

бухгалтерського обліку та економічного аналізу трудових показників з метою виявлення і мобілізації внутрішньовиробничих факторів.

З метою виявлення перспективних і потенційних резервів зростання продуктивності праці в будівельних фірмах пропонується здійснювати три види аналізу: попередній, оперативний і ретроспективний. При такому підході до організації аналітичної роботи забезпечується прийняття ефективних планово-управлінських рішень, своєчасне усунення негативних відхилень, збереження стабільної позиції на ринках праці і будівельної продукції.

У будівельних фірмах центральне місце в дослідженні резервів підвищення ефективності праці повинно належати прямому факторному техніко-економічному аналізу, оскільки він дозволяє оцінювати невикористані можливості в конкретних умовах і виявляти скриті резерви, зумовлені науково-технічним прогресом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Ковалевский Г.В. Системный анализ использования резервов строительных организаций. – М.: Стройиздат, 1989. – 167 с.
2. Основы управления персоналом. Под ред. Б.М. Гемкина. М.: Высшая школа, 1996.
3. Литвин Б.М. Анализ господарської діяльності в будівництві. – Львів: Світ, 1992. – 272 с.
4. Френкель А.А. Прогнозирование производительности труда: методы и модели. – М.: Экономика, 1989. – 214 с.
5. Закон України «Про оплату праці», затверджений постановою Верховної Ради України від 24.03.95 р. №108/95-ВР, зі змінами і доповненнями.

АННОТАЦИЯ

Проанализированы подходы к формированию резерва производительности труда на предприятии. Выявленные резервы методами экономико-математического моделирования связаны с показателями экономической безопасности строительного предприятия.

Ключевые слова: строительное предприятие, экономическая безопасность, резерв, взаимосвязь, модель

ANNOTATION

The approaches to the provision of labor productivity in the enterprise. Identified Reserves methods of economic-mathematical modeling related to indicators of economic security building enterprise.

Keywords: building enterprise, economic security, pool, relationship model

УДК 624.012.4+624.04

А.В. Недорезов, г. Донецк

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ РИГЕЛЯ РАМНОГО ФУНДАМЕНТА ПОД ТУРБОАГРЕГАТ ЭНЕРГОБЛОКА ТЭС

Представлены результаты измерения деформаций опорного стола и ригеля рамного фундамента под турбоагрегат. Выявлены основные причины возникновения проблемной ситуации, связанной с заклиниванием ротора в упорно-опорном подшипнике в периоды пуска турбоагрегата в работу и в периоды его остановки. Выполнены измерения линейных и угловых деформаций ригеля, определены значения температур нагрева его граней по длине пролета. Расчетными методами определены величины деформаций и напряжений в ригеле под 2-м опорно-упорным подшипником турбоагрегата, обусловленные неравномерным нагревом конструкций рамного фундамента. Удовлетворительное соответствие результатов натурных инструментальных измерений и теоретических исследований свидетельствует о том, что основной причиной неравномерных деформаций опорного стола и опорного ригеля рамы является неравномерный нагрев конструкций фундамента. Установлена предельно допустимая величина температурного перепада между гранями ригеля, превышение которой приводит к чрезмерным деформациям кручения ригеля. Предложены технические мероприятия по организации тепловой защиты конструкций фундамента с целью уменьшения температурных перепадов между их гранями и, соответственно, уменьшения несимметричных температурных деформаций ригеля.

Ключевые слова: фундамент турбоагрегата, ригель, бетон, температура, температурные деформации, кручение, измерения, расчет, рекомендации.

В период эксплуатации серийного турбоагрегата К-300-240 ХТГЗ энергоблока машинного отделения тепловой электростанции (ТЭС) выявлены проблемные ситуации, связанные со случаями заклинивания ротора в упорно-опорном подшипнике в периоды запуска турбины в работу и в периоды ее останова. Анализ возможных причин возникновения подобной неисправности в работе турбоагрегатов

достаточно подробно изложен в работе [1]. Важную роль в обеспечении соосности осей крутящихся элементов турбоагрегата играет надежная и безотказная работа опорных конструкций фундаментной рамы при значительных по величине температурных деформациях удлинения конструкций турбины. Также на стабильность работы турбины оказывает влияние конструкция узлов опирания 2-го упорно-опорного подшипника на ригель фундаментной рамы в части обеспечения свободного перемещения турбоагрегата вдоль его оси при температурном удлинении. Для выявления истинных причин заклинивания во 2-м упорно-опорном подшипнике возникла необходимость в определении деформаций ригеля и опорного стола.

Работа выполнена в рамках договора между ДонНАСА и ТЭС, под руководством д.т.н., проф. Корсуна В.И.

Цель исследований – выявление причин чрезмерных деформаций и перекосов конструкций опорного стола 2-го подшипника турбины энергоблока на основе натурных и теоретических исследований линейных и угловых перемещений.

Поставленная цель достигалась решением следующих задач:

- разработка методики и выполнение измерений деформаций опорного стола и ригеля фундаментной рамы на этапах ввода и вывода из работы турбины генератора энергоблока;

- определение расчетными методами характеристик напряженно-деформированного состояния элементов конструкций фундамента рамного типа от неравномерного нагрева в процессе запуска в работу и вывода из работы турбоагрегата;

- анализ полученных результатов измерений и разработка рекомендаций по устранению перекосов опорного стола 2-го подшипника турбины энергоблока в периоды ее запуска в работу и вывода из эксплуатации.

Пространственная конструкция сборно-монолитной фундаментной рамы под паровую турбину состоит из 16 колонн, продольных и поперечных ригелей, участков монолитной нижней и верхней плит. Узлы сопряжений сборных элементов колонн и ригелей омоноличены. Опорно-упорный 2-й подшипник расположен между цилиндрами высокого (ЦВД) и среднего давления (ЦСД) турбины и опирается на ригель фундаментной рамы (рис.1)..

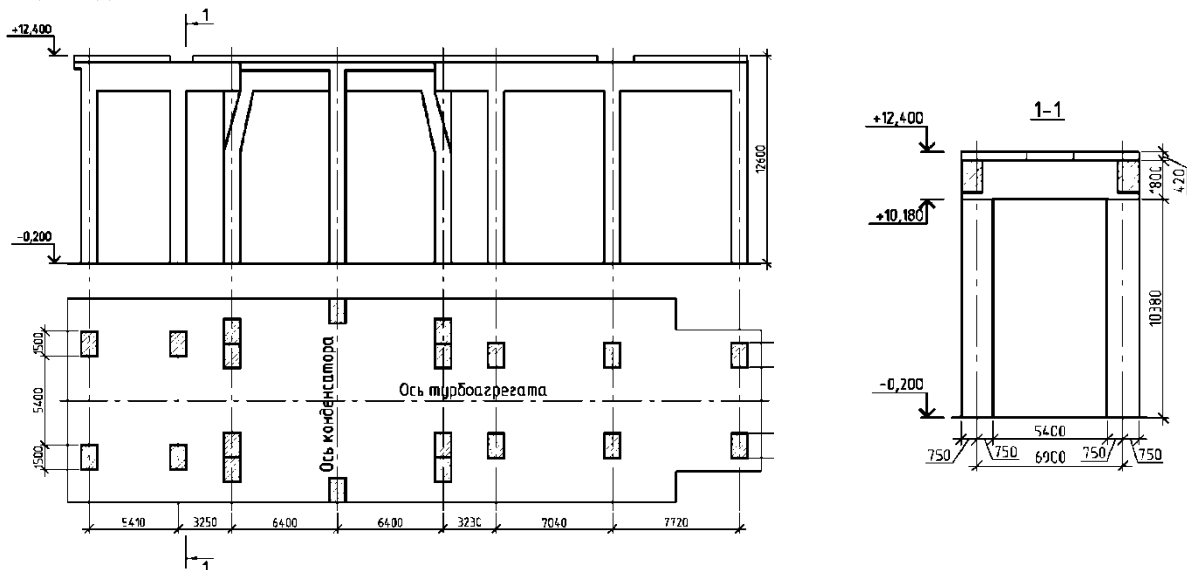


Рис.1. Фундамент турбоагрегата.

Опорная часть подшипника турбоагрегата состоит из опорной металлической рамы и опорного стола. Опорная металлическая рама крепится к ригелю фундаментной рамы с помощью 4-х анкерных болтов с последующим омоноличиванием зоны сопряжения бетоном. Между опорным столом подшипника и опорной металлической рамой располагается антифрикционная прокладка скольжения.

Основные технические требования к фундаменту турбоагрегата К-300-240 ХТГЗ в месте опирания 2-го подшипника изложены в издании [1].

Допустимая деформация кручения (уклон

верхней плиты) для ригелей поперечных рам задается заводом-изготовителем турбины и не должна превышать 0,2 мм/м. При проектировании турбоустановки рекомендовано учитывать возможность нагрева конструкций фундамента от горячих трубопроводов и, как следствие, предусматривать мероприятия, не допускающие местного перегрева колонн и ригелей фундамента. Расположение теплоизолированных трубопроводов в проемах фундамента должно выполняться с воздушным зазором не менее 50-100мм. В необходимых случаях для предупреждения нагрева конструкций фундамента на их поверхностях должны выполняться теплоотражающие экраны. В

условиях эксплуатации обязательным является систематическое наблюдение за температурами нагрева элементов фундамента.

Для контроля за деформациями опорного стола подшипника в процессе натурных исследований была разработана конструкция в виде металлической П-образной рамы, жестко прикрепляемой к опорному столу с помощью сварки. К раме в двух уровнях по высоте прикреплялись концы стальных нитей, пропущенных через барабаны прогибомеров П1, П2, П3 и П4, прикрепленных к жесткой железобетонной балке-распорке (рис.2). По средним показаниям прогибомеров в 2-х уровнях по высоте П-образной рамы определяли величины средних горизонтальных перемещений корпуса опорно-упорного подшипника №2 относительно связи-распорки по ряду «Б», по разности показаний – угловые смещения опорного стола в горизонтальной и вертикальной плоскостях относительно первоначального (исходного) положения. Измеренные деформации смещения

опорного стола подшипника включали температурные продольные перемещения оси турбины, вызванные её температурным расширением, а также деформации опорного ригеля рамного фундамента. Для разделения деформаций опорного стола подшипника и деформаций опорной рамы производились также измерения деформаций ригеля железобетонного рамного фундамента под опорной рамой подшипника. Для выполнения данных измерений дополнительно была установлена отдельно стоящая вертикальная металлическая стойка, жестко прикрепленная с помощью электросварки к закладной детали на верхней грани ригеля. С помощью прогибомера П-5 измерялись смещения стойки и, соответственно, ригеля относительно железобетонной связи-распорки по ряду «Б» (рис.2). При визуальном осмотре узла соединения ригеля фундаментной рамы с опорной рамой подшипника признаков их взаимного смещения не выявлено, поэтому их работа считалась совместной.

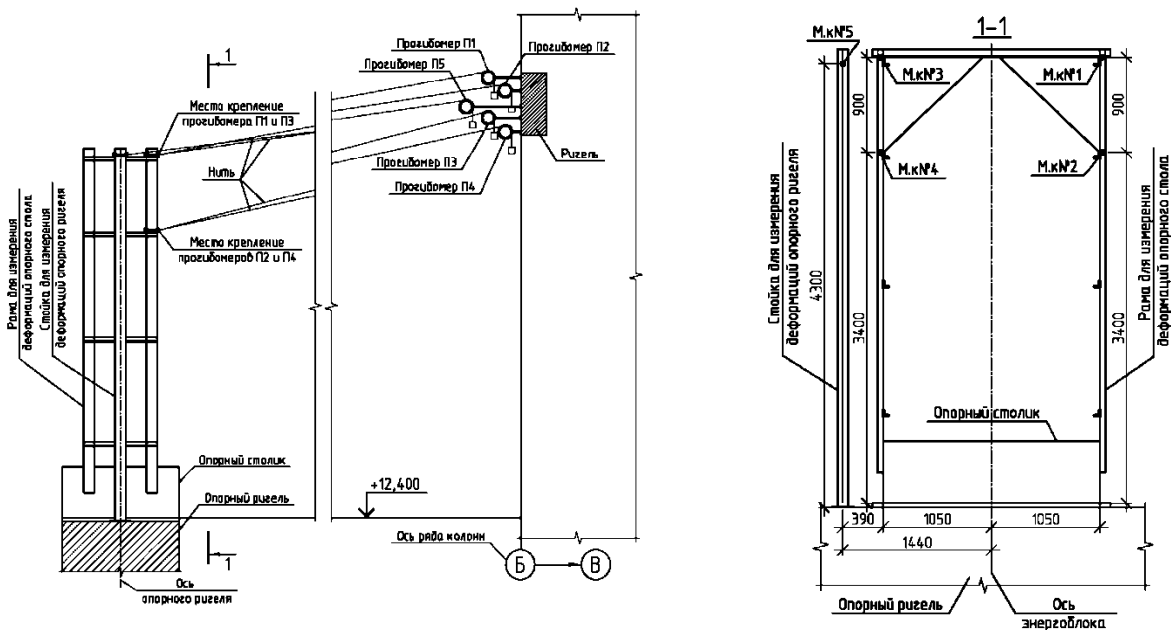


Рис.2. Схема крепления приборов для измерения деформаций П-образной рамы.

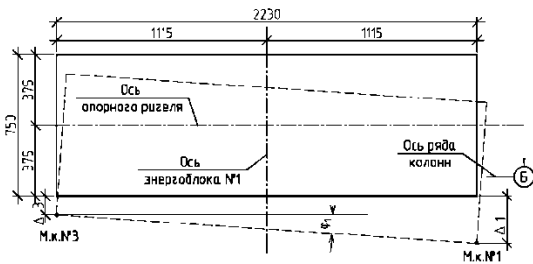
На рис. 3 представлены схемы измерения деформаций элементов рамы и консольной стойки в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Схемы перемещений корпуса подшипника представлены на рис.4. Данные измерений линейных и угловых перемещений рамы в точках крепления П1÷П4 на этапе запуска в работу энергоблока (этап №1) представлены на рис.5, на этапах остановки энергоблока (этап №2) - на рис.6. Результаты контроля за температурами нагрева стойки и П-образной рамы свидетельствуют об их приблизительно равномерном нагревании в горизонтальной плоскости, что практически

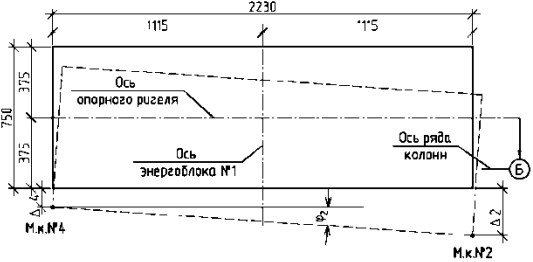
исключало их поворот относительно вертикальной оси. Контроль за температурой нагрева бетона на боковых гранях ригеля фундаментной рамы осуществлялся с помощью предварительно бетонированных в тело бетона термомпар.

Представленные на рис.5 а,б величины горизонтальных перемещений и углов поворота консольной стойки ($\Delta 5, \gamma_3$) близки к значениями перемещений элементов рамы ($\Delta 1 \div \Delta 4, \gamma_1$ и γ_2), что свидетельствует о приблизительно одинаковых перемещениях опорного стола подшипника и ригеля фундаментной рамы.

а) Деформации в горизонтальной плоскости в уровне крепления приборов П1 и П3



б) Деформации в горизонтальной плоскости в уровне крепления приборов П2 и П4



в) Деформации в вертикальной плоскости по показаниям приборов

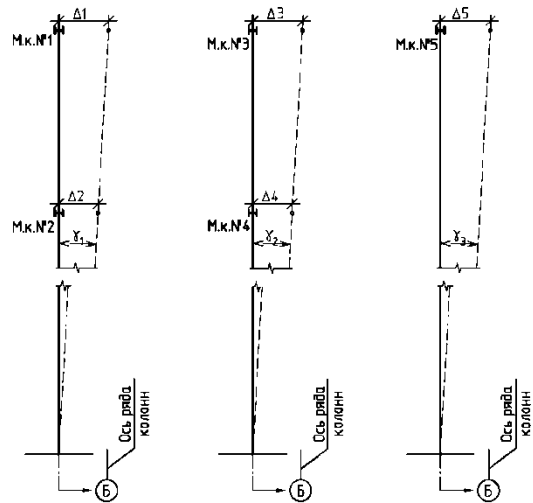


Рис.3. Схемы деформаций элементов рамы и консольной стойки.

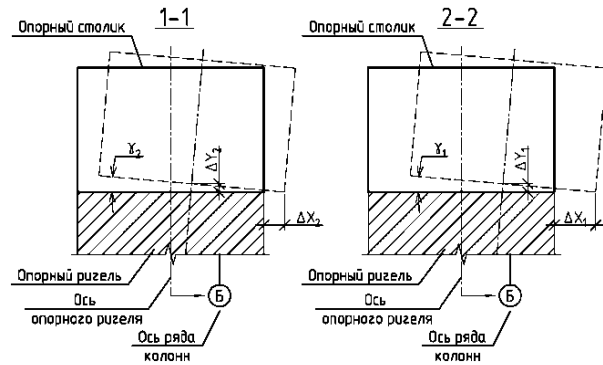
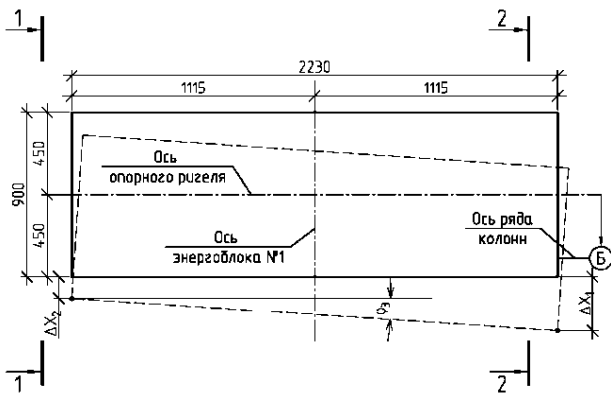


Рис.4. Схемы перемещений опорного стола.

Измеренные деформации ригеля фундамента могли быть следствием влияния двух факторов. Первый фактор связан с возможным силовым деформированием фундамента при температурном удлинении турбоагрегата и неэффективности антифрикционной прокладки, не обеспечивающей должного скольжения конструкции опорного стола подшипника по опорной металлической раме. В случае реализации данного фактора в узлах сопряжений колонн и ригелей фундаментной рамы должны были бы наблюдаться заметные повреждения в виде трещин, сколов бетона силового характера. При осмотре узлов таких силовых повреждений обнаружено не было.

Второй причиной существенных деформаций ригеля могли быть только температурные деформации от неравномерного нагрева конструкций.

Была выполнена проверка работоспособности экранной системы тепловой защиты конструкций ригелей рамного фундамента, состоящей из

трубчатых радиаторов охлаждения холодной водой. Проверкой выявлены полная неработоспособность указанной системы охлаждения и существенный нагрев конструкций фундамента со стороны подводящих пар трубопроводов.

Для анализа напряженно-деформированного состояния и определения возможных деформаций кручения был выполнен расчет ригеля по двум методикам:

а) упрощенный расчет инженерными методами для среднего сечения по длине ригеля;

б) полный конечно-элементный расчет конструкции рамного фундамента (рис.1) с учетом данных действительного распределения температуры по высоте сечения и по длине элементов рамной конструкции.

Значения температуры нагрева боковых граней ригеля приняты согласно данным натурных измерений, представленных в таблице №1. Схема расположения точек измерения представлена на рис.7.

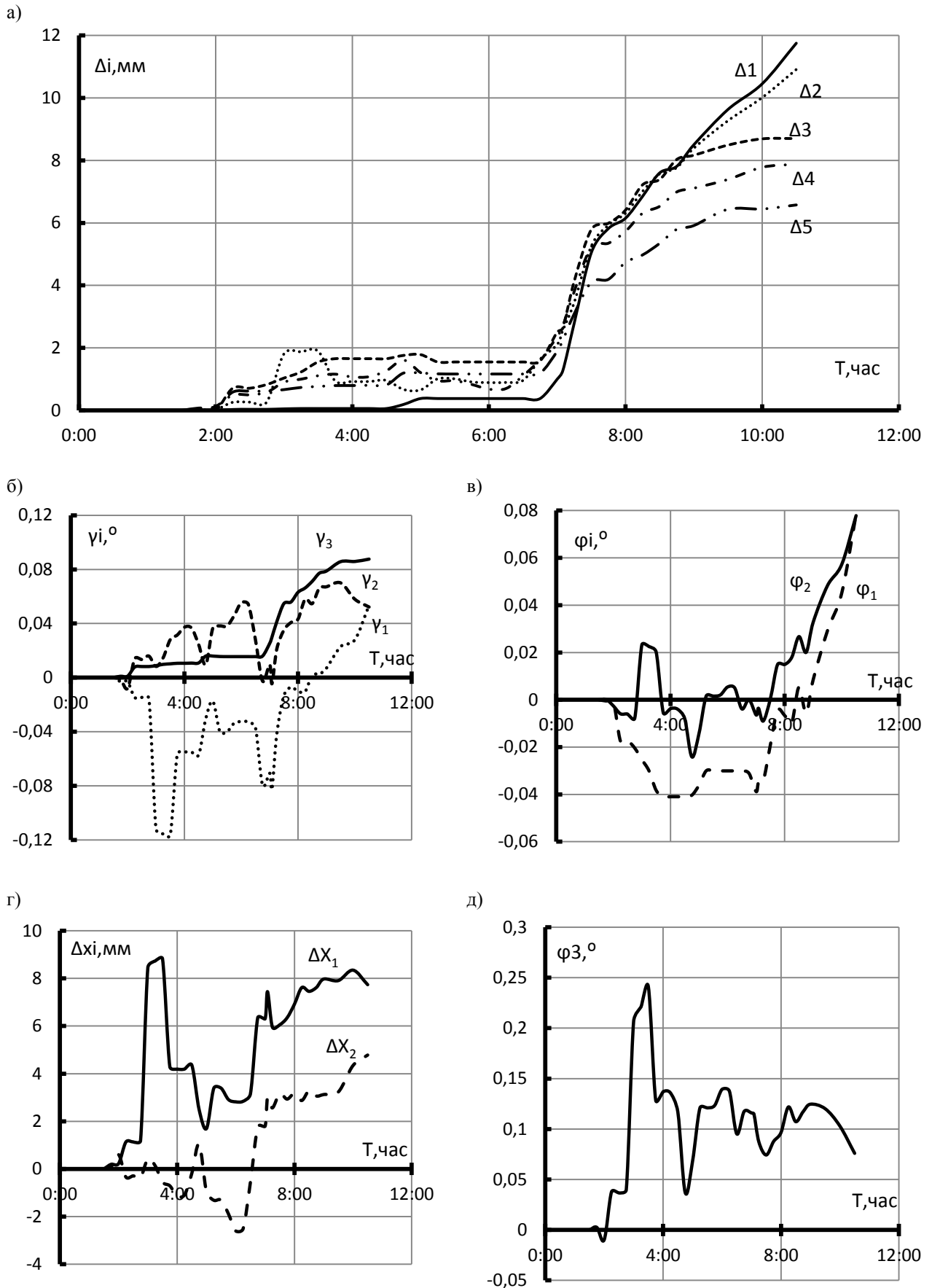


Рис.5. Измеренные и расчетные величины деформаций при запуске энергоблока №1 (этап №1): (а) – горизонтальные ($\Delta 1 \div \Delta 4$) перемещения элементов рамы и консольной стойки ($\Delta 5$); (б) - углы поворота (γ_1, γ_2) в вертикальной плоскости элементов рамы и консольной стойки (γ_3); (в) - углы поворота (ϕ_1, ϕ_2) в горизонтальной плоскости элементов рамы; (г) - линейные перемещения по горизонтали (Δx_i) корпуса подшипника; (д) - угол поворота (ϕ_3) в горизонтальной плоскости корпуса подшипника.

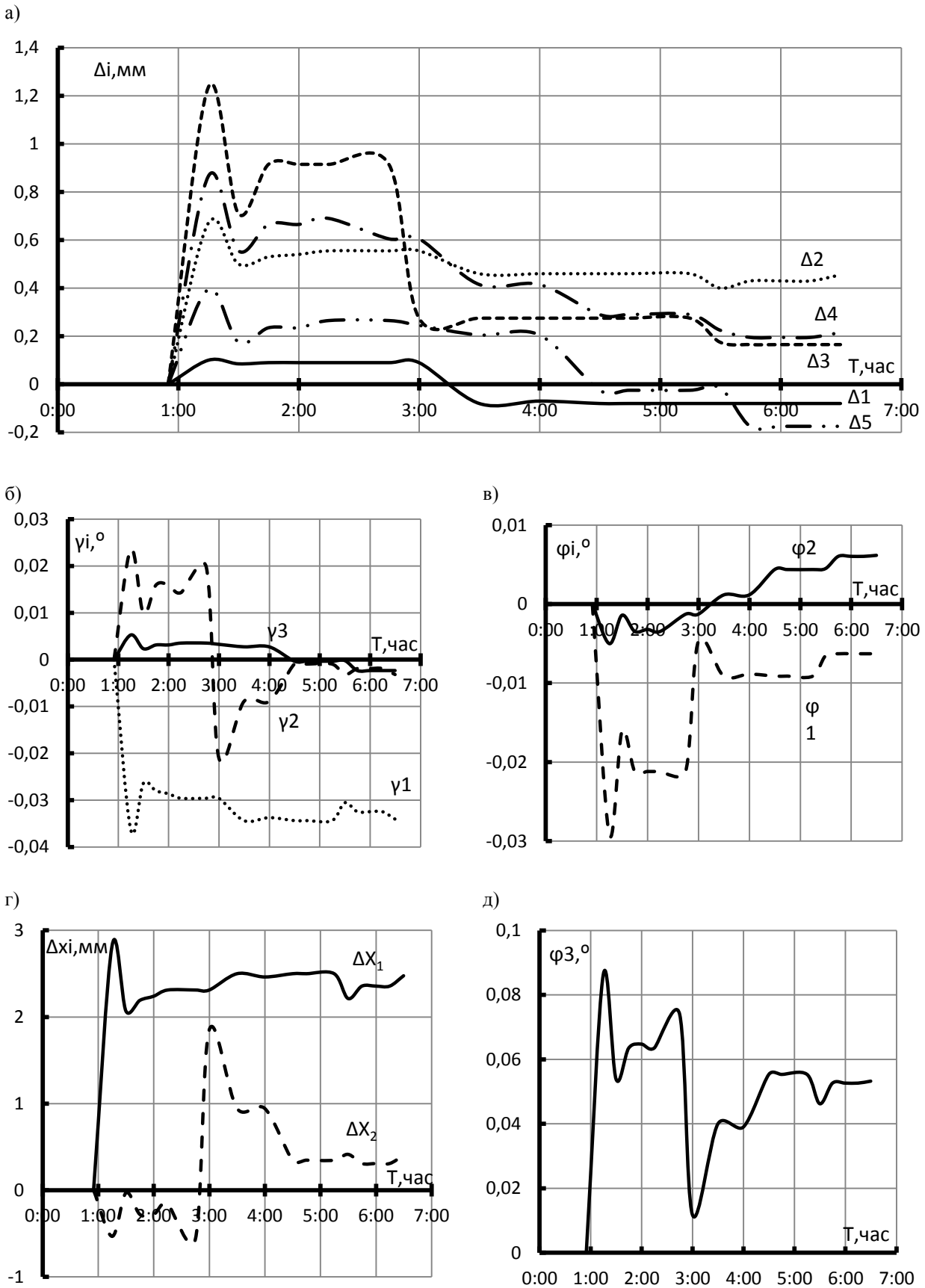


Рис.6. Измеренные и расчетные величины деформаций при остановке энергоблока №1 (этап №2): (а) – горизонтальные ($\Delta 1 \div \Delta 4$) перемещения элементов рамы и консольной стойки ($\Delta 5$); (б) - углы поворота (γ_1, γ_2) в вертикальной плоскости элементов рамы и консольной стойки (γ_3); (в) - углы поворота (ϕ_1, ϕ_2) в горизонтальной плоскости элементов рамы; (г) - линейные перемещения по горизонтали (Δx_i) корпуса подшипника; (д) - угол поворота (ϕ_3) в горизонтальной плоскости корпуса подшипника.

Таблица 1

№ этапа	Дата (время измерения)	Показания температуры (°С) по термопарам					
		1	2	3	4	5	6
1	27.10.2011 7 час 00 мин	31.2	37.3	34.1	21.7	22.5	21.9
1а	28.10.2011 11 час 00 мин	34.4	44	34.2	26.5	28.2	26.3
2	06.01.2012 7 час 00 мин	47.3	53.6	47.3	36.4	42.3	36
2а	07.01.2012 4 час 00 мин	44.8	51.4	48.4	38.2	37	38.7

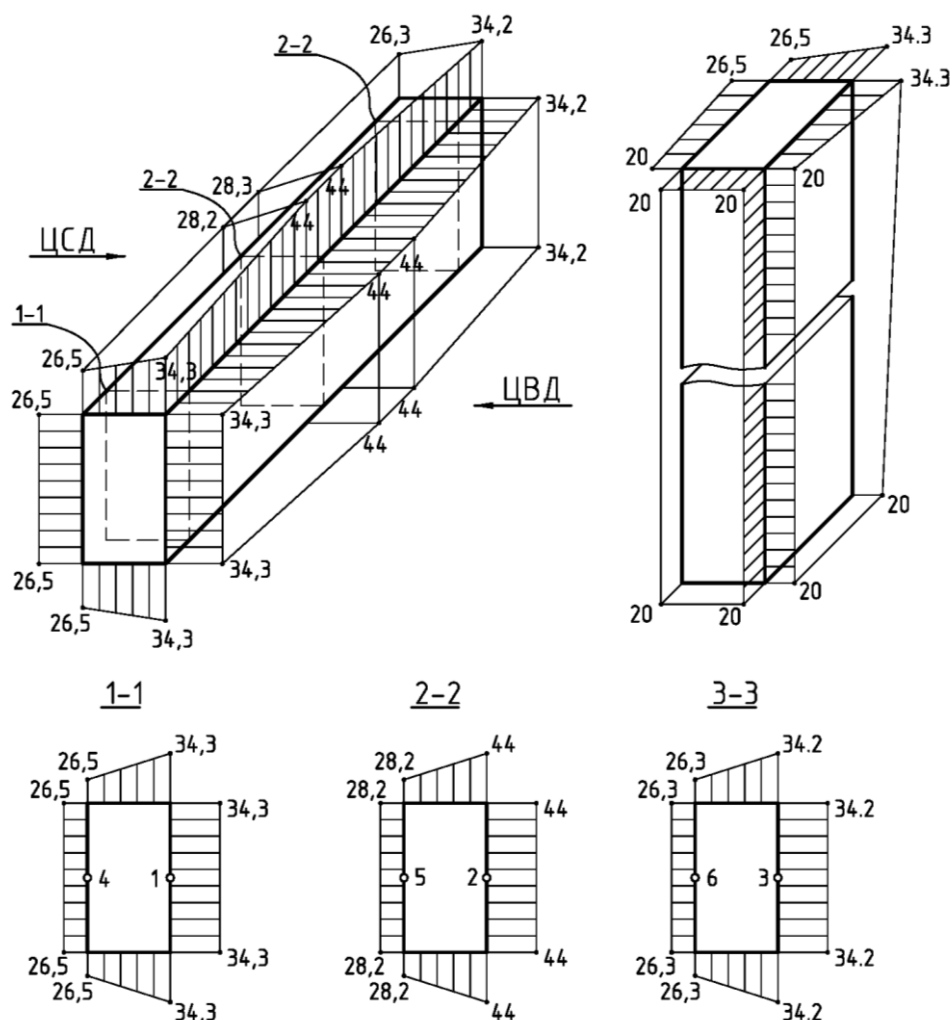


Рис. 7. Схемы распределения температуры в расчетных сечениях ригеля и колонны фундаментной рамы

Значения температур, представленных для этапа №1 в табл.1, соответствуют периоду начала нагрева турбоагрегата при его запуске в работу. Начальная температура рамного фундамента соответствовала температуре машзала и составила около 18°С. Через 28 часов после начала нагрева турбоагрегата (этап №1а) окружающая температура воздуха в зоне ригелей повысилась, и составила, в среднем, 23,7°С. Распределение температуры по длине и по высоте сечения элементов фундаментной рамы в период запуска турбоагрегата, что соответствует этапу №1а, представлено на рис.7. Период запуска турбины в работу выбран для анализа, поскольку является самым проблематичным для работы турбоагрегата

вследствие наиболее значительных температурных деформаций его конструкций в процессе разогрева.

Упрощенный расчет деформаций ригеля выполнен при следующих предпосылках:

1. Изменение температуры в расчетных сечениях колонн и ригеля по высоте и ширине сечения происходит по линейному закону.

2. Коэффициент линейного температурного расширения бетона принят равным $\alpha_{bt}=10 \cdot 10^{-6}$ 1/град С [4].

3. Линейные и угловые деформации ригеля фундаментной рамы под опорой 2-го подшипника рассчитываются без учета их связи с другими элементами рамы.

Вертикальные смещения левой $\Delta_{лев}$, правой $\Delta_{прав}$ граней и угол поворота $tg(\alpha)$ главных осей сечения ригеля от кручения при неравномерном нагреве определялись по формулам:

$$\Delta_{прав} = \alpha_{bt} \cdot t_{1,2,3} \cdot l_{01}; \quad \Delta_{лев} = \alpha_{bt} \cdot t_{4,5,6} \cdot l_{01}$$

$$tg(\alpha) = \frac{(\Delta_{прав} - \Delta_{лев})}{l_{02}} \quad (1)$$

Результаты расчета представлены в таблице 2.

Таблица 2

Вертикальные смещения боковых граней и углы поворота главных осей сечения ригеля от кручения при неравномерном нагреве.

№	Дата и время измерения	l_{01} , мм	$t_{1,2,3}$, °C	$t_{4,5,6}$, °C	$\Delta_{прав}$, мм	$\Delta_{лев}$, мм	l_{02} , мм	$tg\alpha$, мм/м
1	27.10.2011 7 час 00 мин	1800	31,2	21,7	0,56	0,39	1000	0,171
			37,3	22,5	0,67	0,41		0,266
			34,1	21,9	0,61	0,39		0,220
1a	28.10.2011 11 час 00 мин	1800	34,3	26,5	0,62	0,48	1000	0,140
			44,0	28,2	0,79	0,51		0,284
			34,2	26,3	0,62	0,47		0,142
2	06.01.2012 7 час 00 мин	1800	47,3	36,4	0,85	0,66	1000	0,196
			53,6	42,3	0,96	0,76		0,203
			47,3	36,0	0,85	0,65		0,203
2a	07.01.2012 4 час 00 мин	1800	44,8	38,2	0,81	0,69	1000	0,119
			51,4	37,0	0,93	0,67		0,259
			48,4	38,7	0,87	0,70		0,175

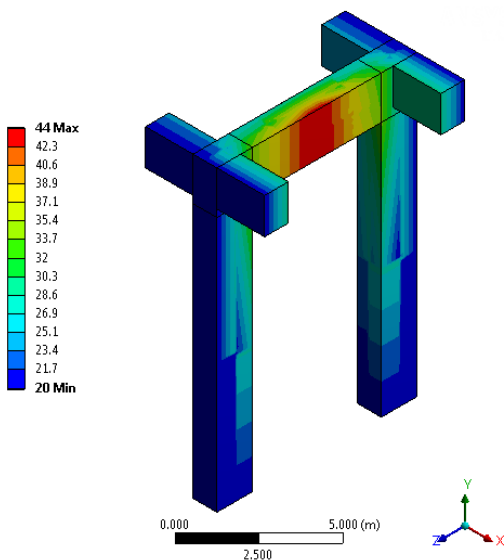
Кручение ригеля относительно его продольной оси вследствие неравномерного нагрева боковых граней характеризуется величинами вертикальных удлинений боковых граней $\Delta_{лев}$ и $\Delta_{прав}$ и приращением уклона $tg\alpha$ (табл.2). Наибольшие величины приращений наклонов осей сечения вследствие кручения ригеля составили для этапа №1a $tg\alpha = 0,284$ мм/м при пуске турбины и для этапа №2a $tg\alpha = 0,259$ мм/м при останове турбины.

Температурные деформации ригеля согласно результатам выполненного расчета (табл.2) составляют большую часть полных деформаций опорного стола под 2-м упорно-опорным подшипником. Расчетные значения углов поворота ригеля относительно продольной оси, обусловленные

неравномерным нагревом конструкций, в 1,42 раза превышают предельно допустимое заводом-изготовителем турбины значение для опорных конструкций подшипника турбины, равное 0,2 мм/м [1].

Уточнённый расчет выполнен моделированием фрагмента рамного фундамента (рис.1) фундаментной рамы методом конечных элементов. Плоская рама состоит из ригеля и колонн с размерами поперечного сечения соответственно 1,8x1,0м и 1,5x1,0м. Колонны жестко закреплены в нижней плите и имеют связи в местах сопряжения с продольными ригелями (рис.8 а). При моделировании приняты следующие характеристики бетона: класс по прочности - C20/25, начальный модуль упругости $E_b=30 \cdot 10^3$ МПа, коэффициент поперечных деформаций $\mu=0,18$.

а)



б)

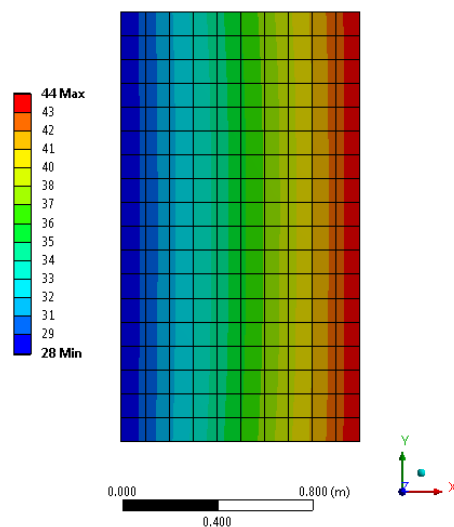


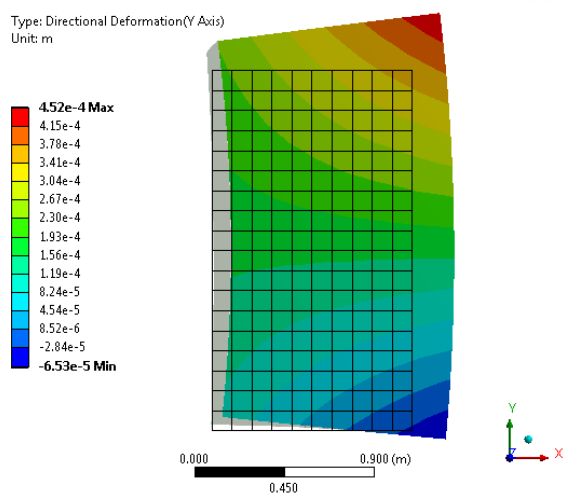
Рис.8. Общий вид объемной расчетной модели (а) и мозаика распределения температур по поверхности расчетной модели (а) и по площади сечения ригеля в средней части пролета (б).

Расчетная деформация кручения ригеля относительно его продольной оси, характеризуем углом поворота, составила 0,219 мм/м (рис.9 а) при температурном перепаде в 15,8°С между боковыми гранями ригеля. Эта величина в 1,1 раза превышает предельно допустимое значение для опорных конструкций подшипника турбины, равное 0,2 мм/м . Расчетная деформация кручения ригеля в средней части пролета при учете его работы в составе пространственной рамы фундамента оказалось в 1,35 раза ниже по сравнению с

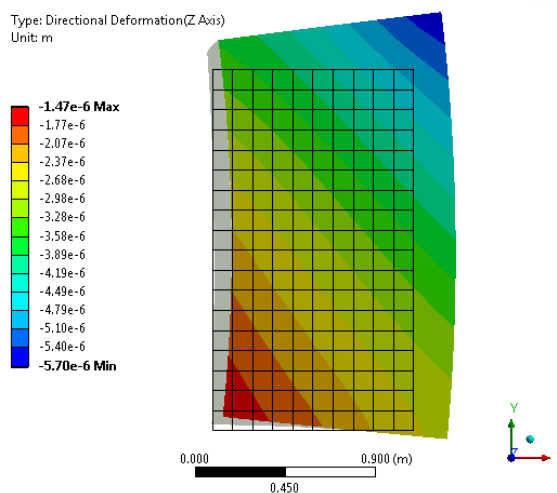
данными упрощенного расчета, что объясняется более точным учетом влияния условий сопряжения ригеля с опорами-стойками.

Максимальные расчетные сжимающие напряжения в сечении ригеля от стесненных температурных деформаций составили по направлениям осей «Y», «Z» 1,95 МПа и 21,5 МПа соответственно, максимальные растягивающие напряжения по направлениям осей «Y», «Z» - соответственно 0,54 МПа и 10,5 МПа (рис.9).

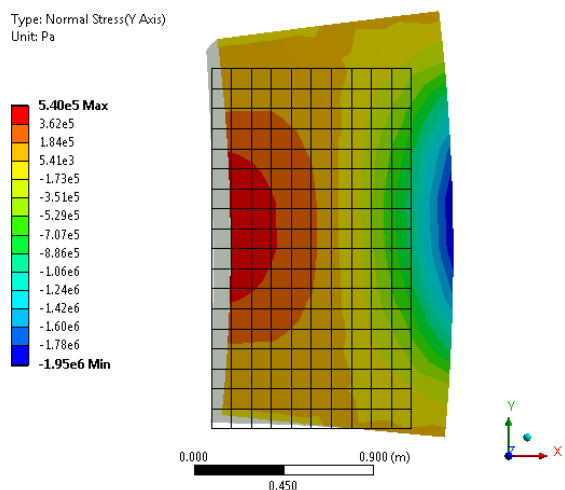
а)



б)



в)



г)

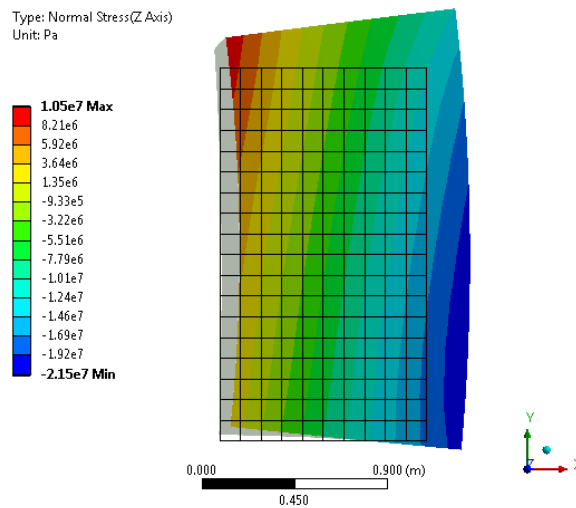


Рис.9. Температурные деформации и напряжения по центральному сечению опорного ригеля фундаментной рамы в направлении оси «Y» (а, в) и «Z» (б, г).

Выводы:

1. Натурными измерениями и расчетными методами установлено значительное влияние на полные деформации опорного ригеля фундамента под 2-й опорно-упорный подшипник турбоагрегата температурной составляющей деформаций, обусловленной неравномерным нагревом конструкций фундамента.

2. Измеренные и расчетные величины угловых деформаций ригеля в 1,42 раза превышали предельно допустимые значения для турбины данного типа.

3. Теплозащита конструкций фундамента от местного нагрева была в неисправном состоянии, что и явилось причиной неравномерного нагрева элементов рамной конструкции – ригеля и колонн

и, как следствие, значительных по величине несимметричных температурных деформаций элементов фундамента.

4. Реализованные в соответствии с результатами исследования технические мероприятия по восстановлению теплозащиты конструкций фундамента обеспечили более равномерный нагрев конструкций и способствовали снижению температурных деформаций опорных конструкций, что, в последующем, обеспечило нормальные условия для эксплуатации турбоагрегата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Паровая турбина К-300-240 ХТГЗ [Текст] // Под общей редакцией Ю.Ф. Косяка. М.: Энергоиздат. – 1982 – 272с.
2. ДБН В2.6-31:2006. Тепловая изоляция сооружений. – Київ: Минстрой Украины, 2006. – 72 с.
3. СНиП 2.03.04-84. Бетонные и железобетонные конструкции, предназначенные для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур. - М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985. - 54 с.

АНОТАЦІЯ

Представлені результати вимірювання деформацій опорного столу і ригеля рамного фундаменту під турбоагрегат. Виявлено основні причини виникнення проблемної ситуації, пов'язаної з заклинюванням ротора в упорні - опорному підшипнику в періоди пуску турбоагрегату в роботу і в періоди його зупину. Виконані вимірювання лінійних і кутових деформацій ригеля, визначені значення температур нагрівання його граней за довжиною прольоту. Розрахунковими методами визначено величини деформацій і напруг в ригелі під 2-м упорно-опорним підшипником турбоагрегату, зумовлені нерівномірним нагріванням конструкцій рамного фундаменту. Задовільний відповідність результатів натурних інструментальних вимірювань і теоретичних досліджень свідчить про те, що основною причиною нерівномірних деформацій опорного столу і опорного ригеля рами є нерівномірний нагрів конструкцій фундаменту. Встановлено гранично допустима величина температурного перепаду між гранями ригеля, перевищення якої призводить до надмірних деформацій кручення ригеля. Запропоновано технічні заходи щодо організації теплового захисту конструкцій фундаменту з метою зменшення температурних перепадів між їх гранями і, відповідно, зменшення несимметричних температурних деформацій ригеля.

Ключові слова: фундамент турбоагрегату, ригель, бетон, температура, температурні

деформації, крутіння, вимірювання, розрахунок, рекомендації.

ABSTRACT

The results of bench support and girder of the frame foundation for turbo generator strains measurement are presented. Basic reasons of problem situation genesis connected with self-loop of the rotor at axial-collar bearing in times of turbo generator work start and break are detected. The measurement of linear and angle strains of girder are made. The values of temperature heating of his edges along span are defined. Stress strain values of girder under the 2d axial-collar bearing according to non-uniform heating of the frame foundation structures are determined by computational methods. Result gratifying correspondence of nature experimental and theoretical studies indicates that the primary reason of non-uniform strains of bench support and support frame girder is non-uniform heating of foundation structures. Maximum permissible value of the temperature cross-fall between the edges, which outreaching becomes to excessive girder rotation strains, is estimated. Working procedures for organization of heating defense of foundation structures by way of reduction of temperature cross-falls between edges of structures and respectively reduction of asymmetric temperature strains of girder are proposed.

Key words: foundation of turbo generator, girder, concrete, temperature strains, rotation, measurement, calculation, recommendations.