной кладкой (четвёртый 5 см, пятый и шестой по 10 см). По такой же схеме построен ригель (рис. 4).

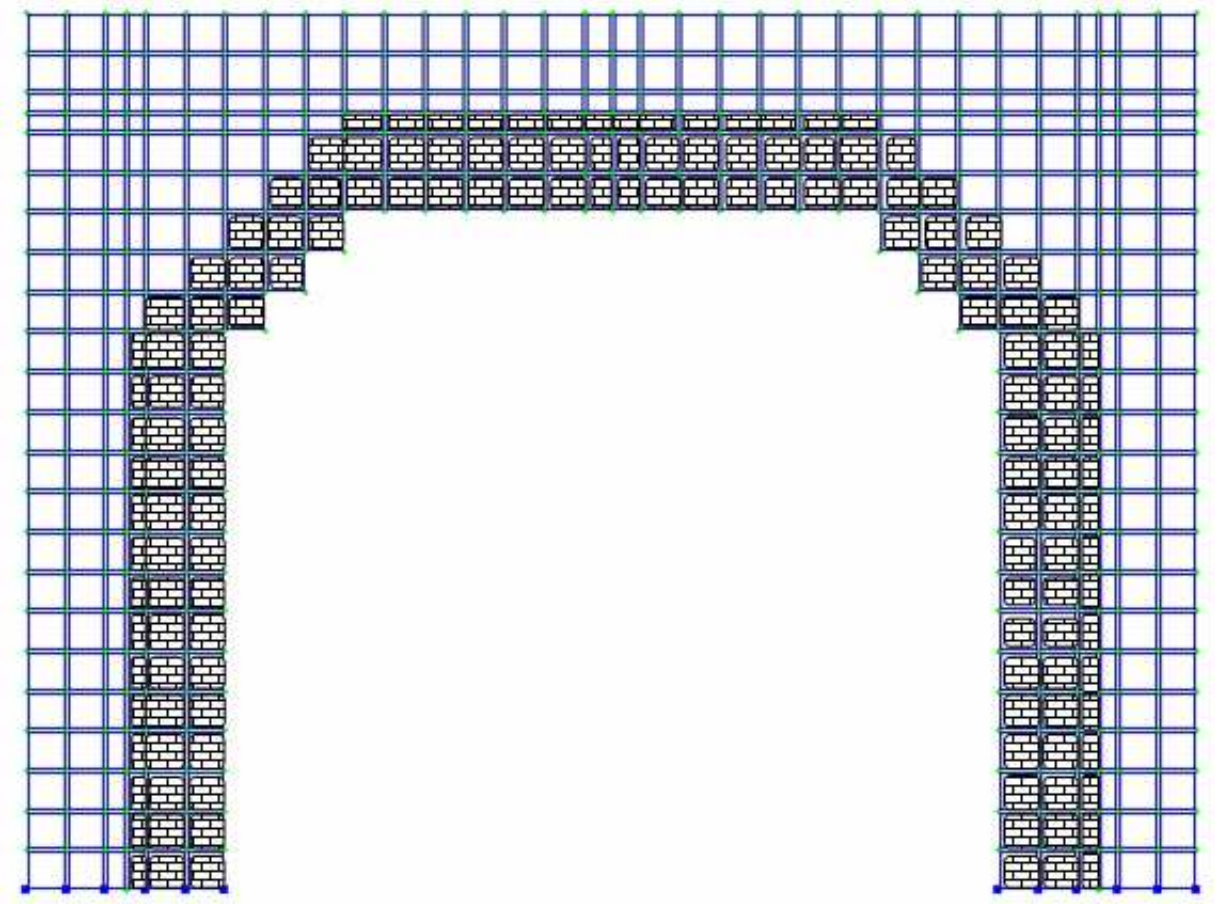
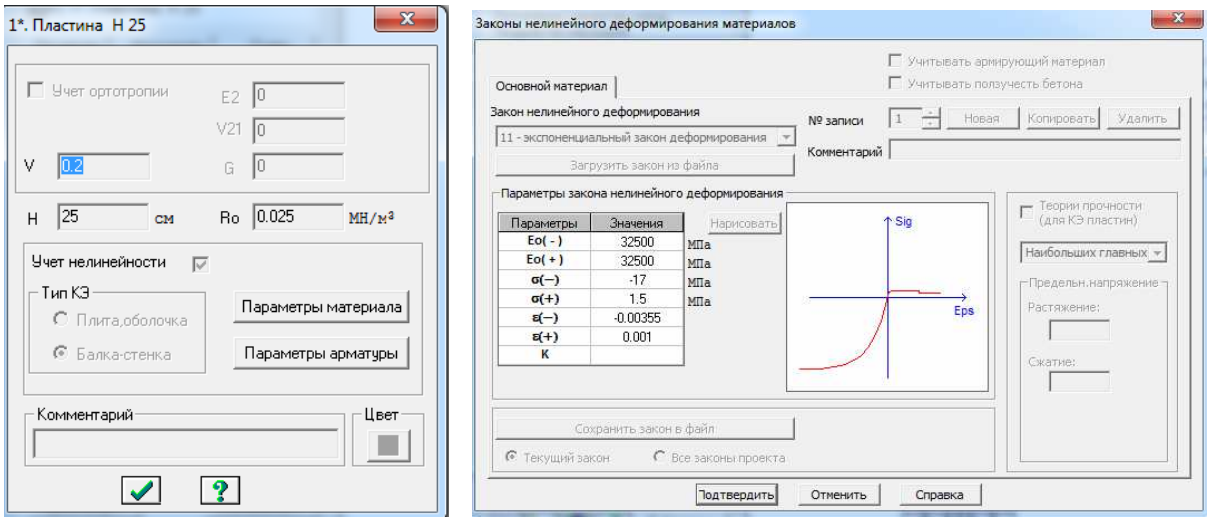
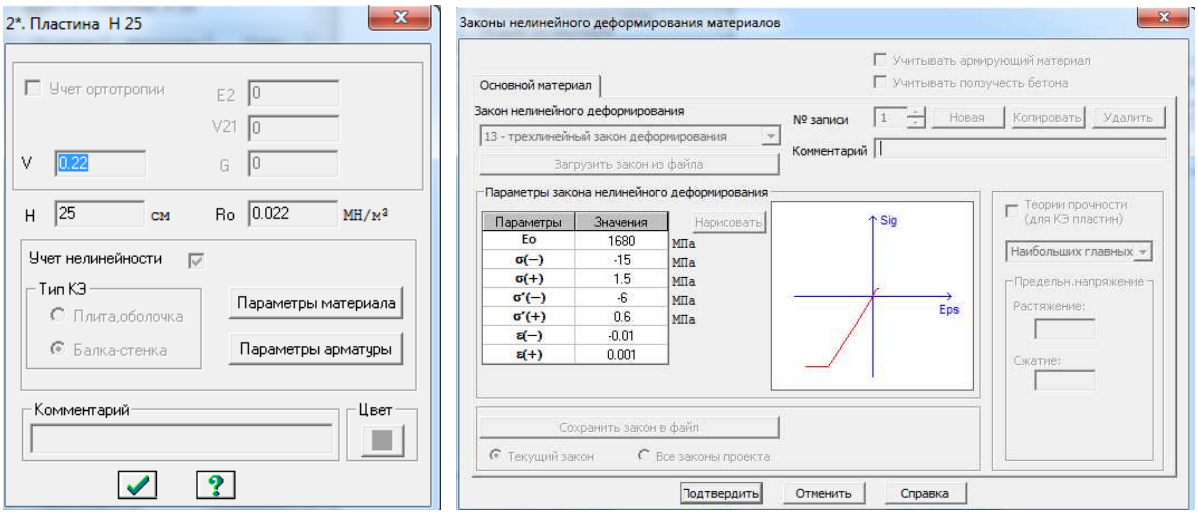


Рис. 4. Расчетная модель фрагмента №1 железобетонного фундамента с футеровкой из шамотной кладки

Характеристики нелинейности для КЭ230 основного материала - бетона класса С25/30 по прочности на сжатие, класса 7 (700 °С) по предельно допустимой температуре применения следующие. Закон нелинейного деформирования принят по экспоненциальной зависимости 11 с учётом влияния температуры нагрева на прочностные и деформационные характеристики путём введения понижающих коэффициентов условия работы на модуль упругости, прочность и предельные относительные деформации бетона. Закон нелинейного деформирования футеровки принят по 13 зависимости – трёхлинейный закон (рис. 5).



1



2

Рис. 5. Законы нелинейного деформирования материалов:
1 – бетонная зона; 2 – зона футеровки

Задание связей. Во всех нижних узлах стоек наложен запрет перемещений по Z и X.

Задание жесткостных параметров элементов. Для бетона – **1*. Пластина H25:** E = 32500 МПа, v = 0,2, R_0 = 0,025 Мн/м^3, H=25 см. Параметры материалов: E_0(-) = 32500 МПа, E_0(+) = 32500 МПа, σ(-) = -17 МПа, σ(+) = 1,5 МПа, ε(-) = -0,00355, ε(+)=0,001.

Для футеровки – **2*. Пластина H25:** E=1680 МПа, v=0.22, R0=0,022 Мн/м^3, H=25 см. Параметры материалов: E_0(-) = 1680 МПа, E_0(+) = 1680 МПа, σ(-)=-15 МПа, σ(+)=1,5 МПа, σ'(-)=-6 МПа, σ'(+)=0,6 МПа, ε(-)=-0,01, ε(+)=0,001.

Задание нагрузок. Загружение 1. Собственный вес (в зоне бетона R_0=0,025 Мн/м^3, в зоне футеровки - R_0 = 0,022 Мн/м^3). Для этого отмечаем элементы зоны бетона, устанавливаем как текущий тип **1*. Пластина H25** и задаём собственный вес, добавляя его только на выделенные элементы. Аналогично задаём собственный вес в зоне футеровки с установкой как текущий тип **2*. Пластина H25**.

Загружение 2. Равномерно распределённая нагрузка от давления кладки КБ **q**=19,7 т/м^2, нагрузка на 1 пог. м при ширине фрагмента 0,25 м составляет **q** х0,25=4,925 т/м или 0,04925 т/см. Для реализации этой загрузки в эксперименте на верхней поверхности фрагмента расставлялись 3 домкрата с распределительными траверсами с расстоянием 60 см, между траверсами расстояние 28,5 см, и прикладывалась нагрузка в 6 точках путём закачивания масла в домкраты с помощью насосной станции. Общие усилия определялись по манометру насосной станции, максимальное значение которой P=0,04925х294=14,4795 т (т. е. для каждой точки F=2,41 т).

При расчёте второго загружения удобнее использовать нагрузку на 1 пог. м 4,925 т/м или 0,04925 т/см (табл. 2).

Загружение 3. Температурное воздействие. Температуры задавались в каждый конечный элемент на основании результатов аппроксимации опытных данных (рис. 3).

Таблица 2

Значения сил в узлах верхней поверхности фрагмента № 1

Узел	24	48	72	96	120	144	168	
Р, МН	0.0024625	0.004925	0.00369375	0.0024625	0.00369375	0.004925	0.004925	
Узел	178	187	195	202	208	215	223	230
Р, МН	0.004925	0.004925	0.004925	0.004925	0.004925	0.004925	0.004925	0.004925
Узел	237	244	251					
Р, МН	0.00418625	0.0034475	0.00418625					
Узел	258	265	272	279	286	294	303	313
Р, МН	0.004925	0.004925	0.004925	0.004925	0.004925	0.004925	0.004925	0.004925
Узел	337	361	385	409	433	457	481	
Р, МН	0.004925	0.004925	0.00369375	0.0024625	0.00369375	0.004925	0.0024625	

Моделирование нелинейных загружений произведено при формировании последовательности локального загружения 1 (собственный вес), локального загружения 2 (нагрузки от веса кладки) и локального загружения 3 (температурных воздействий) выбором простого шагового метода расчёта при числе максимальных итераций 300 и 10 равномерных шагов расчёта, учёта предыстории загружений и вывода на печать перемещений и усилий после каждого шага.

Результаты расчёта представлены серией скриншотов (картин разрушения) и изополей перемещений и напряжений.

При локальном загружении 1 собственным весом разрушений не произошло. При втором локальном загружении от собственного веса и веса кладки на 6 шаге возникли трещины в бетоне конечных элементов посредине ригеля на стыке с футеровкой (рис. 6).

На десятом шаге второго локального загружения трещинообразование распространилось ещё на 6 элементов и периферийные элементы, на стойках также получили трещины (рис. 7), что и подтверждено экспериментом.

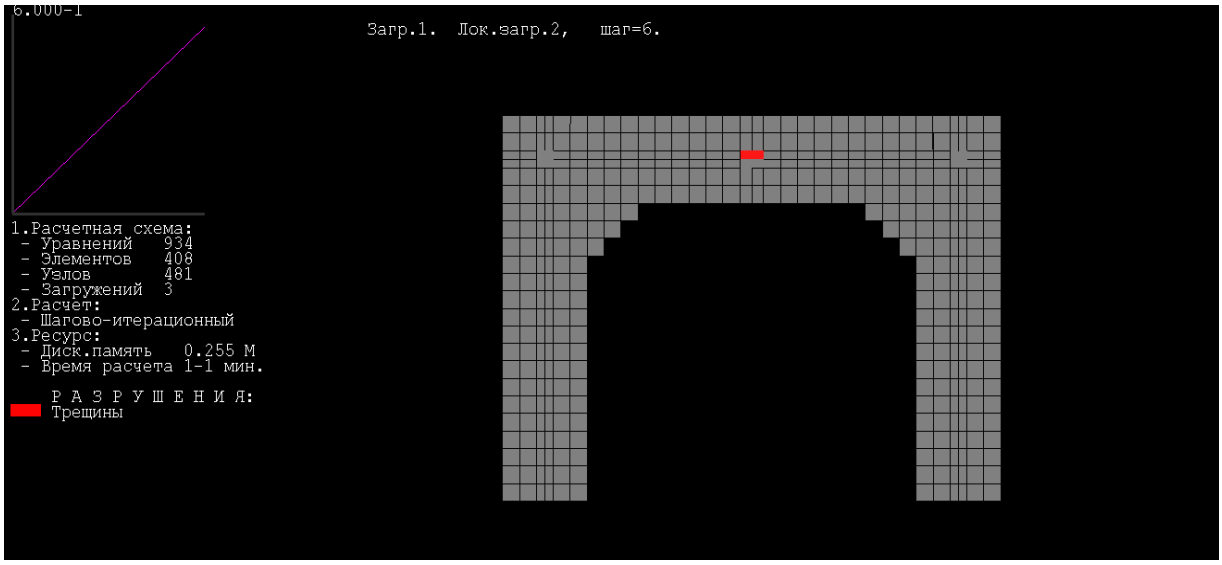


Рис. 6. Картина разрушения на 6 шаге локального загружения 2
от собственного веса и веса кладки

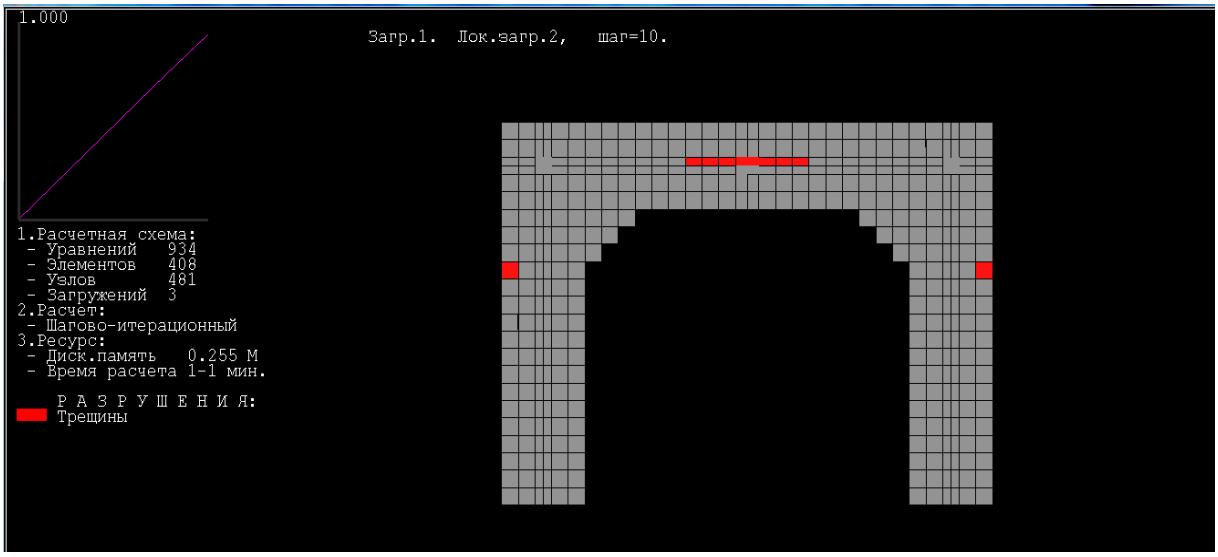


Рис. 7. Картина разрушения на 10 шаге локального загружения 2
от собственного веса и от веса кладки

При третьем локальном загружении (воздействие температуры) картина разрушений сменилась на противоположную. Разрушения в виде растяжений и трещин появились в верхней части ригеля, в наружных зонах бетона стоек и в местах стыка с основанием (рис. 8).

Линейный расчёт показал, что при приложении загрузки происходит прогиб ригеля (рис. 9) и возникают большие растягивающие напряжения в средней зоне ригеля, которые привели к трещинообразованию (рис. 10).

При нагреве происходит выгиб ригеля (рис. 11) и возникают большие напряжения в верхних волокнах бетона ригеля (рис. 12).

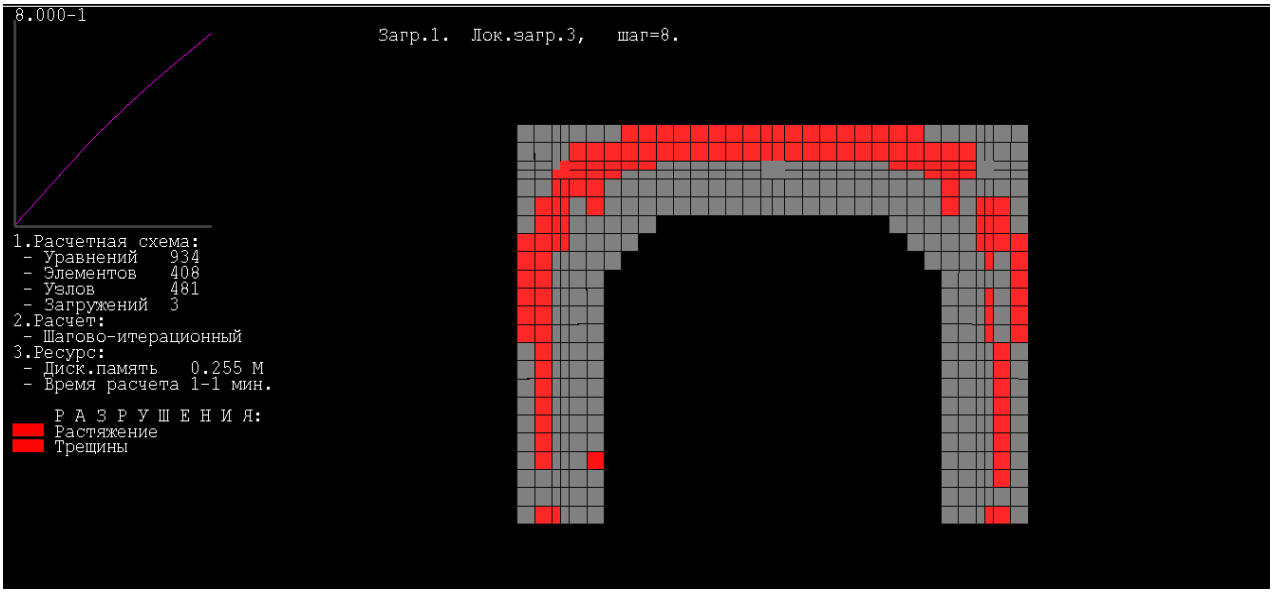


Рис. 8. Картина разрушения на 10 шаге локального загружения 3
от нагрузки и температурного воздействия

Линейный расчёт фрагмента №1 с футеровкой из шамотной кладки

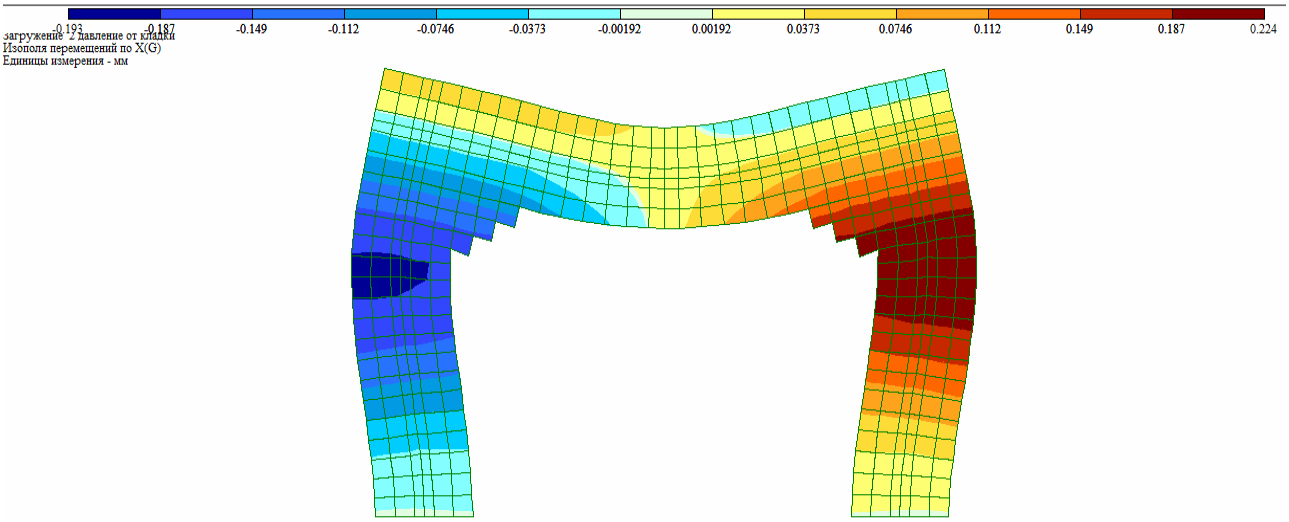


Рис. 9. Изополя перемещений по Z, мм, при приложении нагрузки

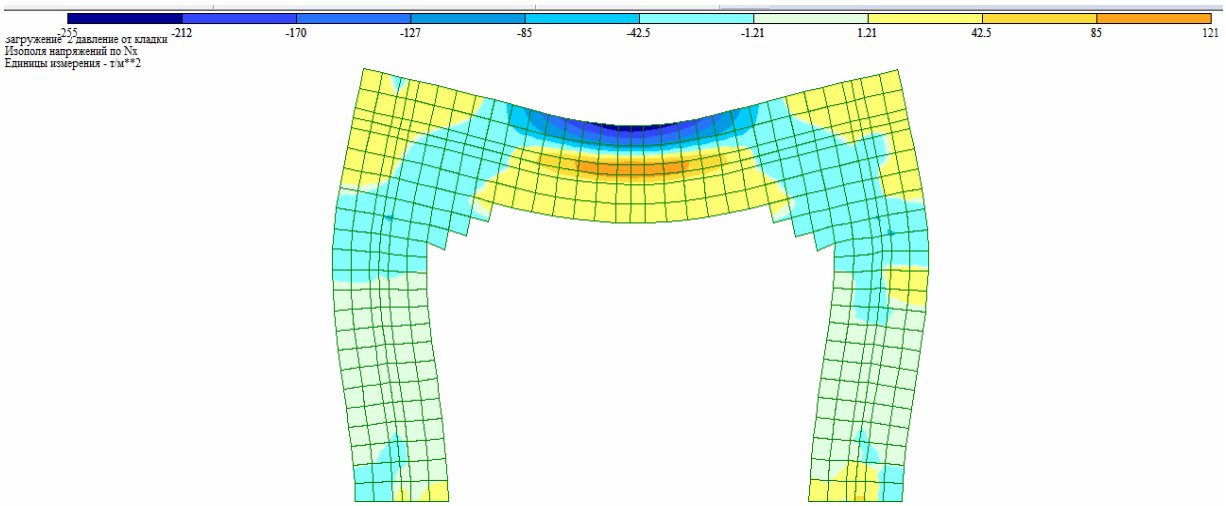


Рис. 10. Изополя напряжений по NX, т/м2, при приложении нагрузки

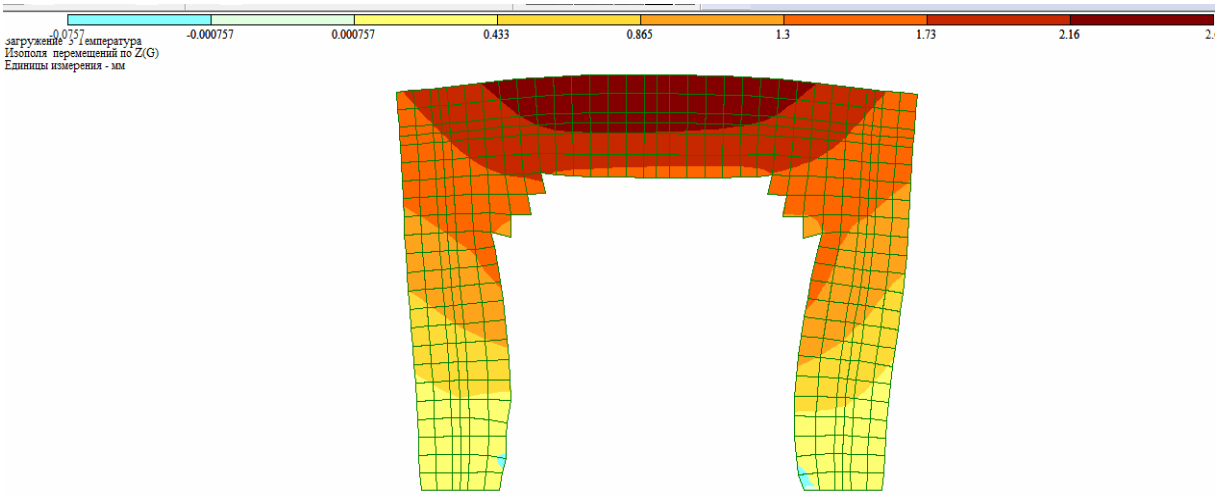


Рис. 11. Изополя перемещений по Z, мм, при температурном воздействии

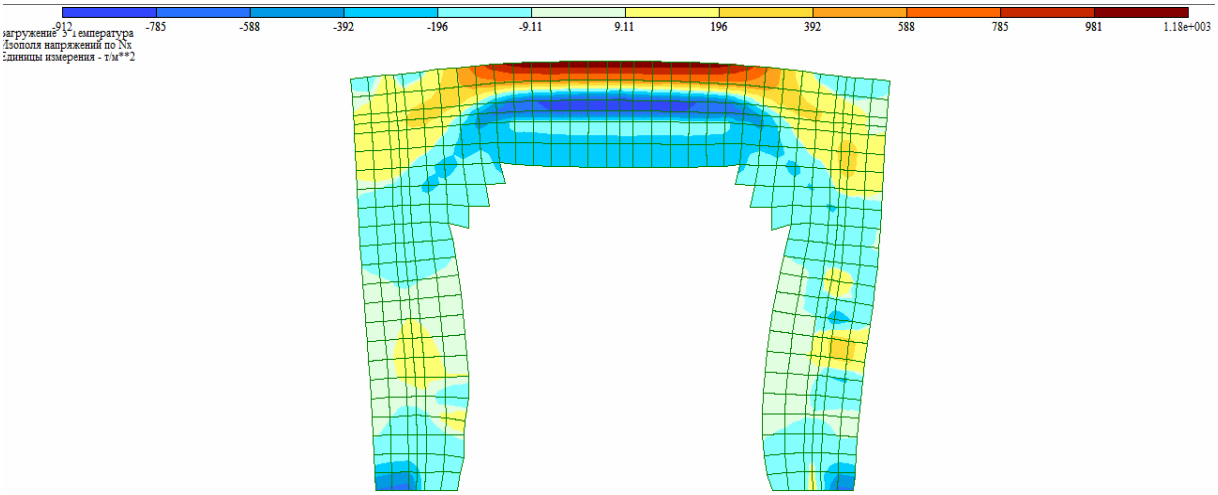


Рис. 12. Изополя напряжений по NX, т/м2, при температурном воздействии

Железобетонный фрагмент фундамента №2 без футеровки борова

Нелинейный расчёт

Проведены нелинейные и линейные и расчёты фрагмента фундамента без футеровки. Расчёты выполнены по той же разработанной методике, но при замене футеровочной зоны на бетонную путём смены жёсткости **-2*. Пластина H25** на жёсткость **1*. Пластина H25** и замены закона нелинейного деформирования материалов для футеровки законом для бетона.

При втором локальном загружении от собственного веса и веса кладки на 10 шаге возникли трещины в нижней зоне посредине ригеля (рис. 13). При этом максимальная общая нагрузка равнялась P=14,1 т.

На рис. 14 показана картина разрушения на 1 шаге локального загружения 3 от нагрузки и температурного воздействия. Одной десятой части воздействия температур оказалось достаточным для возникновения трех видов разрушения. По мере увеличения интенсивности воздействия увеличивалось количество разрушенных элементов (рис. 15, 16).

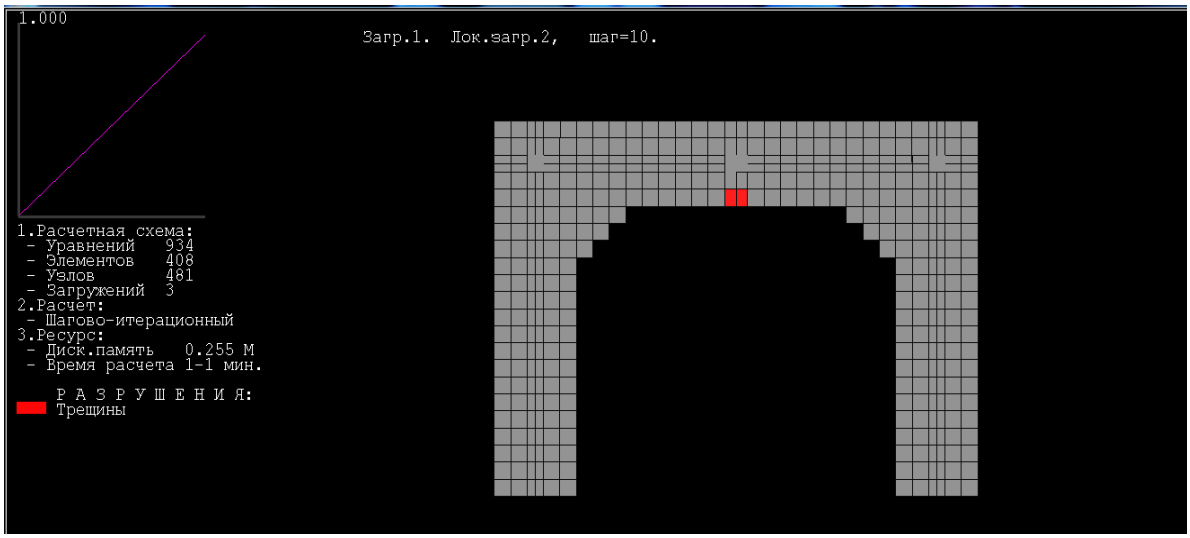


Рис. 13. Картина разрушения на 10 шаге локального загружения 2 от собственного веса и веса кладки

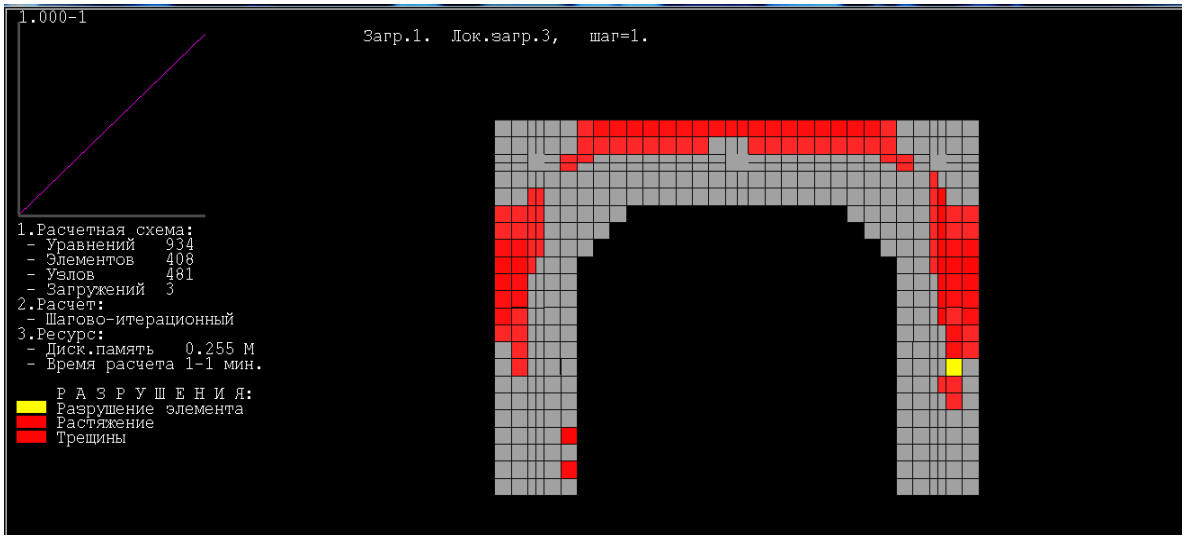


Рис. 14. Картина разрушения на 1 шаге локального загружения 3 от нагрузки и температурного воздействия

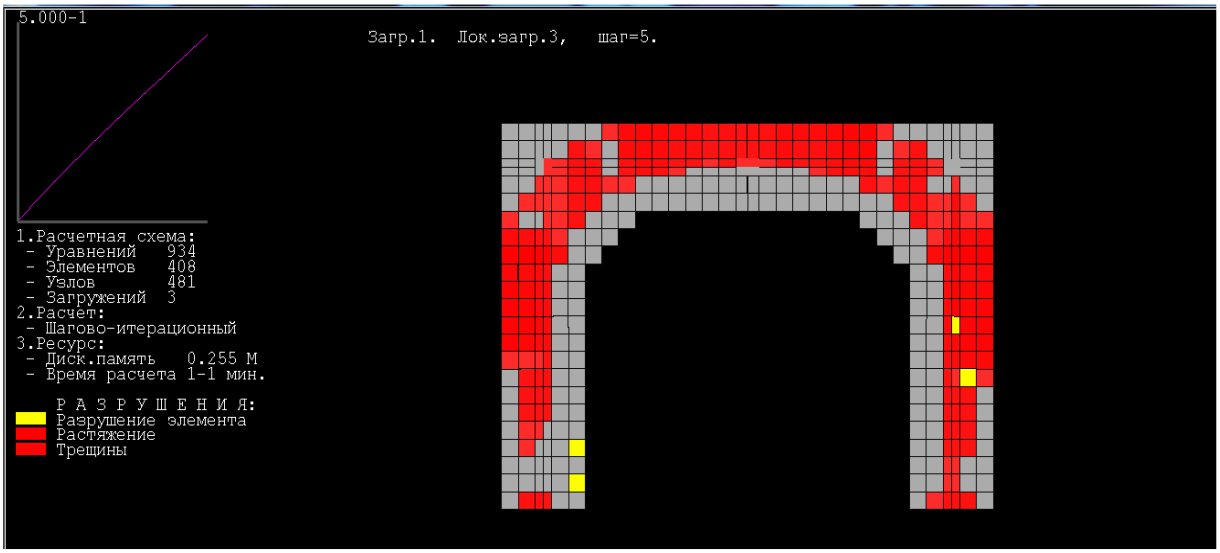


Рис. 15. Картина разрушения на 5 шаге локального загружения 3
от нагрузки и температурного воздействия

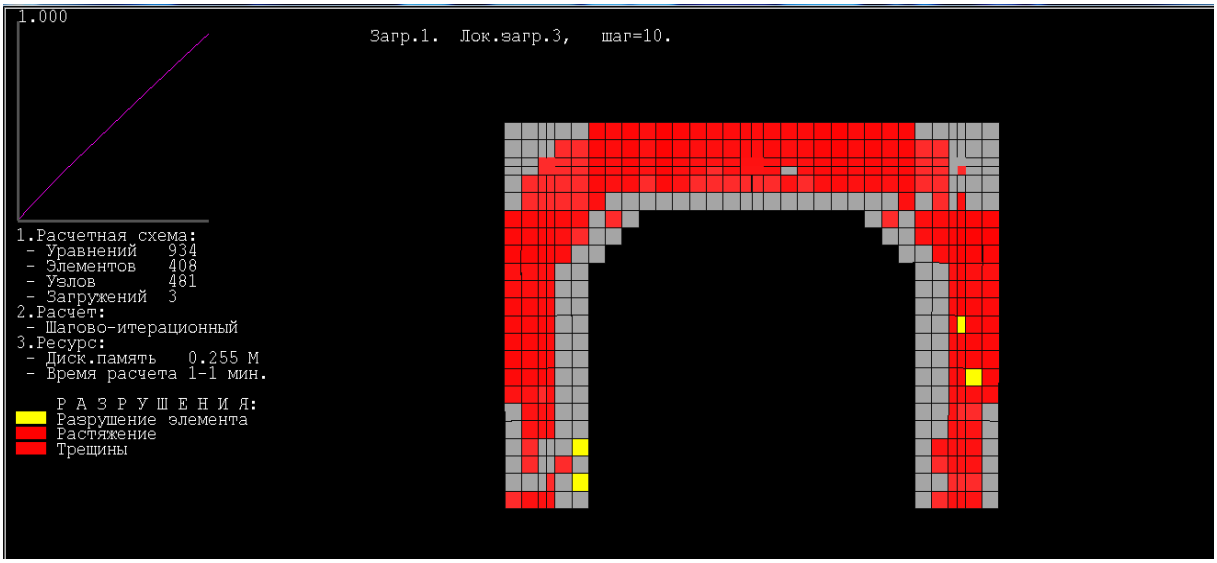


Рис. 16. Картина разрушения на 10 шаге локального загружения 3
от нагрузки и температурного воздействия

Линейный расчёт фрагмента №2 (без футеровки)

Расчёт показал, что при приложении нагрузки растягивающие напряжения возникли в нижней зоне ригеля, которые и привели к образованию трещин (рис. 17). При нагреве происходит выгиб ригеля и возникают большие напряжения в верхних волокнах бетона ригеля (рис. 18).

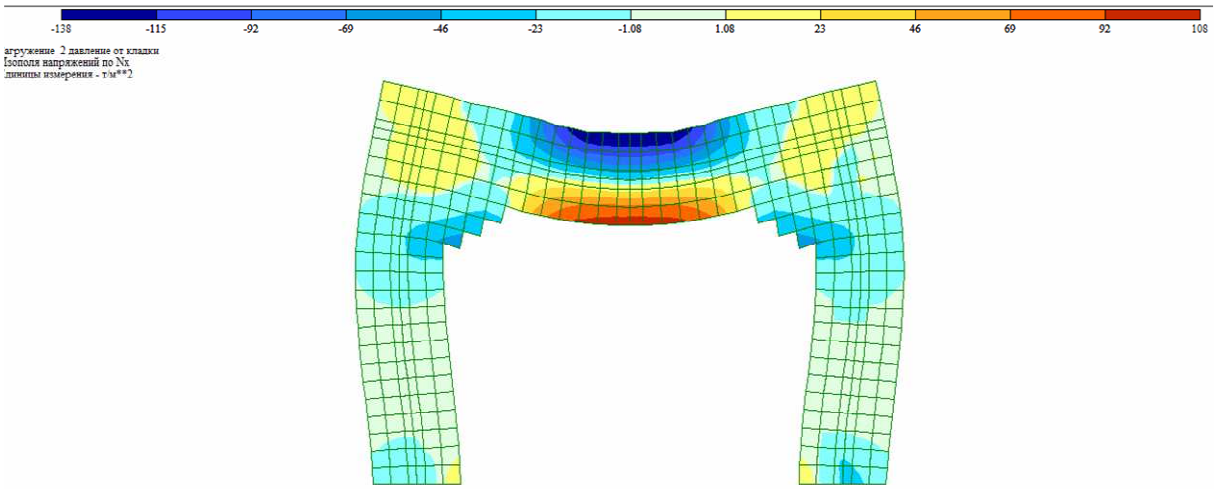


Рис. 17. Изополя напряжений по N_X, т/м^2, при приложении нагрузки

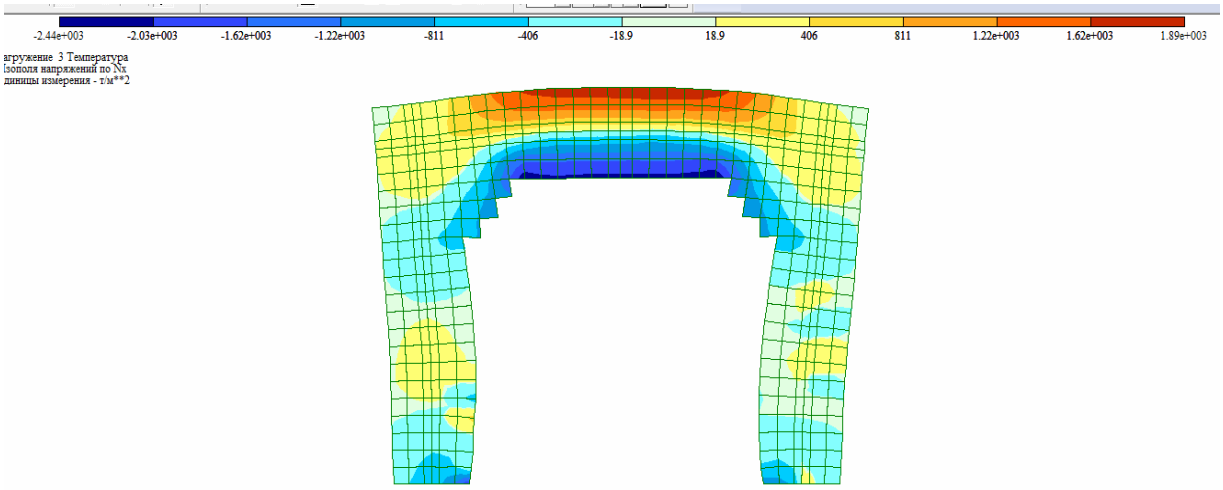


Рис. 18. Изополя напряжений по N_X, т/м^2, при температурном воздействии

Выводы из исследования и перспективы, дальнейшее развитие в данном направлении

1. Проведённые исследования подтвердили результаты натурных экспериментов, изложенных в работе [1]. Применение компьютерных технологий численного моделирования с использованием нелинейной теории железобетона позволило выявить особенности протекания процессов формирования напряжённо-деформированного состояния в конструкциях фундаментов коксовых батарей на всем протяжении приложения нагрузок и температурного воздействия. Подтверждена достоверность гипотезы о целесообразности конструктивных решений фундаментов из жаростойкого бетона без футеровки боровов.

2. Дальнейшее развитие предложенного подхода может быть использовано при расчётах различных железобетонных конструкций, работающих в условиях воздействия повышенных и высоких температур.

Список использованных источников

1. Фомин, С. Л. Экспериментальное исследование фрагментов монолитных железобетонных фундаментов коксовых батарей: [Текст] / С.Л. Фомин, А. М. Кравченко // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – Вип. 162. – С. 82-94.

2. Установка для випробування залізобетонних виробів на прикладі фрагментів фундаментів коксових батарей [Текст]: пат. на корисну модель № 108834 Україна, МПК G01N 3/30 (2006.01) / Кравченко О. М., UA, Фомін С. Л., UA. власник: державне підприємство «Державний інститут по проектуванню підприємств коксохімічної промисловості» - № u 201603449; заявл. 04.04.2016; опубл. 25.07.2016, Бюл. №14. – 4 с.

3. 98/03564 Technical trends in the redesign and construction of coke oven batteries and units for dry quenching of coke. Fuel and Energy Abstracts [Text]. – September 1998. – Vol. 39, Issue 5. – P. 336.

4. Input-output nonlinear model of a coke oven battery.Control Applications of Nonlinear Programming and Optimization [Text] / C. Bénard, S. Berekdar, C. Duhamel, M.-M. Rosset. – 1989, 1990. – P. 95-99.

5. CFD analysis of the thermal behaviour of heating walls in a coke oven battery. International Journal of Thermal Sciences [Text] / J. Smolka, L. Slupik, A. Fic, A. J. Nowak, L. Kosyrczyk. – June 2015. – Vol. 104. – P. 186-193.

6. Slab heat loss calculation with non-uniform inside air temperature profiles. Energy Conversion and Management [Text] / S. Choi, M. Krarti. – September 1996. – Vol. 37, Is. 9. – P. 1435-1444.

7. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення [Текст]. – К.: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2011. – 71 с.

8. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування [Текст]. – К.: Мінрегіонбуд України. – 2011. – 118 с.

9. ДСТУ-Н-П Б В.2.6-XX:20XX. Проектування залізобетонних конструкцій. Частина 1-2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість [Електронний ресурс]: EN 1992-1-2:2004, MOD. – Режим доступу: Minregion.info.

10. СНиП 2.03.04-84. Бетонные и железобетонные конструкции, предназначенные для работы в условиях повышенных и высоких температур [Текст]. – М., 1985. – 54 с.

11. СП 52-110-2009. Бетонные и железобетонные конструкции, подвергающиеся технологическим повышенным и высоким температурам [Текст] / ФГУП «НИЦ «Строительство». – М., 2009. – 166 с.

12. 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. – М., 2011. –115 с.

13. СТО 36554501-006-2006. Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций [Текст]. – М.: ФГУП «НИЦ «Строительство», 2006. – 81 с.

14. Фомин, С. Л. Температурные поля в конструкциях фундаментов коксовых батарей [Текст] / С. Л. Фомин, А. М. Кравченко. // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА: ХОТВ АБУ, 2013. – Вип. 73. – С. 436-444.

15. Городецкий, А. С. Расчет и проектирование конструкций высотных зданий из монолитного железобетона (проблемы, опыт, возможные решения и рекомендации,

компьютерные модели, информационные технологии) [Текст] / А. С. Городецкий, Л. Г. Батрак, Л. В. Лазнюк, С. В. Юсипенко. – К.: Изд-во «Факт», 2004. – 106 с.

16. Кравченко, А. М. Экспериментальная модель фрагмента коксовых батарей [Текст] // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА: ХОТВ АБУ, 2016. – Вип. 1(83). – С. 134-138.

Фомін Станіслав Леонідович, д-р техн. наук, професор кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, Харківський національний університет будівництва та архітектури. Тел.: (057) 700-01-63. E-mail: Sfomin@ukr.net.
Кравченко Олександр Михайлович здобувач наукового ступеня канд. техн. наук кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, Харківський національний університет будівництва та архітектури, заступник директора ДП "ГИПРОКОКС". Тел.: (057) 719-22-96. E-mail: kravchenko@giprokoks.com.

Fomin Stanislav Leonidovich, Dr. Sc., professor of chair of concrete and masonry structures at Kharkiv National University of Construction and Architecture. Tel.: (057) 700-01-63. E-mail: Sfomin@ukr.net.
Kravchenko Alexander Michailovich, applicant for scientific degree of candidate of technical sciences at chair of concrete and masonry structures in Kharkiv National University of Construction and Architecture. Deputy Director of SE "GIPROKOKS" Tel.: (057) 719-22-96. E-mail: kravchenko@giprokoks.com.

Стаття прийнята 11.10.2016 р.